

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL
(PPGBIO)
MESTRADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Amanda Vilar Rocha

Foraminíferos bentônicos e biopolímeros como indicadores ambientais em ecossistema
hipersalino: Laguna de Araruama, Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro

2019

AMANDA VILAR ROCHA

FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS E BIOPOLÍMEROS COMO INDICADORES AMBIENTAIS EM ECOSSISTEMA HIPERSALINO: LAGUNA DE ARARUAMA, RIO DE JANEIRO.

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro como requisito para obtenção do grau de Mestre em Biodiversidade Neotropical.

Orientador: Prof. Dr. Lazaro Luiz Mattos Laut

Co-orientador: Dra. Iara Martins Matos Moreira Clemente

Rio de Janeiro

2019

VR672

Vilar Rocha, Amanda

Foraminíferos bentônicos e biopolímeros como indicadores ambientais em ecossistema hipersalino: Laguna de Araruama, Rio de Janeiro. / Amanda Vilar Rocha. -- Rio de Janeiro, 2019.

92 f

Orientador: Lazaro Luiz Mattos Laut.

Coorientadora: Iara Martins Matos Moreira Clemente.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2019.

1. Biopolímeros. 2. Impacto Ambiental. 3. Componentes da Matéria Orgânica. 4. Bioindicadores. I. Mattos Laut, Lazaro Luiz, orient. II. Martins Matos Moreira Clemente, Iara, coorient. III. Título.

Amanda Vilar Rocha

**FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS E BIOPOLÍMEROS COMO INDICADORES
AMBIENTAIS EM ECOSSISTEMA HIPERSALINO – LAGUNA DE
ARARUAMA, RIO DE JANEIRO**

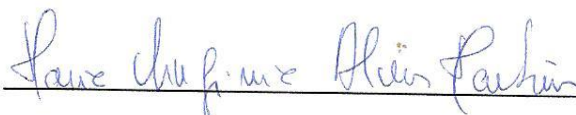
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas.

Aprovada em 25 de fevereiro de 2019.

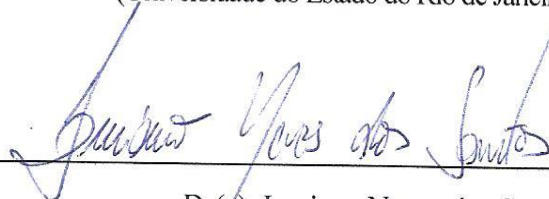
Banca Examinadora



Dr(a). Lazaro Luiz Mattos Laut (Orientador)
(Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro/UNIRIO)



Dr(a). Maria Virgínia Alves Martins
(Universidade do Estado do Rio de Janeiro/UERJ)



Dr(a). Luciano Neves dos Santos
(Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro/UNIRIO)

AGRADECIMENTOS:

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me ajudado a caminhar por toda a trajetória para, finalmente, chegar aqui.

Aos meus pais, Joana e Edmilson, que me acompanharam em mais uma empreitada acadêmica. Se pude chegar onde eu cheguei, foi porque eu tive apoio e companhia da minha família nos momentos bons e ruins. Sem a minha base, eu não seria nada.

Ao Augusto, que acompanhei nesse período a criança ser deixada de lado e um adolescente com mais responsabilidades. Estarei ao seu lado para o que der e vier. Você sempre será o irmão que pedi para a estrelinha quando era criança, não esqueça.

Ao meu companheiro, cúmplice, melhor amigo e namorado Luciano, que embarcou comigo nessa aventura. Aprendeu junto comigo o que era esse novo mundo, bem diferente do que tive durante a graduação. Obrigada por voar comigo.

À minha grande amiga Leilane, que cresceu junto comigo como profissional, cada uma na sua área. Aprendemos juntas que somos mulheres incríveis, mesmo que ainda haja muito a caminhar. Somos grandes, somos o Sol.

Aos amigos que conheci fora da faculdade, e aos meus familiares por entender minhas ausências e muitas vezes compartilhar das minhas angústias.

Aos membros do LABMICRO-UNIRIO e LABMICRO-UERJ, os atuais e os passados, pelos ensinamentos, companheirismo, risadas e momentos sérios também. Em especial a Débora, minha companheira de turma, que passou por esses perrengues junto comigo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Lazaro Laut, que me acolheu no laboratório e me mostrou como é realmente ter um orientador e me ensinou demais. Obrigada pela paciência!

A minha co-orientadora Dra. Iara Clemente, pelos conselhos, dicas e motivação, tanto no pessoal, quanto no profissional.

A Prof. Dra. Maria Virginia Martins, por aceitar o convite para ser membro da banca e também ter me acolhido em seu laboratório como técnica PROATEC, propiciando que eu continuasse meu mestrado e aprendesse sobre outras áreas.

Ao Prof. Dr. Luciano Neves dos Santos por aceitar o convite de ser membro da banca.

Ao Laboratório de Palinofáceis e Fáceis Orgânicas (LAFO-UFRJ) e Laboratório de Estratigrafia Química e Geoquímica Orgânica (LGQM-UERJ) pelos dados obtidos.

Ao CNPq (Universal 445830/2014-0) e a FAPERJ (RJ E26-11.399/2012) pelo financiamento dos projetos que viabilizaram a coleta na Lagoa de Araruama e a infraestrutura de laboratório para tratamento dos dados.

Aqueles que contemplam a beleza da Terra, encontram reservas de força que irão perdurar enquanto a vida durar. Há algo infinitamente curativo nos refrãos repetidos da natureza: a garantia de que o amanhecer vem depois da noite e a primavera depois do inverno. ”

-Rachel Carson

RESUMO

Este estudo tem como objetivo qualificar e quantificar a distribuição de biopolímeros no sedimento da Laguna de Araruama e os impactos sobre a comunidade de foraminíferos vivos, visando o reconhecimento da qualidade ambiental do sedimento e de bioindicadores que possam ser utilizados no monitoramento de ambientes hipersalinos. Para isso foram coletadas dezesseis amostras da foz do Canal do Itajuru até o terceiro bolsão do corpo lagunar como objetivo de reconhecer o gradiente de influência da maré e possível transporte de matéria orgânica através do canal. A Laguna de Araruama, demonstrou um claro gradiente de aumento dos parâmetros físico-químicos no sentido do canal para região mais interna da laguna indicando a redução da influência no corpo lagunar. Através da análise da composição da matéria orgânica (biopolímeros) foi possível identificar a prevalência do aporte de matéria orgânica proveniente de origem fitoplanctônica e de detritos vegetais. Contudo, em alguns locais específicos da laguna (região de atividade das marinas e áreas mais confinadas) há alta concentração de matéria orgânica, principalmente lipídios que refletem na baixa densidade de foraminíferos. De uma maneira geral, a densidade e riqueza na Laguna de Araruama pode ser considerada alta. A riqueza de foraminíferos, mesmo que alta, decresce sentido interior do corpo lagunar, demonstrando o confinamento para a comunidade. As espécies *Criboelphidium excavatum* e *Ammonia tepida* foram indicadoras da presença de matéria orgânica, carbono orgânico total, sedimentos finos e biopolímeros, principalmente de origem antropogênica. Em contrapartida, as espécies *Adelosina milletti*, *Ammonia parkinsoniana* e *Quinqueloculina seminula* foram indicadoras de ambientes com maior influência marinha, sendo *A. parkinsoniana* e *Q. seminula* sensíveis a alta presença de biopolímeros e matéria orgânica. A razão carboidrato/proteína evidencia que a maior parte da área amostrada possui matéria orgânica refratária, demonstrando que o sistema tende a acumular ao invés de degradar ou transportar a matéria orgânica. Sendo assim, a laguna de Araruama pode ser considerada com um sistema deposicional vulnerável ao processo de eutrofização. Por outro lado, O Canal do Itajuru, exceto na região das marinas, tem predominância da fração arenosa, maior influência marinha e hidrodinâmica acentuada que não permite o acúmulo de matéria orgânica.

Palavras-chave: Biopolímeros; Impacto Ambiental; Componentes da Matéria Orgânica; Bioindicadores

ABSTRACT

This study aims to qualify and quantify the biopolymer distribution in the Araruama Lagoon sediment and the impacts on the living foraminifera community, aiming to recognize the environmental quality of the sediment and bioindicators that can be used to monitor hypersaline environments. Sixteen samples were collected from the mouth of the Itajuru Channel to the third Sector of the lagoon body in order to recognize the tidal influence gradient and possible transport organic matter through the canal. The Araruama Lagoon, showed a clear gradient of increase of the physical-chemical parameters in the direction of the channel to the innermost region of the lagoon indicating the reduction of the influence in the lagoon body. Through the composition analysis of the organic matter (biopolymers) it was possible to perceive that the input of organic matter coming from phytoplanktonic origin and from vegetal detritus prevails. However, in some lagoon specific regions (area of marine activity and more confined areas) there is a high organic matter concentration, mainly lipids that reflect the low foraminifera density. In general, the density and species richness of the Araruama Lagoon can be considered high. The foraminifera richness, even if high, decreases the interior sense of the lagoon body, demonstrating that of confinement to the community. The species *Criboelphidium excavatum* and *Ammonia tepida* were indicative of the presence of organic matter, total organic carbon, fine sediments and biopolymers, mainly of anthropogenic origin. On the other hand, the species *Adelosina milletti*, *Ammonia parkinsoniana* and *Quinqueloculina seminula* were indicative of environments with greater marine influence, being *A. parkinsoniana* and *Q. seminula* sensitive to the high presence of biopolymers and organic matter. The carbohydrate / protein ratio shows that most of the sampled area has refractory organic matter, demonstrating that the system tends to accumulate rather than degrade or transport organic matter. Thus, the Araruama lagoon can be considered with a depositional system vulnerable to the eutrophication process. On the other hand, the Itajuru Channel, except in the marine region, has a sandy predominance, greater marine influence and marked hydrodynamics that does not allow the organic matter accumulation.

Key words: Biopolymers; Environmental Impact; Organic Matter Compounds; Bioindicators

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo I – Caracterização do estado trófico do sedimento do Canal do Itajuru e adjacências (Laguna de Araruama, Rio de Janeiro) com base na análise de biopolímeros

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo22

Figura 2: Mapa de distribuição da profundidade e das variáveis físico-químicas e das estações amostradas na Laguna de Araruama 26

Figura 3: Mapa de distribuição das frações granulométricas (%) (areia e finos) e carbonato (%) da região amostrada na Laguna de Araruama27

Figura 4: Mapa de distribuição de MO (%), COT (%), ET (%) da área de estudo na Laguna de Araruama28

Figura 5: Mapa de distribuição de Biopolímeros (mg C g⁻¹) da região amostrada na Laguna de Araruama29

Figura 6: *Principal Component Analysis* do Canal do Itajuru e adjacências (MO- matéria orgânica; CHO- Carboidratos; LIP- Lipídios; PTN- Proteínas; CBT- Carbono Biopolimérico Total; COT- Carbono Orgânico Total; ET- Enxofre total; PROF- Profundidade; OD- Oxigênio Dissolvido; SAL- Salinidade; TEMP- Temperatura; CO₃²⁻- Carbonato)30

Capítulo II - Foraminíferos bentônicos e componentes da matéria orgânica como *proxies* de estado trófico em Lagoa Hipersalina: Lagoa de Araruama- Brasil

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo. Canal do Itajuru: Estações AR01 a AR07; Setor 1: AR08 e AR09; Setor 2: AR10 a AR13; Setor 3: AR14 a AR1652

Figura 2: Temperatura, pH, Salinidade e Oxigênio Dissolvido (DO) da região amostrada na Laguna de Araruama 57

Figura 3: Granulometria (fração de areia e finos) e carbonato (CO_3^{2-}) do Canal do Itajuru e adjacências	58
Figura 4: Matéria Orgânica (OM), Carbono Orgânico Total (TOC) e Enxofre Total (TS) da área região amostrada na Laguna de Araruama	59
Figura 5: Carbono Biopolimérico (BPC), Proteínas (PTN), Carboidratos (CHO), Lipídios (LIP) e razão Proteínas/Carboidratos (razão PTN/CHO) no Canal do Itajuru e adjacências	60
Figura 6: Densidade, Riqueza (S), Diversidade de Shannon-Wiener (H') e Equitabilidade (J') da região amostrada da Laguna de Araruama	61
Figura 7: Análise de DCA da assembleia viva e variáveis abióticas da área de estudo da Laguna de Araruama (CHO- Carboidratos; LIP- Lipídios; PTN- Proteínas; Temp- Temperatura; Sal- Salinidade; OM- Matéria Orgânica; CO_3^{2-} - Carbonato; TOC- Carbono Orgânico Total; TS- Enxofre Total; DO- Oxigênio Dissolvido)	62
Figura 8: Análise de <i>Cluster</i> no Q-mode para estações e R-mode para espécies. 1) Mapa com a distribuição dos Grupos no Q-mode; 2) Análise em Q-mode; 3) Análise de cluster em R-mode	64

LISTA DE TABELAS

Capítulo I – Caracterização do estado trófico do sedimento do Canal do Itajuru e adjacências (Laguna de Araruama, Rio de Janeiro) com base na análise de biopolímeros

Tabela 1: Teor de Carbono Biopolimérico Total da MO em sedimentos superficiais de diferentes ambientes costeiros36

Tabela 2 (Apêndice 1): Dados do Canal do Itajuru e adjacências: Coordenadas geográficas, parâmetros físico-químicos da água (Sal.- salinidade; pH; OD- oxigênio dissolvido; Temp.- temperatura), profundidade e parâmetros do sedimento (MO- matéria orgânica; CO₃²⁻- Carbonato; Areia- Fração Arenosa; Finos- Fração Fina; COT- Carbono Orgânico Total; ET- Enxofre Total; CHO- Carboidratos; LIP- Lipídios; PTN- Proteínas; CBT- Carbono Biopolimérico Total; PTN/CHO- razão proteína/carboidrato)48

Capítulo II - Foraminíferos bentônicos e componentes da matéria orgânica como *proxies* de estado trófico em Lagoa Hipersalina: Lagoa de Araruama- Brasil

Tabela 1: Conjunto de Dados da Lagoa de Araruama: Coordenadas geográficas; valores dos parâmetros da água (Sal.- salinidade; pH; DO- oxigênio dissolvido; Temp.- temperatura) e parâmetros do sedimento (OM- matéria orgânica; CO₃²⁻- Carbonato; Sand- fração de areia; Fine- fração fina; TOC- carbono orgânico total; TS- enxofre total; CHO- carboidratos; LIP- lipídios; PTN- proteínas; BPC- carbono biopolimérico; PTN/CHO- razão proteínas/carboidratos) 56

Tabela 2 (Anexo 1): Estações georreferenciadas na Laguna de Araruama com a abundância relativa, densidade, diversidade de Shannon-Wiener (H'), Equitabilidade (J') e Riqueza (S) dos foraminíferos vivos 83

SUMÁRIO

1 Introdução	14
2 Objetivos	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
Capítulo I – Caracterização do estado trófico do sedimento do Canal do Itajuru e adjacências (Laguna de Araruama, Rio de Janeiro) com base na análise de biopolímeros	17
Capítulo II - Foraminíferos bentônicos e componentes da matéria orgânica como <i>proxies</i> de estado trófico em Lagoa Hipersalina: Lagoa de Araruama- Brasil	49
3 Conclusões Gerais	86
4 Referências bibliográficas	87

1. INTRODUÇÃO

Lagunas são corpos de água salobra ou salgada e possuem origem marinha ou fluvio-marinha e podem ser isoladas completamente ou parcialmente do mar por cordões arenosos ou restingas (Suguio, 1992). Estes ecossistemas são influenciados pelos regimes de marés, mesmo quando não se comunicam diretamente com o mar e constituem cerca de vinte por cento de toda zona costeira do mundo (Milênio, 2009). Estes ecossistemas possuem grande importância ecológica e econômica porque possuem elevada produção primária, logo, alta atividade fotossintética (Passavante & Kening, 1984).

O sistema lagunar costeiro, em geral, recebe aporte de efluentes domésticos e capta o escoamento superficial da região devido à urbanização (Carreira *et al.*, 2001). Como consequência, esses ecossistemas têm se tornado um ambiente com altas concentrações de poluentes que aceleram o processo de eutrofização do corpo hídrico e alteram a qualidade da água (FEEMA, 1988; Carreira *et al.*, 2001; Kfoury *et al.*, 2003). De acordo com Sílvia (2009), o impacto causado pelas ações antrópicas degrada o ecossistema, causando reflexos na economia e na cultura da população, principalmente local.

A abundância e a composição da matéria orgânica em sedimentos costeiros dependem de uma combinação de fatores que envolvem a fonte e os processos físico-químicos que ocorrem na água e no sedimento e são essenciais para monitoramento e conhecimento dos ecossistemas (Jones, 2001). O uso da composição de sedimentos orgânicos (biopolímeros) pode ser considerado como uma boa ferramenta, pois são úteis para classificar o estado trófico e avaliar a origem da matéria orgânica sedimentar dos ecossistemas marinhos e costeiros (Silva *et al.* 2011; Laut *et al.*, 2016b; Dias *et al.*, 2017). Estas análises têm sido amplamente utilizadas em ambientes marinhos, estuarinos e alguns ambientes lagunares em regiões tropicais e temperadas, principalmente para avaliar os efeitos da composição e quantidade de biopolímeros na distribuição da microbiota bentônica, como foraminíferos (Martins *et al.*, 2015a, b; Clemente *et al.*, 2015; Belart *et al.*, 2018; Raposo *et al.*, 2018).

Organismos da microfauna, como foraminíferos bentônicos, têm sido utilizados como bioindicadores no monitoramento ambiental e compreensão da qualidade ecológica (Vilela *et al.*, 2011; Martins *et al.*, 2016; Laut *et al.*, 2016a; Raposo *et al.*, 2016). A distribuição desses microorganismos estão associados com a matéria orgânica e a concentração dos tipos de biopolímeros (carboidratos, lipídios e proteínas) (Murray, 2006; Martins *et al.*, 2015a, b;

Clemente *et al.*, 2015; Laut *et al.*, 2016a; Belart *et al.*, 2018, 2019; Raposo *et al.*, 2018). Raposo *et al.* (2018) demonstraram que os foraminíferos vivos da Laguna de Itaipu são influenciados diretamente pela distribuição de biopolímeros e pela granulometria. Na Laguna de Saquarema, Belart *et al.* (2018) constataram que os foraminíferos sofrem influência da concentração de biopolímeros e de outros fatores referentes a hidrodinâmicas na distribuição da comunidade. O mesmo foi observado na Laguna de Aveiro que é um ambiente que apresenta clima semiárido influenciado por ressurgência costeira (Martins *et al.*, 2015b).

Alguns estudos têm sido realizados com a fauna de foraminíferos bentônicos em lagunas costeiras hipersalinas em todo o mundo como na Lagoa de Abu Dhabi, no Golfo Pérsico (Murray, 1970), Lagoa Shuaiba, na Arábia Saudita (Abu-Zied & Bantan, 2013), Lagoa de Bizerte, na Tunísia (Martins *et al.*, 2015a) e Laguna de Saquarema (Belart *et al.*, 2018; 2019). Dentre estes estudos, as metodologias para relacionar a distribuição dos foraminíferos e a concentração de biopolímeros foram aplicados somente nas lagunas Saquarema e Bizerte. No Brasil, os foraminíferos foram identificados e utilizados como bioindicadores em lagunas costeiras nos últimos anos (Debenay *et al.*, 2000, 2001; Guerra *et al.*, 2011; Vilela *et al.*, 2011; Raposo *et al.*, 2016; Raposo *et al.*, 2018; Belart *et al.*, 2018, 2019). No entanto, existem poucos estudos comparando assembleias de foraminíferos com a qualidade e quantidade de biopolímeros (Raposo *et al.*, 2018; Belart *et al.*, 2018).

Foram realizados apenas dois trabalhos na Laguna de Araruama com foraminíferos. Debenay *et al.* (2001) reconheceu a distribuição das assembleias de foraminíferos e caracterizou ambientalmente a laguna. Já Geslin *et al.* (2002) relacionaram diferentes deformações de indivíduos do Gênero *Ammonia* com possíveis estressores, incluindo fatores físico-químicos da água e escassez de alimento.

No estudo de Debenay *et al.* (2001) a análise foi baseada na assembleia total (vivos + mortos) e por essa razão as relações ecológicas são prejudicadas, pois os processos tafonômicos podem alterar severamente a assembleia original (Schönfeld *et al.*, 2012). Belart *et al.* (2018) ressaltaram uma grande diferença entre a assembleia viva e morta na Laguna de Saquarema no Rio de Janeiro, indicando que poucas áreas de baixa hidrodinâmica apresentam correspondência entre elas. Estes fatores demonstram então a necessidade de se estudar os foraminíferos bentônicos vivos da Laguna de Araruama e os fatores que influenciam sua presença e distribuição.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo qualificar e quantificar a distribuição de biopolímeros no sedimento da Laguna de Araruama e os efeitos sobre a comunidade de foraminíferos vivos, visando o reconhecimento da qualidade ambiental do sedimento e de bioindicadores que possam ser utilizados no monitoramento de ambientes hipersalinos.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterização físico-química e sedimentológica da Laguna de Araruama.
- Análise quantitativa e qualitativa de biopolímeros presentes no sedimento.
- Identificação taxonômica dos foraminíferos viventes na laguna.
- Identificação de espécies ou assembleias associadas ao excesso de biopolímeros na área de estudo.

CAPITULO I

Artigo a ser submetido no Anuário de Geociências- UFRJ

**CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DOS SEDIMENTOS DO CANAL
DO ITAJURU E ADJACÊNCIAS (LAGUNA DE ARARUAMA, RIO DE JANEIRO,
BRASIL)**

***SEDIMENTARY TROPHIC STATE CHARACTERIZATION OF ITAJURU
CHANNEL AND ADJACENCIES (ARARUAMA LAGOON, RIO DE JANEIRO)***

Amanda Vilar¹; Débora Raposo¹; Pierre Belart¹; Renan Habib¹; Eduardo Volino¹; Iara Martins Matos Moreira Clemente²; Luiz Fontana³; Egberto Pereira²; Rodrigo Ribeiro¹; João Marcelo Ballalai⁴; Maria Lucia Lorini⁵; Marcos de Souza Lima Figueiredo⁵; Maria Virginia Alves Martins² & Lazaro Laut ¹

¹ Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO, Instituto de Biociências, Laboratório de Micropaleontologia – LABMICRO, Av. Pasteur 458, sl. 500, Urca, CEP 22290-240, Brasil, Rio de Janeiro, RJ

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Av. São Francisco Xavier, 524, sl. 2020A, Maracanã, CEP 20550-013, Brasil, Rio de Janeiro, RJ

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Laboratório de Palinologia & Facies Orgânica – LAFO, Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Bloco F, Ilha do Fundão - Cidade Universitária, CEP 21949-900, Brasil, Rio de Janeiro, RJ

⁴ Universidade Federal Fluminense - UFF, Programa de Pós-graduação em Geociências (Geoquímica). Outeiro São Boa Ventura s/n, Centro – Niterói, CEP 24.020-141 Brasil, Rio de Janeiro, RJ

⁵ Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO, Laboratório de Ecologia Bêntica, Av. Pasteur 458, sl. 411, Urca, CEP 22290-240, Brasil, Rio de Janeiro, RJ

amandah.94@hotmail.com; deboraposo@gmail.com; pbelart@gmail.com;
renanhabibpinheiro@gmail.com; eduvolino@gmail.com; immmc@hotmail.com;

lffontana@gmail.com; egbertogeologia@gmail.com; rodrigoibio@hotmail.com;
joaballalai@id.uff.br; mluc.lorini@gmail.com; mslfigueiredo@gmail.com;
virginia.martins@ua.pt; lazaro.laut@hotmail.com

Resumo

A laguna de Araruama, localizada no Rio de Janeiro (SE, Brasil) é considerada a maior laguna hipersalina em estado permanente do mundo. Este ambiente vem sofrendo ao longo das últimas décadas com o crescimento urbano em suas margens, tendo como consequência o lançamento de esgoto sem tratamento que se intensifica nos meses de verão (dezembro-março). A descarga excessiva de nutrientes acarreta um rápido enriquecimento de nutrientes orgânicos e inorgânicos e consequentemente, em eutrofização. Dentro deste contexto, a análise da qualidade e quantidade de matéria orgânica torna-se essencial para avaliar o estado trófico de ambientes costeiros. Este estudo teve como objetivo caracterizar o estado trófico e sua dinâmica deposicional com base no conteúdo de biopolímeros (carboidratos, lipídios e proteínas), carbono orgânico total, enxofre total e a granulometria do sedimento da região mais urbanizada da Laguna de Araruama (Canal do Itajuru e adjacências). Para isto foram colhidos dados dos parâmetros físico-químicos da água e coletadas amostras de sedimento na região. A análise integrada dos dados permitiu identificar quatro setores com diferentes condições ambientais: Canal do Itajuru – arenoso com alta hidrodinâmica e influência marinha; região com baixa hidrodinâmica e acúmulo de biopolímeros; ambiente lagunar com menor influência marinha, mas com alta hidrodinâmica; e a Marina de São Bento - considerada a região mais impactada pelo alto acúmulo de matéria orgânica de origem antropogênica.

Palavras chave: Composição da Matéria Orgânica; Biopolímeros; Laguna de Araruama; Impacto Ambiental

Abstract

The Araruama Lagoon, located in Rio de Janeiro (SE, Brasil), is considered the largest hypersaline lagoon in the world. This environment has been suffering over the last decades with urban growth in its margins has consequently the untreated sewage release that intensifies in the summer session (December-March). Excessive nutrients discharge leads to a rapid enrichment of organic and inorganic nutrients and consequently in

eutrophication. Within this context, the quality and quantity organic matter analysis becomes essential to evaluate the coastal environments trophic state. The study aim was to characterize the trophic state and its depositional dynamics based in biopolymers contents (carbohydrates, lipids and proteins), total organic carbon, total sulphur and sediment granulometry of urban region of Araruama Lagoon (Itajuru Channel and adjacencies). For this purpose, data were collected from the water physical-chemical parameters and sediment samples were collected in the region. The data integrated analysis allowed to identify four sectors with different environmental conditions: Itajuru Channel- sandy with high hydrodynamics and marine influence; a region of low hydrodynamics and biopolymers accumulation; lagoon environment with low marine influence, however with high hydrodynamics and São Bento Marina- considered the region most impacted by the high organic matter accumulation of anthropogenic origin.

Keywords: Organic Matter compounds; Biopolymers; Araruama Lagoon; Environmental Impact

1. INTRODUÇÃO

As lagunas costeiras compõem cerca de 13% das áreas costeiras do mundo e destacam-se pela alta atividade fotossintética (Passavante & Kening, 1984) e alta biodiversidade (Esteves *et al.*, 2008; Danovaro & Pusceddu 2007; Basset *et al.*, 2008) Mesmo com grande importância ambiental, essas lagunas são altamente impactadas por fatores naturais e antropogênicos (Sikora & Kjerfve, 1985; Kjerfve, 1994; Laut *et al.*, 2016a; Dias *et al.*, 2017; Raposo *et al.*, 2018), que na grande maioria dos casos, acarreta o acúmulo de poluentes (Kemp & Boynton, 2012).

A descarga excessiva de nutrientes de fontes industriais e domésticas sem tratamento prévio em ambientes aquáticos origina em um rápido enriquecimento de nutrientes orgânicos e inorgânicos (Carreira *et al.*, 2001; Kfoury *et al.*, 2003) e conseqüentemente, dá lugar ao processo de eutrofização (Knoppers, 1994). Este cenário tem sido considerado o principal impacto em ambientes marinhos e costeiros (MeyerReil & Koster, 2000), e no Brasil se destaca principalmente no Estado do Rio de Janeiro (Sílvia, 2009; Guerra *et al.*, 2011; Laut *et al.*, 2016a; Martins *et al.*, 2016; Raposo *et al.*, 2018).

Os biopolímeros são componentes da matéria orgânica sedimentar, no qual incluem os carboidratos, lipídios e proteínas que são degradados por bactérias metabolicamente diversas (Brock *et al.*, 1994). Entretanto, se a taxa de deposição de matéria orgânica for maior do que a capacidade de degradação dos micro-organismos, os biopolímeros tendem a se acumular, levando o ambiente a uma condição eutrófica (Jones, 2001).

A análise de biopolímeros para avaliar o estado trófico de ecossistemas costeiros tem sido empregada nos últimos anos (Fabiano *et al.*, 1995; Danovaro *et al.*, 1999; Dell Anno *et al.*, 2002; Pusceddu *et al.*, 2003; Cotano & Villate, 2006; Martins *et al.*, 2015a, b 2016; Laut *et al.*, 2016a, b, Dias *et al.*, 2017; Laut *et al.* 2017; Raposo *et al.*, 2018), uma vez que o sedimento de fundo é o resultado temporal dos processos que ocorrem tanto na coluna d'água quanto na camada superficial sedimentar, onde se acumula tanto a matéria orgânica autóctone quanto a alóctone (Fabiano & Danovaro, 1994). Desta forma, o sedimento de fundo pode ser uma potencial fonte de poluente e/ou nutrientes para a coluna d'água influenciando a atividade primária que conecta os organismos bentônicos aos pelágicos (Jørgensen & Richardson, 1996).

No Brasil, esta abordagem foi utilizada para avaliar o estado trófico de ecossistemas aquáticos tropicais contribuindo significativamente para identificar regiões impactadas (Baptista-Neto *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2008, 2010, 2011a, b; Laut *et al.*, 2016a, b; Dias *et al.*, 2017) e impacto na comunidade bentônica (Clemente *et al.*, 2015; Raposo *et al.* 2018; Belart *et al.* 2018). Laut *et al.* (2017) realizaram o primeiro estudo utilizando biopolímeros para caracterizar a qualidade ambiental do sedimento de uma lagoa hipersalina no Brasil. Neste estudo realizado na Lagoa Vermelha (Região dos Lagos Fluminenses) foi possível caracterizar o ecossistema como eutrofizado e hipertrófico por matéria orgânica autóctone produzida pela atividade microbiológica.

Considerando a eficiência desta metodologia no reconhecimento do impacto ambiental em ecossistemas costeiros, este estudo teve como objetivo quantificar e qualificar a matéria orgânica do sedimento (biopolímeros, carbono orgânico total e enxofre total) da região mais urbanizada da Laguna de Araruama (Canal do Itajuru e adjacências) associando a parâmetros físico-químicos da água e dados sedimentológicos a fim de se caracterizar o estado trófico da região e sua dinâmica deposicional.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Laguna de Araruama (22°49'- 22°57'S e 42°00'- 42°25'W) está localizada na Região dos Lagos, no Estado do Rio de Janeiro (Figura 1) margeada por cinco municípios: Araruama, Arraial do Cabo, Cabo Frio, São Pedro da Aldeia e Iguaba Grande. Este corpo d'água se destaca pela sua área de superfície (cerca de 200 km²) e a sua salinidade varia entre 35 e 56‰ (André *et al.*, 1981). A evaporação anual média é de 1.400 mm, enquanto a precipitação média anual é apenas 800 mm (Dias & Kjerfve, 2009). O fluxo fluvial principal para a laguna apresenta uma descarga diária de $\sim 67 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ (Kjerfve *et al.*, 1996), enquanto outros distributários são intermitentes e permanecem secos a maior parte do ano (Barroso, 1987; Kjerfve *et al.*, 1996). Estas características tornam a Laguna de Araruama a maior laguna hipersalina em estado permanente do mundo (Coutinho *et al.*, 1999). A profundidade média é de 2,5 m, mas apresenta áreas mais rasas que variam entre 0,5 e 1,5 m e regiões em que a profundidade da coluna d'água atinge 17 m (Souza *et al.*, 2003).

Este corpo d'água é considerado como "sufocado" de acordo com a classificação proposta por Kjerfve *et al.* (1996) para lagunas costeiras por possuir apenas uma única conexão com o oceano. A restrita comunicação com o oceano através do Canal do Itajuru que acarreta num tempo de residência da água neste corpo lagunas em torno de 84 dias (Primo & Bizerril, 2002). Este canal possui 5,5 km de comprimento, 180 m de largura média, área de 1,23 km² e profundidade de até 3 metros (Valentini *et al.*, 2002). Este canal localiza-se na região leste da laguna de Araruama e atravessa o perímetro urbano das cidades de Cabo Frio e São Pedro d'Aldeia. A foz do canal possui cerca de 80 m de largura e encontra-se entre duas formações rochosas, que protegem a área de ataques frontais das ondas e dificulta a deposição de sedimentos por efeito das correntes longitudinais e transversais (Lessa, 1991). Este canal também age como um filtro para remover a variabilidade de maré semi-diurna externa devido à sua morfologia (Lessa, 1991).

Embora a Laguna de Araruama ainda se mantenha oligotrófica devido à alta salinidade e volume de água, alguns estudos demonstram que há a possibilidade de eutrofização caso ocorram mais alterações hidrológicas, como poluição (Schettini, 1994; Moreira-Turcq, 2000; Souza *et al.*, 2003).

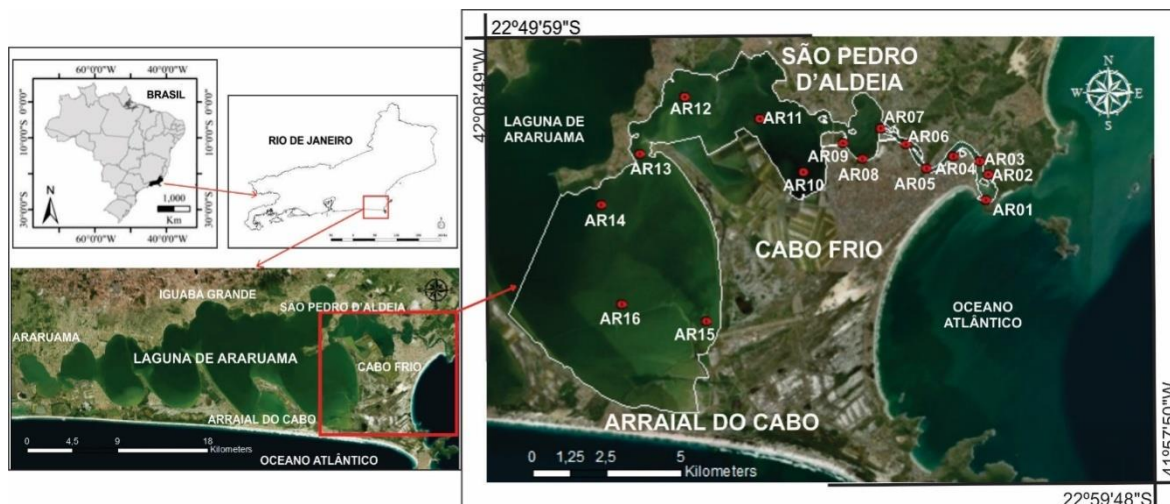


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo (Fonte: Google Earth).

A população residente em torno da Laguna de Araruama cresceu cerca de 24% em 13 anos (IBGE 2005, 2018), mas de forma desordenada e sem o planejamento ambiental adequado. Essas cidades da região da laguna, principalmente Cabo Frio e Arraial do Cabo precisam comportar mais de um milhão de visitantes no verão e feriados prolongados, o que representa o dobro da população local durante curtos períodos (Magalhães, 2012).

Devido à alta densidade demográfica, principalmente no verão (dezembro a março), há uma significativa descarga de esgoto doméstico sem tratamento e, em conjunto com dragagens para remoção de conchas de *Anomalocardia brasiliiana* para a exploração mineral de calcário para a fabricação de cal, causam prejuízos à economia local que é estruturada na extração de sal, pesca e turismo (Kjerfve *et al.*, 1996; Magalhães, 2012).

3. METODOLOGIA

3.1 Amostragem

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas em novembro de 2015 durante a maré alta ao longo de dezesseis estações georreferenciadas com GPS (modelo GPSMAP® 78S) e distribuídos longitudinalmente da foz do Canal do Itajuru até o terceiro bolsão da Laguna de Araruama como objetivo de reconhecer o gradiente de influência da maré e possível transporte de matéria orgânica através do canal. As estações de AR01 até AR07 foram localizadas no Canal do Itajuru, AR08 e AR09 no Bolsão 1, AR10 a AR13 no Bolsão 2, e de AR14 a AR16 como Bolsão 3. As estações AR10, AR11 e AR12 estão localizadas próximas à área das salinas.

A coleta de sedimento foi realizada em uma embarcação de baixo calado usando um amostrador busca fundo do tipo Ekman que permite a preservação do sedimento superficial. As amostras de sedimento destinadas para a análise de matéria orgânica e sedimentologia foram armazenadas em sacos plásticos sob refrigeração.

A profundidade e os parâmetros físico-químicos da água (temperatura, oxigênio dissolvido, pH e salinidade) foram medidos com sonda multi paramétrica modelo YSI 6600V2 próximo ao sedimento.

3.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada utilizando ~80 g do sedimento seco em temperatura ambiente. Cada amostra teve a matéria orgânica (MO) removida utilizando Peróxido de Hidrogênio 30% (H_2O_2) e Carbonato (CO_3^{2-}) por Ácido Clorídrico (HCl) a 30%. Em cada etapa as amostras foram secas e pesadas para calcular a porcentagem de MO e Carbonato. As alíquotas foram colocadas para reagir em Hexametáfosfato de Sódio ($NaPO_3$)₆ e analisadas no aparelho CILAS 1064, de acordo com Sales & Cardoso (2012). Os dados foram processados em Excel® através do Gradistat, que foi proposto por Blott & Pye (2001) para calcular o tamanho de partículas para dados granulométricos de peneira ou laser.

3.3 Análise de concentração de biopolímeros

Os níveis de carboidratos (CHO) foram analisados e expressos em equivalentes de glicose de acordo com Gerchacov & Hachter (1972), que adaptou a metodologia de Dubois *et al.* (1956) para CHO de sedimento de fundo. Para determinar a quantidade de Proteínas (PTN) foi aplicada a metodologia proposta por Hartree (1972) e modificada por Rice (1982), que consiste em realizar extrações com NaOH (0,5 M, 4 h) e considerar a concentração de PTN como equivalentes de albumina. Os Lipídios (LIP) foram extraídos por eluição direta com clorofórmio e metanol e analisado de acordo com Marsh & Weinstein (1966). As concentrações de LIP foram consideradas como equivalentes de tripalmitina. Para cada análise bioquímica, o controle foi realizado nas mesmas amostras de sedimento depois do tratamento com mufla (à 450° C durante 2 h) e em 3-5 repetições. De acordo com Fabiano *et al.* (1995) é possível definir o carbono Biopolimérico total (CBT) através da soma da concentração de CHO, LIP e PTN

em equivalentes de carbono usando fatores de conversão de 0,40, 0,75 e 0,49 $\mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1}$, respectivamente. Após os resultados obtidos, foi realizada a razão PTN/CHO.

3.4 Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre Total (ET)

Parte das amostras de sedimento foram homogeneizadas e maceradas com Gral de Ágata. As alíquotas de 0,250 g ($\pm 0,005$ g) da fração sedimentar $<0,080$ mm foram colocados em cadinhos de porcelana porosa com peso prévio conhecido. Para eliminar a fração de Carbonato utilizou-se volume suficiente de HCl (1:1 v/v) para cobrir a amostra no cadinho e deixado para reagir *overnight*. Após 24 h as amostras foram lavadas com água destilada até completa eliminação de HCl e secas a 65° C. Depois de secas, as amostras foram pesadas para calcular a porcentagem de resíduos insolúveis. As medições de COT e ET foram realizadas através de um catalizador de carbono e enxofre (LECO SC-632), de acordo com *American Society for Testing and Materials* (ASTM D 4239, 2008).

3.5 Análise estatística

Para análise estatística dos dados foi realizado o PCA (*Principal Component Analysis*), que identifica novas variáveis (componentes principais) através de combinações lineares das variáveis originais (Ringnér, 2008). De acordo com Dias *et al.* (2017), esta análise é uma ferramenta padrão para explorar e extrair dados relevantes e complexos por ser simples e não paramétrico. Através do PCA é possível identificar a relação entre as estações e os fatores que mais as influenciam, agrupando as estações por similaridade. Para este estudo, foram utilizados os parâmetros físico-químicos da água (pH, OD, salinidade, temperatura), profundidade, areia, finos (silte + argila), MO, CO_3^{2-} , COT, ET, TOC/ET e biopolímeros (CHO, LIP, PTN e CBT). A análise foi realizada através do software PCORD 5.31.

3.6 Interpolação de Mapas

A interpolação utiliza pontos vetoriais com valores conhecidos para prever dados em locais desconhecidos, criando uma superfície preenchida com estes valores. Para realizar a interpolação foram testados os métodos *Spline with Barriers* e *IDW*. O método que demonstrou melhor distribuição espacial foi o *Spline with Barriers*. Este método consiste em interpolar uma superfície utilizando barreiras, de pontos usando a técnica de *spline* de curvatura mínima (Azpurua & Ramos, 2010). Os mapas mostram a

distribuição espacial de parâmetros dentro da laguna, utilizando as coordenadas métricas de acordo com o referencial WGS84 (UTM 23S) e foram confeccionados no ArcMap® 10.5.1.

4. RESULTADOS

Os dados das variáveis físico-químicas da água, profundidade e sedimentológicas se encontram no Apêndice 1.

4.1 Variáveis físico-químicas da água e profundidade

A profundidade média das estações estudadas foi de 0,9 m, com variação entre 0,3 m (AR08) e 1,9 m (AR04), sendo a estação mais profunda a da Marina São Bento, em Cabo Frio (Figura 2). As variáveis físico-químicas da água (oxigênio dissolvido, pH, salinidade e temperatura) foram mais baixas ao longo do Canal do Itajuru (entre as estações AR01 e AR07) em comparação com as demais regiões da laguna (entre AR08 e AR16) (Figura 2). A temperatura variou entre 23° C (AR05) a 25,7° C (AR08), com média de 24,8° C. As temperaturas >25° C foram encontradas dentro do corpo lagunar (Figura 2). O pH variou de 7,6 dentro do canal (AR01) à 8,7 em uma das estações do Bolsão 1 (AR09), com valor médio de 8,06. A salinidade média foi de 45,4‰ e o valor mínimo foi de 37 ‰ na estação AR02 e a máxima de 60 ‰ em AR13 (Figura 2). Os valores de oxigênio dissolvido (OD) variaram entre 5,9 mg.l⁻¹ próximo ao final do canal (AR06) e 9,5 mg.l⁻¹ numa das regiões abrigadas e internas do Bolsão 1 (AR10) (Figura 2).

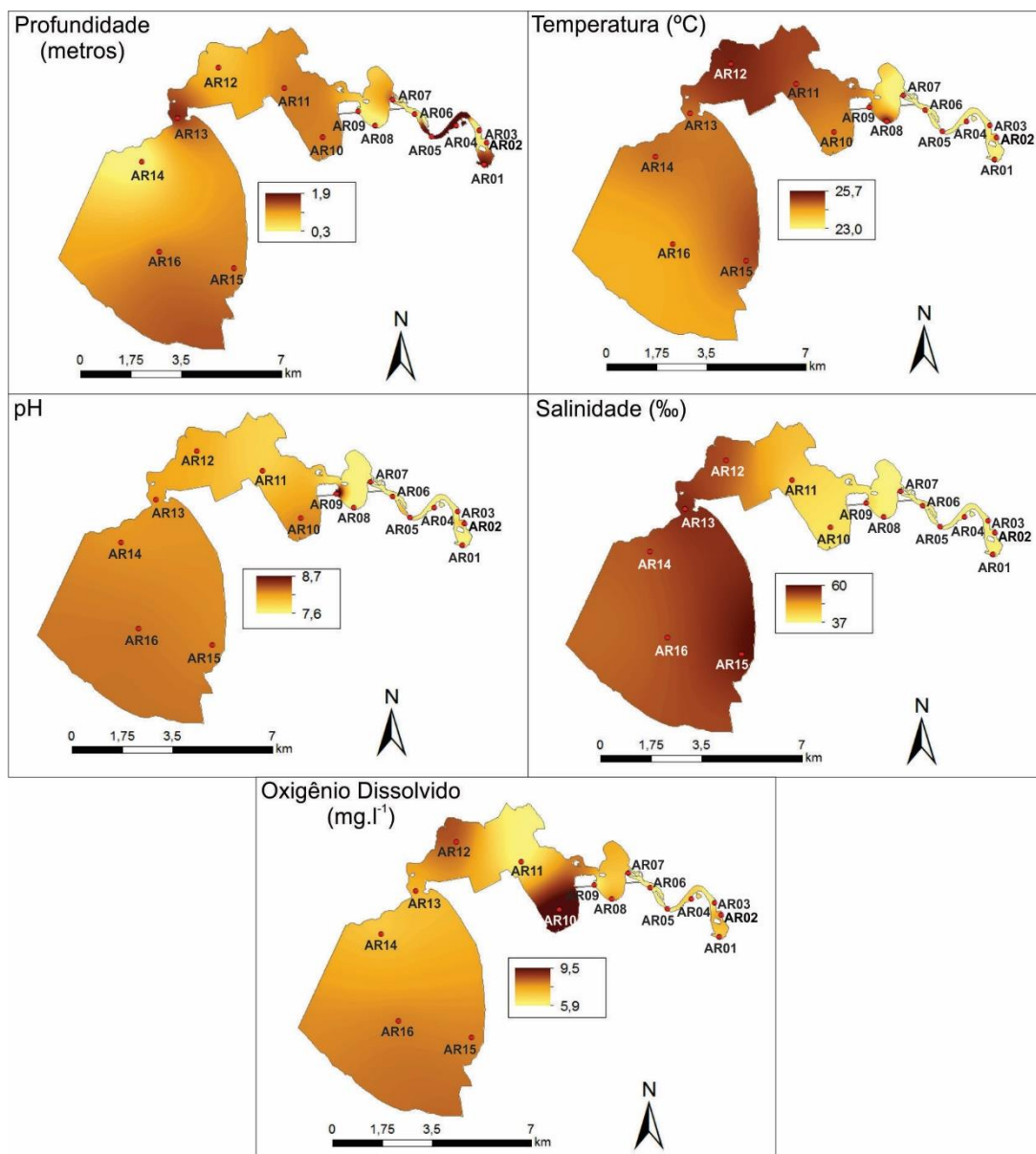


Figura 2 Mapas de distribuição da profundidade e das variáveis físico-químicas e das estações amostrada na Laguna de Araruama.

4.2 Análise granulométrica e Carbonato

O mapa de distribuição da granulometria e Carbonato da área de estudo se encontra na Figura 3. A fração predominante de tamanho de grão de sedimento na área de estudo foi areia, que chegou a 100% na estação AR02 e AR15 e menor quantidade em AR04 (0,2%). A fração de finos variou entre 0,2% no início do Canal do Itajuru (AR03) e 100% em todas as estações do Bolsão 2 (de AR10 até AR13).

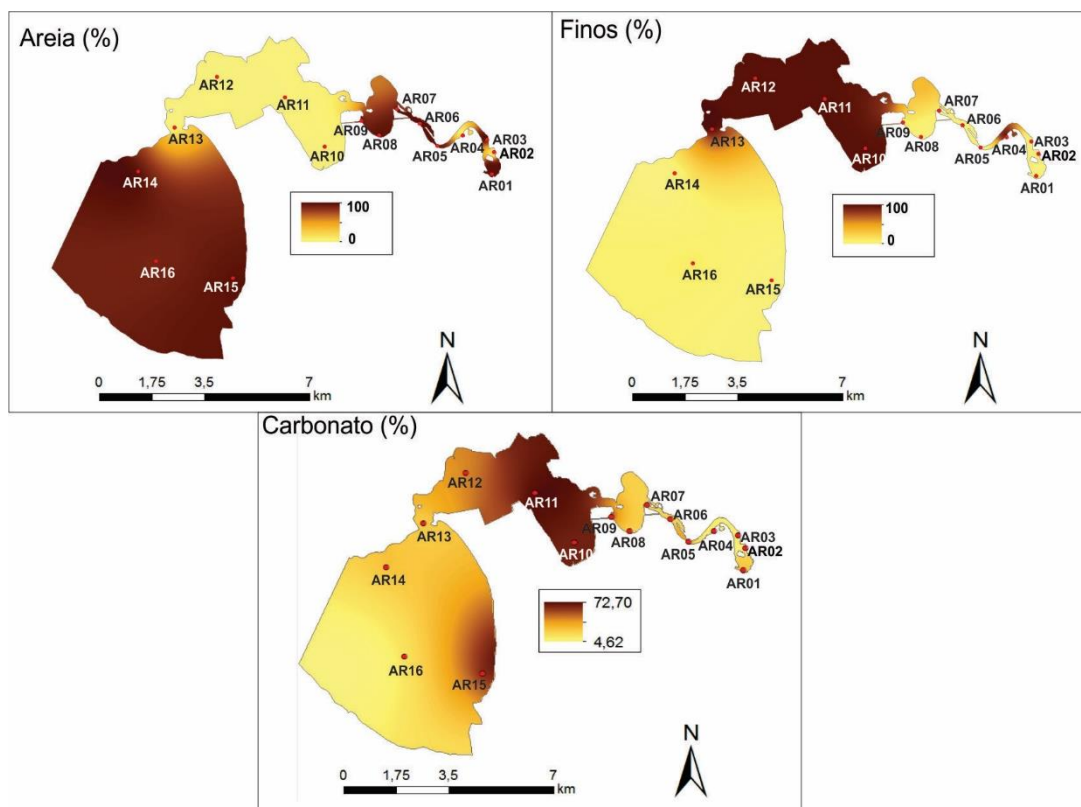


Figura 3 Mapa de distribuição das frações granulométricas (%) (areia e finos) e carbonato (%) da região amostrada na Laguna de Araruama.

4.3 Carbono Orgânico Total (COT), Enxofre Total (ET) e Matéria Orgânica (MO)

Matéria Orgânica obteve sua maior concentração em AR13 (40,80%) e menor na estação AR15 (2,04%). As porcentagens de COT variaram entre 0,05% (AR03) e 4,58% (AR13), enquanto de ET variou entre 0,04% em uma das estações do início do Canal do Itajuru (AR02) e 0,67% na Marina São Bento, em Cabo Frio (AR04). O COT e ET, como é possível observar na Figura 4 foram mais baixos na foz do canal e nas regiões mais internas no Bolsão 3.

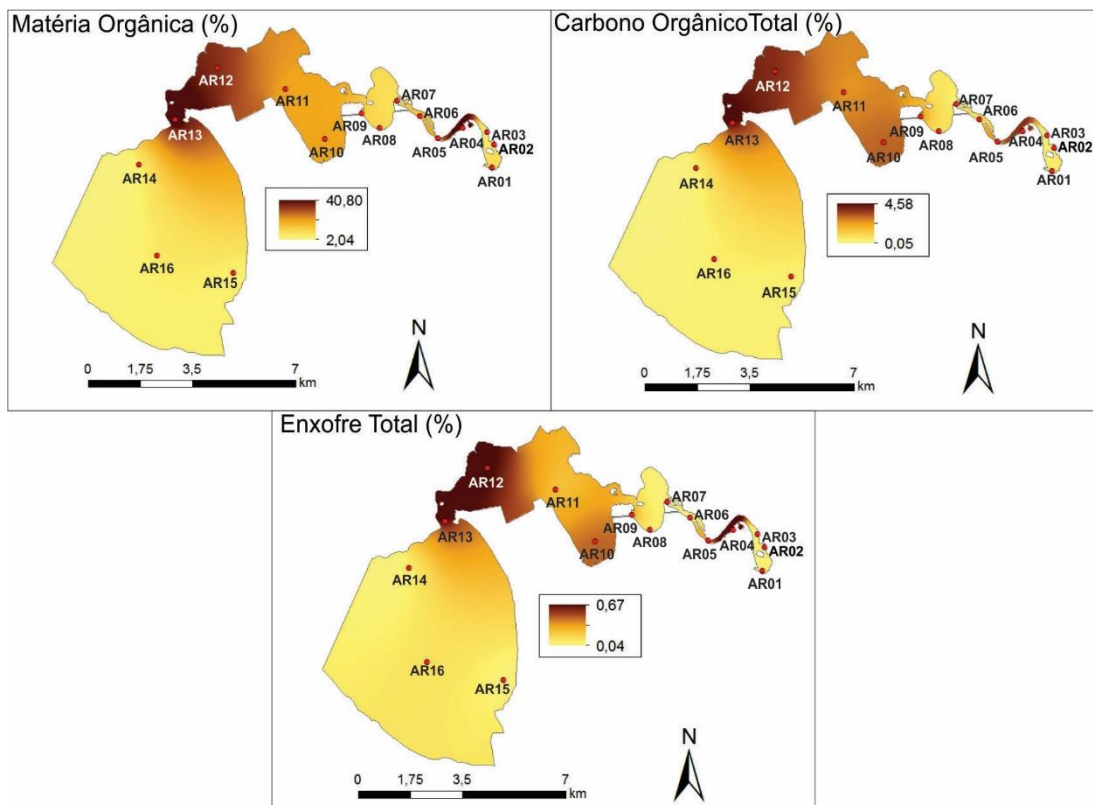


Figura 4 Mapas de distribuição de MO (%), COT (%) e ET (%) da área de estudo na Laguna de Araruama.

4.4 Biopolímeros

Os mapas de distribuição de biopolímeros e a razão PTN/CHO estão na Figura 5. Ao ser realizada a soma das concentrações previamente convertidas para equivalentes, definida como Carbono Biopolimérico Total, encontrou-se o mínimo valor de $2,25 \text{ mg C g}^{-1}$ (AR03) e $26,3 \text{ mg C g}^{-1}$ (AR09). Os valores de PTN variaram entre $0,86 \text{ mg C g}^{-1}$ (AR03) e $3,52 \text{ mg C g}^{-1}$ (AR09), com média de $1,87 \text{ mg C g}^{-1}$. As concentrações de CHO tiveram seu mínimo ($1,10 \text{ mg C g}^{-1}$) em duas estações no início do Canal do Itajuru (AR02 e AR03) e máximo ($18,61 \text{ mg C g}^{-1}$) na região da Praia do Siqueira em Cabo Frio (AR09). O LIP variou entre $0,25 \text{ mg C g}^{-1}$ (AR13) a $6,60 \text{ mg C g}^{-1}$ (AR04), com valor médio de $2,30 \text{ mg C g}^{-1}$. A razão PTN/CHO variou entre 0,14 (AR10) e 1,03 (AR16) com os maiores valores na região mais interna do Bolsão 3 (Figura 5).

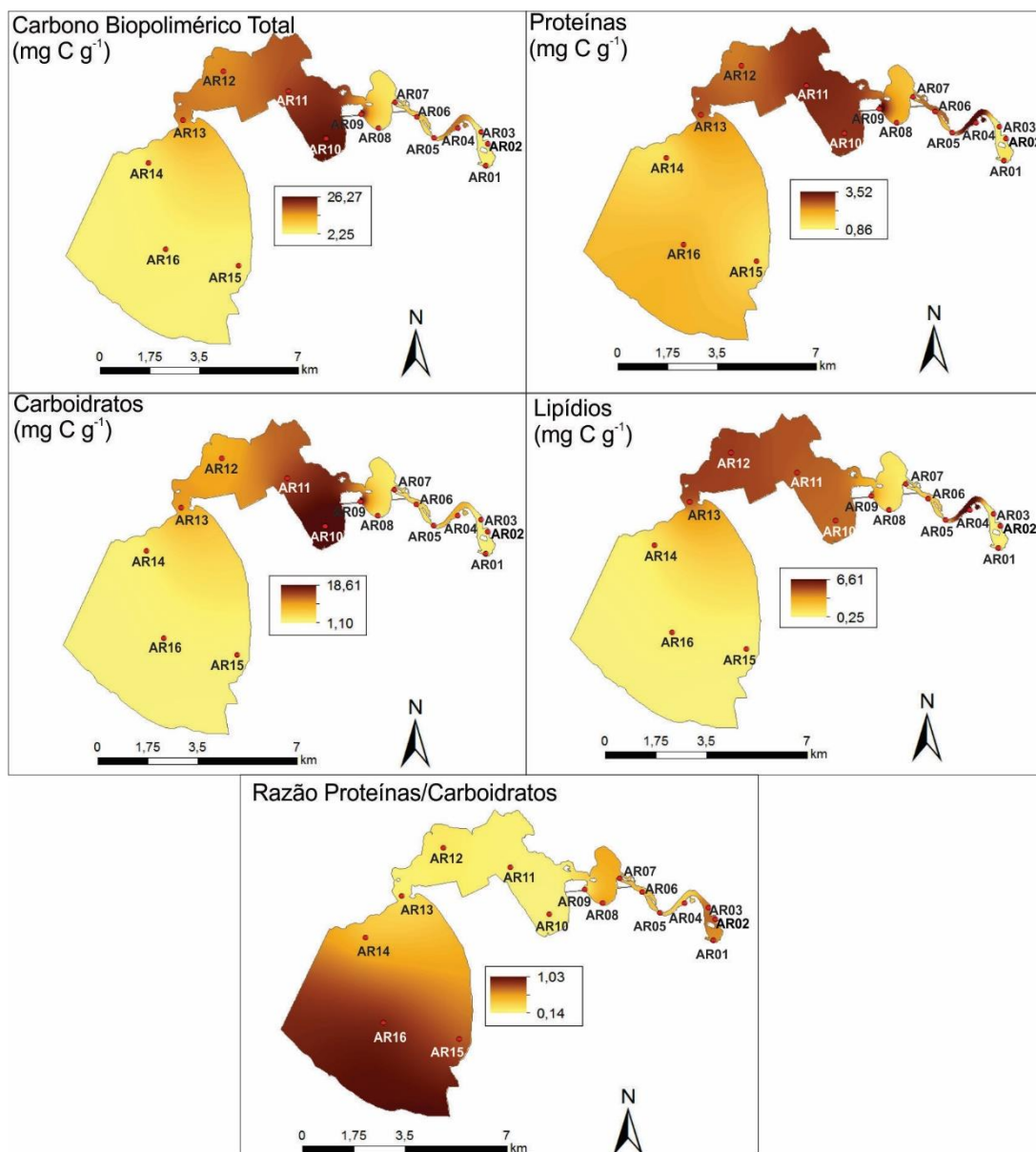


Figura 5 Mapas de distribuição de Biopolímeros (mg C g⁻¹) da região amostrada na Laguna de Araruama.

4.5 Análise estatística

A análise em PCA apresentou colinearidade de 70,5% no Eixo 1 e 16,7% no Eixo 2 (Fig. 6) e permitiu verificar a influência dos parâmetros sedimentológicos (biopolímeros e granulometria) e físico-químicos da água sobre as regiões do Canal do Itajuru e adjacências na Laguna de Araruama. No PCA foi possível constatar 3 diferentes grupos de estações (Grupo I, II e III) e uma estação isolada (AR04). O Grupo I foi composto pelas estações do Canal do Itajuru, exceto AR04, que foram correlacionados positivamente pela fração arenosa e negativamente pelos parâmetros físico-químicos da água e CO₃²⁻. O Grupo II (AR08 e todo Bolsão 3- AR14, AR15 e AR16) foi influenciado positivamente

pela fração arenosa, variáveis físico-químicas da água e CO_3^{2-} . O grupo III (AR09 e Bolsão 2 – AR10, AR11, AR12 e AR13) foi associado positivamente ao CHO, CBT, COT, LIP, PTN, ET e a fração granulométrica fina. A estação AR04 foi relacionada positivamente aos mesmos fatores do grupo III, entretanto de forma mais influente demonstrou a maior influência do eixo 2 sendo a estação que apresentou maior correlação negativa aos parâmetros físico-químicos da água e CO_3^{2-} (Fig. 6).

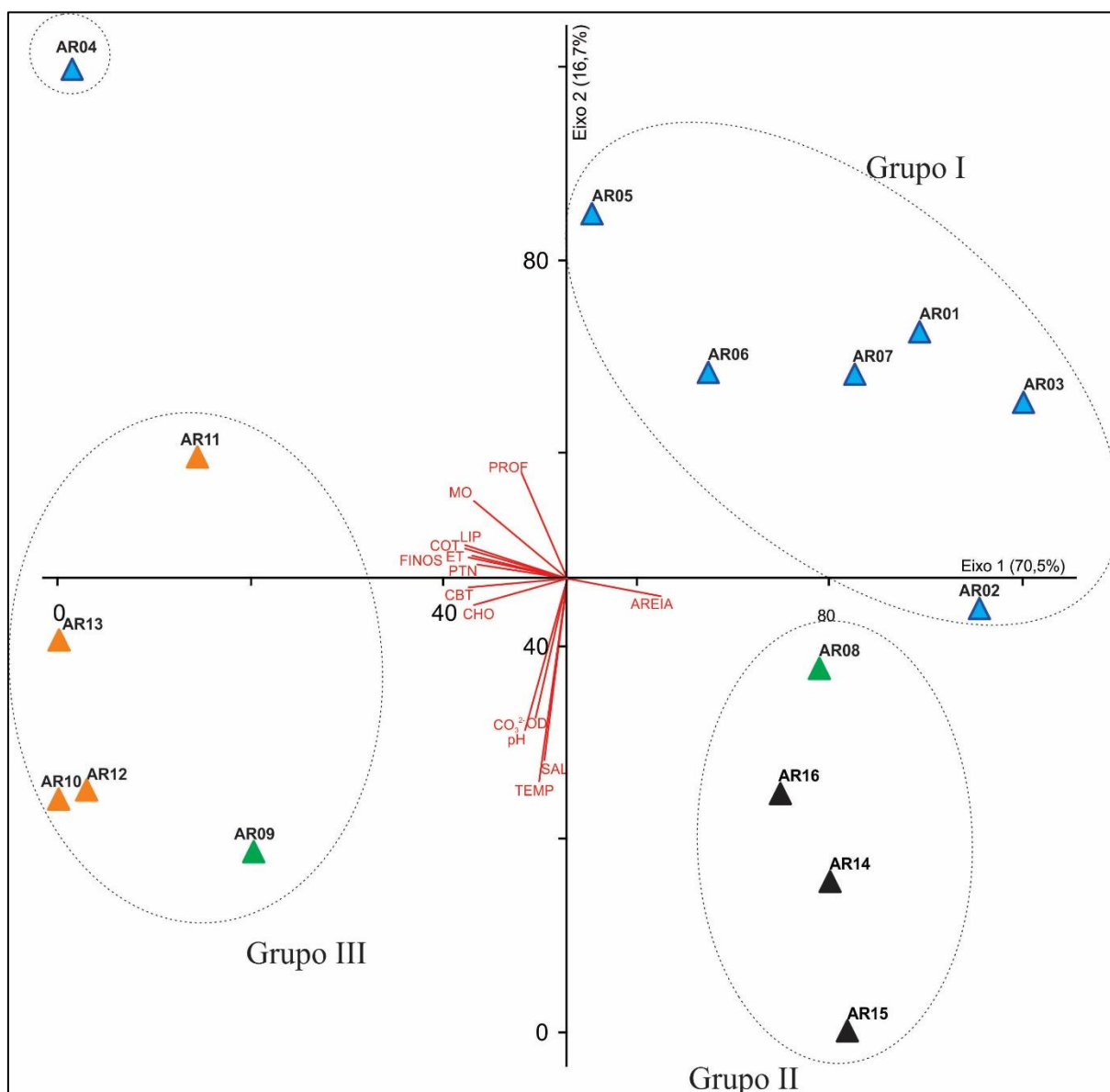


Figura 6 *Principal Component Analysis* do Canal do Itajuru e adjacências (MO- matéria orgânica; CHO- Carboidratos; LIP- Lipídios; PTN- Proteínas; CBT- Carbono Biopolimérico Total; COT- Carbono Orgânico Total; ET- Enxofre total; PROF- Profundidade; OD- Oxigênio Dissolvido; SAL- Salinidade; TEMP- Temperatura; CO_3^{2-} - Carbonato). Em azul: Estação do Canal do Itajuru; Em verde: Estações do Bolsão 1; Em laranja: Estações do Bolsão 2; Em preto: Estações do Bolsão 3.

5 Discussão

5.1 Parâmetros físico-químicos

A profundidade medida no presente estudo condizem com a batimetria realizada por Valentini *et al.* (2002), que demonstra que o canal é raso, com baixa capacidade de penetração da onda de maré, o que dificulta a passagem de grandes embarcações e restringe a migração de organismos marinhos para a laguna como local de maturação (Lessa, 1991). As duas estações mais profundas (>1,0 m) ao longo do canal, também foram identificadas por Valentini *et al.* (2002). As maiores profundidades são o resultado da própria morfologia (AR05) e de dragagens periódicas para a passagens de embarcações para as marinas (AR04).

A região estudada na Laguna de Araruama não apresentou uma grande diferença de temperatura (23,0°C – 25,7°C), sendo essas relativamente elevadas. Os maiores valores (>25,1°C) foram encontrados dentro corpo lagunar demonstrando pouca influência do oceano na zona interna para além do canal, como apontado por Primo & Bizerril (2002). O maior valor de temperatura registrado na estação AR08 (25,7°C) representa o aquecimento das regiões de margem com menores profundidades (0,3 m). Moreira-Turcq (2000) verificou que não há grandes variações anuais na temperatura da água na Laguna de Araruama, entretanto sabe-se que em novembro o clima é mais ameno (Weather Spark, 2018). De uma maneira geral todos os valores de temperatura medidos foram mais baixos do que em outras lagunas da Região dos Lagos do Estado Rio de Janeiro como, por exemplo, a de Saquarema (Dias *et al.*, 2017) e Laguma Vermelha (Laut *et al.*, 2017).

Os valores de pH são semelhantes aos encontrados em estudos anteriores realizados na Laguna de Araruama (Debenay *et al.*, 2001; Mello, 2007; Guerra, 2008). Os valores encontrados no Canal do Itajuru e adjacências (7,6 a 8,7) demonstram que a região é alcalina, assim como, outras lagunas de regiões semiáridas como na Laguna de Shuaiba na Arábia Saudita (Abu-Zied & Bantan, 2013), Laguna de Bizerte na Tunísia (Martins *et al.*, 2015b), Lagunas Vermelha (Laut *et al.*, 2017) e Saquarema (Dias *et al.*, 2017), ambas no Brasil.

Os valores de salinidade medidos foram abaixo dos registrados em estudos anteriores (Debenay *et al.*, 2001; Souza *et al.*, 2003; Mello, 2007) demonstrando que a laguna está tendendo a diminuir sua salinidade, apesar ainda ser hipersalina ou que a maior

precipitação no período de coleta tenha influenciado a menor salinidade no período (Weather Spark, 2018). A influência da água oceânica pode ser notada dentro do Canal do Itajuru que apresentou o menor valor médio de salinidade (39 ‰), comparado com outras áreas que apresentaram a média de 55 ‰. Este padrão com grande diferença entre a região do canal e o corpo lagunar ressalta o confinamento e pouca troca de massas d'água (Primo & Bizerril, 2002).

O oxigênio dissolvido na água é um fator importante para presença organismos aeróbicos aquáticos e um dos principais indicadores de qualidade de água (Imhoff & Klaus, 1985). As estações AR10 (9,5 mg.l⁻¹) e AR12 (8,2 mg.l⁻¹) foram as que apresentaram os maiores níveis de OD e estão próximas às salinas do Bolsão 2. Estes valores elevados de OD podem estar relacionados ao bombeamento de água, o que permite alguma renovação (Beranger, 2003). Os valores de OD da água na região estudada da Laguna de Araruama neste estudo foram semelhantes aos encontrados por Guerra (2008) e aos de outras Lagunas do Estado do Rio de Janeiro, como a Laguna de Saquarema (Dias *et al.*, 2017), Laguna de Itaipu (Laut *et al.*, 2016a) e Laguna Vermelha (Laut *et al.*, 2017). Estes valores foram maiores que algumas lagunas consideradas como impactadas como, por exemplo, a Lagoa de Maricá (Guerra *et al.*, 2011) e a Laguna de Bizerte (Martins *et al.*, 2015b). Desta forma, os valores de OD na água indicam que a região estudada pode ser considerada um ambiente favorável à presença de organismos aeróbicos pertencentes a vários níveis tróficos (Dias *et al.*, 2017).

5.2 Granulometria e Carbonato sedimentares

A fração arenosa é predominante no sedimento da área de estudo, assim como observado por Lessa (1991) e pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA, 1988) e apenas nas estações AR04, e em todo o Bolsão 2 há predominância da fração fina. Isso pode ser justificado pela maior profundidade no caso das estações AR04 e AR13, já que a condição hidrodinâmica de locais mais profundos comumente é reduzida (Teodoro *et al.*, 2010). As estações AR10, AR11 e AR12 se encontram em regiões abrigadas e confinadas da laguna (Dias *et al.*, 2017).

Debenay *et al.* (2001) em seu estudo encontrou valores >50% de carbonato presente no sedimento de fundo em todo o Bolsão 2 e também no local onde se encontra a estação AR14. Entretanto, neste estudo apenas foram obtidos >50% nas estações AR10 e AR11, AR09 e AR15 (Figura 3). Nessas estações, pelo observado nas amostras obtidas neste

estudo, há a grande presença de *Anomalocardia brasiliiana* o que justificaria o alto teor de carbonato nessa porção do Bolsão 2 (Figura 3) como foi relatado por Primo & Bizerril (2002). As estações com maiores valores de Carbonato (>23,09%), todas estão associadas as estações com a predominância da fração arenosa, exceto na estação AR10, AR11 e AR12. No trabalho de Narchi (1974) é relatado que a espécie *Anomalocardia brasiliiana* habita ambientes com pouco material em suspensão e no sedimento. Levando em consideração que ambas as estações se encontram nas áreas mais protegidas da área de estudo (Figura 3), pode-se dizer que: 1) há presença desses organismos vivos devido ao favorecimento de pouca turbulência desse habitat ou; 2) há algum transporte desses organismos até aquela região após a morte que se acumulam na região abrigada.

A hidrodinâmica na região mais próxima da conexão com o oceano do Canal do Itajuru (AR02 e AR03) justifica a baixa porcentagem de carbonato, pois as conchas sofrem transporte para outras regiões da Laguna (Lessa, 1991). A estação AR01 não está com a porcentagem tão baixa (23,09%), pois se encontra logo atrás de uma das formações rochosas da foz, o que permite a deposição do material (Figura 1).

5.3 Enriquecimento orgânico no sedimento superficial

Os resultados de MO obtidos na Laguna de Araruama são, em geral, mais elevados do que foram encontrados em outras lagunas costeiras do Estado do Rio de Janeiro como Itaipu (Raposo *et al.* 2018), Saquarema (Belart *et al.*, 2019), Guarapira (Batiaan *et al.*, 2010) e outras zonas costeiras, como as lagunas de Veneza e Apúlia, na Itália (Tagliapietra *et al.*, 1998; Dell'Anno *et al.*, 2002), ambas consideradas impactadas por matéria orgânica. O teor de MO da área de estudo são mais elevados (>30,08%) nas estações onde há predominância de sedimentos finos, principalmente no Bolsão 2 (AR10, AR11, AR12 e AR13). Este fator está relacionado com a menor hidrodinâmica local como relatado também por Valentini *et al.* (2002). O alto teor de MO registrado na estação AR04 (36,82%) pode estar relacionado a descarga de esgoto doméstico *in natura* de condomínios a margem do Canal do Itajurú (Primo & Bizerril, 2002).

Neste estudo, a maioria das estações apresentou valores de COT <3%, que são considerados baixos por Baeta Neves *et al.* (1983) em lagunas costeiras. Debenay *et al.* (2001) consideram que a laguna de Araruama apresenta valores baixos de COT em relação a outras áreas costeiras. Contudo, Paez-Osuna *et al.* (1998) encontraram valores de COT entre 0,28% e 11,15% em áreas afetadas por efluentes oriundos de área agrícola e pela

indústria de cana-de-açúcar na Laguna de Pabelon no México. Siqueira *et al.* (2006) documentou concentrações de COT entre 0,09% e 5,78% no estuário de Santos (Brasil), que é uma região que compreende uma área densamente urbanizada com um grande complexo industrial. Na Laguna de Bizerte, na Tunísia, que também é uma região que recebe rejeitos industriais e agrícolas foi reportado valores entre 2,54%– 5,93% (Martins *et al.*, 2016). Laut *et al.* (2017) encontraram na Lagoa Vermelha (Estado do Rio de Janeiro), que não possui fontes de poluição, valores entre 2,54% e 5,93% e atribuíram à alta produtividade primária de cianobactérias e bactérias purpúreas em ambiente hipersalino. De acordo com Mendonça-Filho *et al.* (2003), as regiões que apresentam valores de COT no sedimento >2,5% e alta concentração de matéria orgânica podem ser considerados com baixo oxigênio ou anóxicas. Desta forma, a zona próxima às marinas (estações AR04 e AR05) e o bolsão 2 (estações AR09, AR10, AR11, AR12 e AR13) seriam as regiões onde o sedimento poderá apresentar maior tendência à redução acentuada do oxigênio. As outras regiões apresentam valores de COT inferiores a outras lagunas do Estado do Rio de Janeiro, considerada como impactadas por matéria orgânica como Itaipu, com média de 3,3% (Raposo *et al.*, 2018) e Saquarema, em que esta variável variou entre 0,09% e 21,5% (Belart *et al.*, 2018).

Assim como as concentrações de COT, o ET no sedimento superficial da região estudada na Laguna de Araruama apresentou valores baixos (0,04% a 0,67%) quando comparada com outros ambientes costeiros no Brasil como a Laguna de Itaipu (0,03-1,73%; Laut *et al.*, 2016a), Baía de Guanabara (média de 1,4%; Clemente *et al.*, 2015), Laguna de Saquarema (0,02%-4,95%; Dias *et al.*, 2017) e Estuário de Santos (média de 6,03%; Siqueira *et al.*, 2006). Os valores encontrados em Araruama são semelhantes a regiões de clima mediterrânico como os estuários do Rio Guadiana (Silva *et al.*, 2013) e do Rio Arade (Laut *et al.*, 2016b), situados no sul de Portugal (entre 0,01% a 0,3%) e na Laguna de Bizerte na Tunísia (Martins *et al.*, 2016) que apresentou valor médio de 0,04%. Os valores encontrados ao longo da Laguna de Araruama são semelhantes aos identificados na Lagoa Vermelha (Laut *et al.*, 2017), que parecem ser típicos de ambientes deposicionais de clima árido com sedimentação carbonática.

5.4 Qualidade da Matéria Orgânica

O Carbono Biopolimérico Total (CBT) indica a quantidade e a qualidade da matéria orgânica biodisponível (Danovaro *et al.*, 1993). Na Laguna de Araruama os valores de

CBT oscilaram entre 2,25 mg C g⁻¹ a 26,27 mg C g⁻¹, com média de 5,76 mg C g⁻¹, que indica que em média a região amostrada é pouco impactada.

A tabela 1 compara o teor CBT registrados em de diferentes ambientes costeiros no Estado do Rio de Janeiro, como a Lagoa Vermelha (Laut *et al.*, 2017), as Lagunas de Saquarema (Dias *et al.*, 2017) e Itaipu (Laut *et al.*, 2016a), além de outras áreas impactadas pelo mundo, como a Lagoa de Marsala, na Itália (Manini *et al.*, 2003), e diferentes regiões do Mar Egeu (Danovaro *et al.*, 1999). Com base nessa comparação de diferentes ambientes costeiros (Tabela 1) é possível inferir que o Canal do Itajuru e adjacências possui um impacto pontual. De uma maneira geral, as estações possuem baixo teor de MO biodisponível.

De acordo com Fabiano & Danovaro (1994), a composição de biopolímeros em áreas costeiras é caracterizada hierarquicamente por PTN > CHO > LIP. De maneira geral, a Laguna de Araruama apresentou o padrão CHO > PTN > LIP, que indica predominância de matéria orgânica fresca, recém depositada (Cotano & Villate, 2006) e produzida pela atividade microbológica, que é bem ativo em ambientes hipersalinos (Laut *et al.* 2017). Este padrão foi diferente na estação AR16, onde o teor de PTN foi maior que os demais biopolímeros. Isto indica que, provavelmente, há aporte matéria orgânica fresca, já que as PTN são mineralizadas mais rapidamente do que os demais (Burdige *et al.*, 2000) e comuns a regiões onde há despejo de esgoto *in natura* (Laut *et al.* 2016).

As estações AR04, AR05, AR09 e todo o bolsão 2 apresentaram o padrão CHO > LIP > PTN indicando que nestas regiões prevalece a matéria orgânica refratária que não é degradada facilmente. A CHO é comumente é relacionado ao fitoplâncton ou detritos vegetais continentais (Cotano & Villate, 2006) ao passo que o LIP está relacionado à matéria orgânica refrataria (Cartes *et al.* 2002; Grémare *et al.* 2002; 2006). Em lagunas costeiras que sofrem impactos antrópicos, o aumento da concentração de LIP está comumente associado ao aumento de substâncias recalcitrantes oriundas do *input* fluvial ou pluvial (Laut *et al.* 2016).

Dell'Anno *et al.* (2002) propõe que um ambiente costeiro com condições tróficas adequadas tenha valores de PTN entre 0,30-2,12 mg C g⁻¹, CHO de 0,17-2,07 mg C g⁻¹ e LIP de 0,32-2,52 mg C g⁻¹, baseados em análises feitas ao longo da Costa de Apúlia, na Itália. A Laguna de Araruama apresentou elevadas concentrações de PTN em boa parte de sua malha amostras (estação AR04, AR06, AR08 e Bolsão 2). Em relação à concentração de CHO, somente as estações AR01 a AR03, AR15 e AR16 apresentaram dentro do

recomendado por Dell'Anno *et al.* (2002). Os teores de LIP na maioria das estações estavam dentro dos padrões recomendados, exceto nas estações AR03 e AR15 que ficaram abaixo dos valores limites. As estações AR04, AR09 e todo o Bolsão 2, que se apresentaram acima dos valores adequados para um ambiente trófico equilibrado.

Na Figura 5, é possível verificar que o Bolsão 2 há a predominância de altas concentrações de biopolímeros em comparação com as outras regiões da laguna. Contudo, os valores máximos de biopolímeros foram nas estações AR09 (PTN e CHO) e AR04 (LIP).

Tabela 1 Teor de Carbono Biopolimérico Total da MO em sedimentos superficiais de diferentes ambientes costeiros.

Área de estudo	Carbono Biopolimérico Total (mg C g ⁻¹)	Referência
Laguna de Araruama	2,25-26,27	Este trabalho
Lagoa Vermelha	15,01-43,36	Laut <i>et al.</i> , 2017
Laguna de Itaipu	0,88-6,71	Laut <i>et al.</i> , 2016a
Lagoa de Saquarema	1,78-32,96	Dias <i>et al.</i> , 2017
Lagoa de Marsala	0,6-11,2	Manini <i>et al.</i> , 2003
Mar Egeu- Norte	4,06-5,17	Danovaro <i>et al.</i> , 1999
Mar Egeu- Sul	3,48-3,74	

A quantidade excessiva de PTN e LIP pode estar associada com matéria orgânica antropogênica, enquanto CHO estão mais relacionados à origem do fitoplâncton e detritos vegetais (Cotano e Villate, 2006). Mesmo que em geral os valores de LIP e PTN serem mais baixos, pontualmente em estações do Bolsão 2, AR04 (Marina São Bento e condomínio) e AR09 (Marina Marlin Cabo Frio) (Figura 5) foram encontradas altas concentrações de biopolímeros principalmente de lipídios que podem estar relacionados a descargas de esgoto. Este resultado sugere que há grande quantidade de matéria orgânica proveniente de fontes terrestres como, por exemplo, esgoto doméstico. A estação AR10, no bolsão 2, encontra-se na região mais abrigada da área deste estudo, o que facilitaria o acúmulo de biopolímeros (Figura 5) e também de CO₃²⁻ e MO (Figuras 3 e 4).

De acordo com Primo & Bizerril (2002), a laguna apresenta sinais de eutrofização antrópica, entretanto, avaliando a qualidade de biopolímeros obtidos neste estudo, o sedimento não demonstra um grande enriquecimento de nutrientes. Os menores

valores de PTN e CHO e LIP na foz do Canal do Itajuru (estações AR01 a AR03), são consequência da alta hidrodinâmica nesta região.

A razão PTN/CHO indica a idade da matéria orgânica presente do sedimento e se for >1 indica a presença de MO recente, devido à degradação da PTN ser mais rápida que os demais biopolímeros (Danovaro *et al.*, 1993). Na Laguna de Araruama, exceto na estação AR16, a razão foi <1 , o que evidencia a predominância de MO envelhecida no sedimento, demonstrando que o sistema tem maior capacidade acúmulo do que de degradação ou transporte. Isto indica que mesmo que ainda não apresente um cenário de eutrofização alarmante, este ambiente possui grande suscetibilidade.

5.5 Caracterização do sedimento do Canal do Itajuru e adjacências

Através da análise em PCA foi possível caracterizar três grupos de estações de acordo com suas características deposicionais e estado trófico no sedimento de fundo da Laguna de Araruama: O grupo I inclui todas as estações do Canal do Itajuru, com ausência da estação AR04. Este grupo caracteriza-se por estar relacionado com a fração arenosa e negativamente com os parâmetros físico-químicos da água e CO_3^{2-} , identificando a área como predominância da fração arenosa, influência marinha e maior hidrodinâmica. O mesmo percebe-se do grupo II que inclui as estações AR08 e todo o Bolsão 3 (AR14, AR15 e AR16), entretanto, com menor influência marinha, devido a relação positiva com os maiores valores de temperatura, salinidade, pH e OD mais elevados. A hidrodinâmica no Bolsão 3 pode estar relacionada as células de circulação na área interna da Laguna de Araruama (Valentini *et al.*, 2002). O grupo III engloba a estação 09 e o Bolsão 2 (AR10, AR11, AR12 e AR13) é relacionada com CHO, demonstrando uma região com alta produtividade primária e melhor qualidade da matéria orgânica. Neste grupo a estação AR11 representa a região que recebe MO de origem antropogênica que pode ser marcado pelos maiores valores de PTN e LIP, sedimento finos, MO, TOC e TS. A estação isolada AR04, do Canal do Itajuru, foi influenciada pela predominância do acúmulo de biopolímeros antropogênicos e também da matéria orgânica, demonstrando ser a região com maior impacto antrópico da área amostrada.

A diferença marcante entre o Canal e esses demais setores é justamente a troca com o oceano, que permite que os parâmetros físico-químicos da água sejam mais semelhantes ao marinho e se elevam no para o interior da laguna, com águas mais antigas. A partir do

final do Bolsão 1 (AR09) e em todo o Bolsão 2 a região hidrodinâmica e reduzida com predominância da fração fina, o que facilita o acúmulo de MO.

6. Conclusões

O Canal do Itajuru e adjacências, na Laguna de Araruama demonstrou um gradiente de aumento dos parâmetros físico-químicos no sentido do canal para região mais interna da laguna indicando a redução da influência no corpo lagunar.

Os valores COT demonstraram –se altos na maioria das estações. Já o ET foi baixo e comparado a locais de clima semiárido. Através da análise de biopolímeros, foi possível perceber que há maior aporte de MO proveniente de origem fitoplanctônica e detritos vegetais, com regiões pontuais nas quais a origem antropogênica é elevada. O resultado de biopolímeros demonstrou que o sistema não apresenta sinais de eutrofização. Contudo, a razão CHO/PTN evidencia que a maior parte da área amostrada possui matéria orgânica refratária, que significa que o sistema tende a acumular ao invés de degradar ou transportar a MO, sendo assim, a laguna de Araruama pode ser considerada como um sistema deposicional vulnerável ao processo de eutrofização. Por outro lado, O Canal do Itajuru, exceto da região das marinas, tem predominância da fração arenosa, maior influência marinha e hidrodinâmica acentuada o que não favorece o acúmulo de matéria orgânica.

7. Agradecimentos

Esta pesquisa foi apoiada pelos projetos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq (Universal 445830/2014-0) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ (RJ E26-11.399/2012). Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 pelas bolsas de Mestrado dos alunos Débora Raposo e João Ballalai e bolsa de Doutorado do aluno Pierre Belart. Ao CNPq e UNIRIO pelas bolsas de Iniciação Científica do Renan Habib e Eduardo Volino.

8. Referências

Abu-Zied, R. H. & Bantan, R.A. 2013. Hypersaline benthic foraminifera from the Shuaiba Lagoon, eastern Red Sea, Saudi Arabia: Their environmental controls and usefulness in sea-level reconstruction. *Marine Micropaleontology*, 103: 51-67.

- American Society of Testing and Materials (ASTM). 2008. *Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High- Temperature Tube Furnace Combustion Methods*, ASTM D 4239. Disponível em: <<http://www.astm.org>>. Acesso em: 01 set. 2018.
- André, D.L.; Oliveira, M.C., Okuda, T.; Horta, A.M.T.C.; Solan, A.L.; Moreira, I.M.N.S.; Rollemberg, M.C.E. & Heizen, V.E.F. 1981. Estudo Preliminar sobre as condições hidroquímicas da Lagoa de Araruama- Rio de Janeiro. *Instituto de Pesquisas da Marinha*, 139:1-14.
- Azpurua, M. A. & Ramos, K.D. 2010. A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. *Progress in Electromagnetics Research*, 14:135-145.
- Baeta-Neves, M. H. C. 1983. Flora ficológica da lagoa hipersalina da Araruama (Estado do Rio de Janeiro-Brasil), 2: Cyanophyceae. *Instituto de Pesquisas da Marinha*, 149:1-18.
- Baptista-Neto, J. A.; Smith, B. J.; McAllister, J. J. & Silva, M. A. M. 2005. Fontes e Transporte de metais pesados para a Enseada de Jurujuba (Baía de Guanabara) SE- Brasil. *Revista Tamoios*, 2: 6-1.
- Barroso, L.V. Diagnóstico ambiental da Lagoa de Araruama-RJ. 1987. *Boletim FBCN*, 22: 30-65.
- Basset, A.; Sabetta, L.; Sangiorgio, F.; Pinna, M.; Migoni, D.; Fanizzi, F.; Barbone, E.; Galuppo, N.; Fonda Umani, S.; Reizopoulou, S.; Nicolaidou, A.; Arvanitidis, C.; Moncheva, S.; Trajanova, A.; Georgescu, L. & Begiraj, S. 2008. Biodiversity conservation in Mediterranean and Black Sea lagoons: A trail-oriented approach to benthic invertebrate guilds. *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems*, 18: S4-S15.
- Belart, P.; Clemente, I.; Raposo, D.; Habib, R.; Volino, E. K.; Villar, A.; Martins, M. V. A.; Fontana, L. F.; Lorini, M. L.; Panigai, G.; Frontalini, F.; Figueiredo, M. S. L.; Vasconcelos, S. C. & Laut, L. 2018. Living and dead Foraminifera as bioindicators in Saquarema Lagoon System, Brazil. *Latin American Journal Aquatic Research*, 46(5): 1055-1072.
- Beranger, A. 2003. *Dados Históricos de Cabo Frio*. Rio de Janeiro, Ed. Banco do Brasil. 103 p.

- Bergin, F.; Kucuksezgin, F.; Uluturhan, E.; Barut, I. F.; Meric, E.; Avsar, N. & Nazik, A. 2006. The response of benthic foraminifera and ostracoda to heavy metal pollution in Gulf of Izmir (Easter Aegean Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 368-386.
- Blott, S. J. & Pye, K. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248.
- Borja, A.; Basset, A.; Bricker, S.; Dauvin, J.; Elliot, M.; Harrison, T.; Marques, J.; Weisberg, S. & West, R. 2012. Classifying ecological quality and integrity of estuaries. *Treatise on Estuarine and Coastal Science Waltham: Academic Press*, 125-162.
- Brock, T. D.; Madigan, M. T.; Martinko, J. M. & Parker, J. 1994. *Biology of Microorganisms*. Londres, Pearson Education. 1152 p.
- Burdige, D.; Skoog, A. & Gardnet, K. 2000. Dissolved and particulate carbohydrates in contrasting marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(6): 1029-1041.
- Carreira, R.; Wagener, A. L. R.; Timothy, F. & Readmean, J. W. 2001. Distribuição do coprostanol em sedimentos superficiais da Baía de Guanabara: Indicador da poluição recente por esgotos domésticos. *Química nova*, 24: 37-42.
- Cartes, J.E.; Gremare, A.; Maynou, F.; Villora-Moreno, S. & Dinet, A. 2002. Bathymetric changes in the distributions of particulate organic matter and associated fauna along a deep-sea transect down the Catalan sea slope (Northwestern Mediterranean). *Progress in Oceanography*, 53: 29-56.
- Clemente, I. M. M. M.; Silva, F. S.; Laut, L. L. M.; Frontalini, F.; Costa, V. L.; Rodrigues, M. A. C.; Pereira, E.; Bergamaschi, S.; Filho, J. G. M. & Martins, M. V. A. 2015. Biochemical Composition and Foraminifera Content of Sediments for Determining Bottom Sector Environments in Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Coastal Research*, 315: 1190-1204.
- Cotano, U & Villate, V. 2006. Anthropogenic influence on the organic fraction of sediments in two contrasting estuaries: a biochemical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 404-414.
- Coutinho, R.; Ribeiro, P.; Kjerfve, P.; Knoppers, B.; Muehe, D. & Valentin, J.L. 1999. Araruama: Uma lagoa ameaçada. *Ciência Hoje*, 25: 25-31.
- Danovaro, R.; Fabiano, M. & Della-Croce, N. 1993. Labile organic matter and microbial biomass in deep-sea sediments (Eastern Medierranean Sea). *Deep-Sea Research*, 40: 953-965.

- Danovaro, R.; Marrale, D.; Della-Croce, N.; Parodi, P. & Fabiano, M. 1999. Biochemical composition of sedimentar organic matter and bacterial distribution in the Aegea Sea: Trophic state and pelagic-benthic coupling. *Journal of Sea Research*, 42(2): 117-129.
- Danovaro, R & Pusceddu, A. 2007. Biodiversity and Ecosystem Functioning in Coastal Lagoons: Does Microbial diversity Play Any Role? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75: 4-12.
- De Falco, G.; Magni, P.; Terasvuori, L.M.H. & Matteucci, G. 2004. Sediment grain size and organic carbon distribution in the Cabras lagoon (Sardinia, western Mediterranean). *Chemistry and Ecology*, 20: S367-S377.
- Debenay, J.; Geslin, E.; Eichler, B. B.; Duleba, W.; Sylvestre F. & Eichlet, P. 2001. Foraminiferal Assemblages in a Hypersaline Lagoon, Araruama (RJ), Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*. 31(2): 133-151.
- Dell'anno, A.; Mei, M. L.; Pusceddu, A. & Danovaro, R. 2002. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: A new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin*, 44(7): 611-622.
- Dias, G.T.M & Kjerfve, B. 2009. Barrier and Beach Ridge Systems of the Rio de Janeiro Coast. *Notes in Earth Sciences*, 107: 225-252.
- Dias, P.; Martins, M.V.; Clemente, I.; Carelli, T.; da Silva, F.; Fontana, L.; Lorini, M.L.; di Panigai, G.; Habib, R.; Mendonça-Filho, J. & Laut, L. 2017. Assessment of the Trophic State of Saquarema Lagoonal System, Rio de Janeiro (Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, 2 (1): 49-64.
- Dubois, M.; Hamilton, J.K.; Rebers, P.A. & Smith, E. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and relates substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356.
- Esteves, F. A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, FINEP, 602 p.
- Fabiano, M. & Danovaro, R. 1994. Composition of organic matter in sediments facing a river estuary (Tyrrhenian Sea): relationships with bacteria and microphytobenthic biomass. *Hydrobiology*, 277: 71-84.
- Fabiano, M.; Danovaro, R. & Frascchetti, S. 1995. A three-year time series of elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy sediments of the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean). *Continental Shelf Research*, 15: 1453-1969.
- FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente). 1988. *Perfil Ambiental do Município de Araruama*, Rio de Janeiro, Fundação Estadual de Estudos do Meio Ambiente. 45 p.

- Gerchacov, S.M. & Hatcher, P.G. 1972. Improved technique for analysis of carbohydrates in sediment. *Limnology and Oceanography*, 17: 938-943.
- Grémare, A.; Amouroux, J. M.; Charles, F.; Dinet, A.; Riaux-Gobin, C.; Baudart, J.; Medernach, L.; Yves-Bodiou, J.; Vétion, G.; Colomines, J. C. & Albert, P. 1997. Temporal changes in the biochemical composition and nutritional values of the particulate organic matter available to surface deposit feeders: A two-year study. *Marine Ecology Progress Series*, 150: 195–206.
- Grémare, A.; Medernach, L.; deBovée, F.; Amouroux, J. M.; Vétion, G. & Albert, P. 2002. Relationships between sedimentary organics and benthic meiofauna on the continental shelf and the upper slope of the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series*, 234: 85–94.
- Guerra, L.V. 2008. *Processos Microbiológicos e Composição da matéria Orgânica Relacionados à Eutrofização de uma Lagoa Costeira Hipersalina, L. Araruama, RJ*. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental. Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 107 p.
- Guerra, L.V.; Savergnini, F.; Silva, F.S.; Bernardes, M. C. & Crapez, M.A.C. 2011. Biochemical and microbiological tools for the evaluation of environmental quality of a coastal lagoon system in Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 71(2): 461-468.
- Hartree, E.F. 1972. Determination of proteins: a modification of the Lowry method that give a linear photometric response. *Analytical Biochemistry*, 48: 422-427.
- Henrichs, S. M. 1992. Early diagenesis of organic matter in marine sediments: Progress and perplexity. *Marine Chemistry*, 39: 119:149.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2005. Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2005. Disponível em: <
https://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm?caminho=/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2005/>. Acessado em: 02 set. 2018.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2018. IBGE divulga as Estimativas de População dos municípios para 2018. Disponível em: <
<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22374-ibge-divulga-as-estimativas-de-populacao-dos-municipios-para-2018>>. Acessado em: 05 set. 2018

- Imhoff, K. & Klaus, R. 1985. *Manual de Tratamento de Águas Residuárias*. São Paulo, Blucher. 301 p.
- Isla, E.; Gerdes, D.; Palanques, A.; Gili, J. M. & Arntz, W. 2006. Biochemical composition of marine sediment from the eastern Weddel Sea. *Journal Marine System*, 60: 255–267.
- Jones, R. 2001. Foraminifera and their Applications. Cambridge, Cambridge University Press. 401 p.
- Jørgensen, B. B. & Richardson, K. 1996. Eutrophication in coastal marine ecosystems. *American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies*, 273.
- Kemp, W. M. & Boynton, W. R. 2012. Synthesis in estuarine and coastal ecological research: what is it, why is it important, and how do we teach it? *Estuarine Coasts*, 35:1-22.
- Kfourri, P. B. P.; Eichler, B. B.; Eichler, P. B.; Pereira, E. R. M.; Figueira, R.; Abessa, D. M. S. & Sousa, E.C.P.M. 2003. Toxicidade dos sedimentos da Baía de Guanabara-RJ determinada pela ocorrência das associações de foraminíferos bentônicos e testes com anfípodos *Tiburonella viscana*. In: CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICA, 2, Recife, 2003. Anais, Recife, UFPE, 1-4.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoons. In: Kjerfve, B. (Ed.). *Coastal Lagoon Processes*. Amsterdam Oceanographic Series, p. 1-8.
- Kjerfve, B., Schettini, C.A.F.; Knoppers, B.; Lessa, G. & Ferreira, H.O. 1996. Hydrology and salt balance in a large hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 42: 701-725.
- Knoppers, B. 1994. Aquatic production in coastal lagoon. In: Kjerfve, B. (Ed.). *Coastal Lagoon Processes*. Amsterdam Oceanography Series, p. 243-286.
- Laut, L.L.M.; Martins, M.V.A; Fontana, L.F.; Silva, F.S.; Mendonça-Filho, J. G.; Clemente, I. M. M. M.; Frontanini, F.; Raposo, D.; Belart, P. & Ballalai, J. 2016a. Ecological status evaluation of Itaipu Lagoon (Niterói) based on biochemical composition of organic matter. *Journal of Sedimentary Environments*, 1(3): 304-323.
- Laut, L. L. M.; Clemente, I. M. M. M.; Belart, P.; Martins, M. V. A.; Frontalini, F.; Laut, V. M.; Gomes, A.; Boski, T.; Lorini, M. L.; Fortes, R. R. & Rodrigues, M. A. C. 2016b. Multiproxies (benthic foraminifera, ostracods and biopolymers) approach applied to identify the environmental partitioning of the Guadiana River Estuary (Iberian Peninsula). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(2): 184-201.
- Laut, L.; Martins, M. V. A.; Frontalini, F.; Ballalai, J. M.; Belart, P.; Habib R.; Fontana, L. F.; Clemente, I. M.M.M.; Lorini, M.L.; Mendonça-Filho, J. G.; Laut, V. M. & Figueiredo,

- M. S. L. 2017. Assessment of the trophic state of a hypersaline-carbonatic environment: Vermelha Lagoon (Brazil). *PLoS ONE*, 12 (9): e0184819.
- Lessa, G.C. 1991. Dinâmica de maré e transporte de sedimentos no Canal de Itajuru-Laguna de Araruama (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 24(4): 378-386.
- Magalhães, F.S. 2012. *Utilização do fitoplâncton como instrumento de avaliação em programas de monitoramento nos ecossistemas aquáticos costeiros. Estudo de caso: Lagoa de Araruama/RJ*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 160 p.
- Manini, E.; Fiordelmondo, C.; Gambi, C.; Pusceddu, A. & Danovaro, R. 2003. Benthic microbial loop functioning in coastal lagoon: a comparative approach. *Oceanologica Acta*, 26: 27-38.
- Marsh, J.B. & Weinstein, D.B. 1966. Simple charring method for determination of lipids. *Journal of Lipid Research*, 7: 574-576.
- Martins, V.; Ferreira da Silva, E.; Sequeira, C.; Rocha, F. & Duarte, A. C. 2010. Evaluation of the ecological effects of heavy metals on the assemblages of benthic foraminifera of the canals of Aveiro (Portugal). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 87:293-304.
- Martins, M.V. A.; Zaaboub, N.; Aleva, L.; Frontalini, F.; Pereira, E.; Miranda P.; Mane, M.; Rocha, F.; Laut, L. & El Bour, M. 2015a. Environmental Quality Assessment of Bizerte Lagoon (Tunisia) Using Living Foraminifera Assemblages and a Multiproxy Approach. *PLoS ONE*, 10(9): e0137250.
- Martins, M. V. A.; Frontalini, F.; Rodrigues, M. A. C.; Dias, J. A.; Laut, L. L. M.; Silva, F.; Clemente, I. M.; Reno, R.; Moreno, J.; Sousa, S.; Zaaboub, N.; El Bour, M. & Rocha, F. 2015b. Foraminiferal Biotypes and their Distribution Control in Ria de Aveiro (Portugal): a multiproxy approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(12); 8875-8897.
- Martins, M. V. A.; Helali, M. A.; Zaaboub, N.; Omrane, I.; Frontalini, F.; Reis, D.; Portela, H.; Clemente, I. M. M. M.; Nogueira, L.; Pereira, E.; Miranda, P.; El Bour, M. & Aleva, L. 2016. Organic matter quantity and quality, metals availability and foraminifera assemblages as environmental proxy applied to the Bizerte Lagoon (Tunisia). *Marine Pollution Bulletin*, 105: 161–179.
- Martins, M. V. A.; Laut, L. L. M.; Frontalini, F.; Sequeira, C.; Rodrigues, R.; da Fonseca, M. V. M.; Bergamaschi, S.; Pereira, E.; Delavy, F. P.; Figueiredo-Jr., A. G.; Miranda, P.;

- Terroso, D.; Pena, A. L.; Laut, V. M.; Figueira, R.; Rocha, F. 2016. Controlling Factors on the abundance, diversity and size of living benthic foraminifera in the NE Sector of Guanabara Bay (Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(4): 393-410.
- Mello, T.B.M. 2007. *Caracterização biogeoquímica da Lagoa de Araruama, Rio de Janeiro*. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 54 p.
- Mendonça-Filho, J. G.; Menezes, T. R.; Oliveira, E. & Iemma, M. B. 2003. Caracterização da contaminação por petróleo e seus derivados na Baía de Guanabara: aplicação de técnicas organogeoquímicas e organopetrográficas. *Anuário do Instituto de Geociências*, 26(1): 69-78.
- Meyer-Reil, L. A. & Koster, M. 2000. Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities. *Marine Pollution Bulletin*, 41: 255-263.
- Moreira-Turcq, P. 2000. Impact of a low salinity year on the metabolism of a hypersaline coastal lagoon (Brazil). *Hydrobiologia*, 429(1-3): 133-140.
- Narchi, W. 1974. Aspectos ecológicos e adaptativos de alguns bivalves do litoral paulista. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 27: 235-262.
- Páez-Osuna, F.; Bojórquez-Leyva, H. & Green-Ruiz, C. 1998. Total carbohydrates: organic carbon in lagoon sediments as an indicator of organic effluents from agriculture and sugar-cane industry. *Environmental Pollution*, 102: 321-326.
- Passavante, J. Z. O. & Koenig, M. L. 1984. Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco Brasil. XXVI. Clorofila a e material em suspensão no estuário do rio Botafogo. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, 18: 207-230.
- Pereira, M. E.; Lillebø, A. I.; Pato, P.; Válega, M.; Coelho, J.P.; Lopes, C. B.; Rodrigues, S.; Cachada, A.; Otero, M.; Pardal, M. A. & Duarte, A. C. 2008. Mercury pollution in Ria de Aveiro (Portugal): a review of the system assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 155(1-4): 39-49.
- Primo, P.B.S. & Bizerril, C.R.S.F. 2002. *Lagoa de Araruama: Perfil ambiental do maior ecossistema lagunar hipersalino do mundo*. Rio de Janeiro, SEMADS. 160 p.
- Pusceddu, A.; Sara, A.; Mazzola, M. & Fabiano, M. 1997. Relationships between suspended and sediment organic matter in a semi-enclosed marine system: the Stagnone di Marsala sound (Western Sicily). *Water, Air, Soil Pollution*, 99: 343-352.

- Raposo, D.; Clemente, I.; Figueiredo, M.; Vilar, A.; Lorini, M.L.; Frontalini, F.; Martins, V.; Belart, P.; Fontana, L.; Habib, R. & Laut, L. 2018. Benthic foraminiferal and organic matter compounds as proxies of environmental quality in a tropical coastal lagoon: The Itaipu lagoon (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 129 (1): 114-125.
- Rice, D.L. 1982. The detritus nitrogen problem: new observation and perspectives from organic geochemistry. *Marine Ecology Progress Series*, 9:153-162.
- Ringnér, M. 2008. What is the principal component analysis? *Nature Biotechnology*, 26(3): 303-304.
- Sales, W. & Cardoso, W. 2012. Análise Granulométrica com o CILAS. PROTOCOLO LAB No 05-11 REV 01, UFF.
- Schetinni, C.A.F. 1994. *Determinantes Hidrológicos na Manutenção da Condição Hipersalina da Lagoa de Araruama, RJ*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 75 p.
- Sikora, W. B. & Kjerfve, B. 1985. Factors influencing the salinity of Lake Pontchartrain, Louisiana, a shallow coastal lagoon: analysis of a long-term data ser. *Estuaries*, 8(2A): 170-180.
- Silva, F. S.; Pereira, D. C.; Nuñez, L. S.; Krepsky, N.; Fontana, L. F.; Baptista-Neto, J. A. & Crapez, M. A. C. 2008. Bacteriological study of the superficial sediments of Guanabara Bay, RJ, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 56: 13-22
- Silva, F. S.; Santos, E. S.; Laut, L. L. M., Sanchez-Nuniês, M.L.; da Fonseca, E. M.; Baptista-Neto, J. A. & Crapez, M. A. C. 2010. Geomicrobiology and biochemical composition of two sediment cores from Jurujuba sound – Guanabara Bay – SE-Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 33(2): 24-35.
- Silva, F. S.; Laut, L. L.; Santos, E. S.; Laut, V. M.; Crapez, M. A. C. & Mendonça-Filho, J. G. 2011a. Biopolímeros, carbono e enxofre totais associados à atividade bacteriana nos sedimentos superficiais do delta do Paraíba do Sul, RJ- Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(1): 33-45.
- Silva, F. S.; Bitencourt, J. A. P.; Savergnini, F.; Guerra, L. V; Baptista-Neto, J. A. & Crapez, M. A. C. 2011b. Bioavailability of organic matter in the superficial sediment of Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências- UFRJ*. 34(1): 52-63.
- Silva, F.S.; Laut, L.L.; Carvalhal-Gomes, S.B.V.; Fontana, L. F.; Martins, V. A.; Gomes, A. I.; Clemente, I. M. M. M.; Laut, V. M.; Souza, R.C. C. L.; Crapez, M. A. C., Rodrigues,

- M. A.C. & Mendonça-Filho, J. G. 2013. Caracterização geoquímica de sedimentos estuarinos do sul da Península Ibérica como ferramenta para o diagnóstico ambiental. In: Rodrigues, M. A. C.; Pereira, S. D. & Bergamaschi, S. (ed). *Interações Homem Meio nas zonas costeiras: Brasil/Portugal*. Corbã Editora Artes Gráficas LTDA., p. 151-182.
- Sílvia, P. M. M. 2009. A laguna de Itaipu e os serviços ambientais na região oceânica de Niterói, RJ. Bacharelado em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Monografia, 77p.
- Siqueira, G. W.; Braga, E. S.; Mahiques, M. M. & Aprile, F. M. 2006. Determinação da matéria orgânica e razões C/N e C/S em sedimentos de fundo do estuário de Santos-SP/Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar- Fortaleza*, 39: 18-27.
- Souza, M.F.L; Kjerfve, B.; Knoppers, B.; Landim de Souza, W.F. & Damasceno, R.N. 2003. Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57: 843-858.
- Tagliapietra, D.; Pavan, M.; & Wagner, C. 1998. Macrobenthic Community Changes Related to Eutrophication in Palude della Rosa (Venetian Lagoon, Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47(2), 217–226.
- 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. *Marine Pollution Bulletin*, 60:536-553.
- Valentini, E.M.S.; Rosman, P.C.C.; Oliveira, V.N. & Cunha, A.C.B. 2002. *Modelagem da Lagoa de Araruama, RJ*. Relatório/Projeto PEC- 1984 (Fundação COPPETEC-COPPE/UFRJ).

Apêndice 1: Dados do Canal do Itajuru e adjacências: Coordenadas geográficas, parâmetros físico-químicos da água (Sal.- salinidade; pH; OD- oxigênio dissolvido; Temp.- temperatura), profundidade (PROF) e parâmetros do sedimento (MO- matéria orgânica; CO₃²⁻- Carbonato; Areia- Fração Arenosa; Finos- Fração Fina; COT- Carbono Orgânico Total; ET- Enxofre Total; CHO- Carboidratos; LIP- Lipídios; PTN- Proteínas; CBT- Carbono Biopolimérico Total; PTN/CHO- razão proteína/carboidrato).

	LAT.	LONG.	SAL.	pH	OD	TEMP.	PROF.	AREIA	FINOS	CO ₃ ²⁻	MO	COT	ET	CHO	LIP	PTN	CBT	PTN/CHO
	(S)	(W)	‰		(mg L ⁻¹)	°C	m			%				(mg g ⁻¹)			(mg C g ⁻¹)	
AR01	-22886364°	-42003932°	40	7.60	7.0	24.0	1,3	99.4	0.60	23.09	5.24	0.13	0.05	1.54	0.36	1.09	2.99	0.71
AR02	-22879522°	-42003322°	37	8.10	7.8	25.0	0,5	100.0	0.0	4.62	2.60	0.08	0.04	1.1	0.4	0.92	2.43	0.84
AR03	-22875775°	-42005703°	39	7.90	6.2	24.0	0,4	99.8	0.20	6.96	2.59	0.05	0.06	1.1	0.29	0.86	2.25	0.78
AR04	-22874594°	-42013692°	38	7.90	6.9	24.0	1,9	0.2	99.80	7.43	36.82	3.92	0.67	7.52	6.61	3.03	17.15	0.4
AR05	-22877947°	-42021908°	38	8.10	6.0	23.0	1,3	95.70	4.3	34.66	15.92	2.42	0.29	3.35	1.7	1.56	6.61	0.47
AR06	-22871197°	-42027881°	40	7.90	5.9	24.0	0,5	99.6	0.4	18.50	10.38	0.58	0.06	4.7	1.92	2.3	8.92	0.49
AR07	-22866828°	-42035489°	39	7.80	7.0	24.0	1,1	99.4	0.6	18.28	4.50	0.15	0.05	2.55	0.7	1.5	4.75	0.59
AR08	-22875042°	-42041086°	40	7.70	7.7	25.7	0,3	99.7	0.3	18.18	6.82	0.50	0.08	2.43	0.85	1.62	4.9	0.66
AR09	-22870694°	-42047006°	45	8.70	6.0	25.3	0,5	98.2	1.8	54.36	9.17	2.60	0.3	18.61	4.14	3.52	26.27	0.19
AR10	-22878869°	-42058861°	42	8.20	9.5	25.2	1,0	0.0	100.0	67.35	16.32	3.13	0.41	17.8	4.32	2.55	24.67	0.14
AR11	-22863897°	-42072178°	45	8.05	6.4	25.4	1,0	0.0	100.0	72.70	16.99	2.49	0.23	13.08	4.6	2.63	20.32	0.2
AR12	-22857969°	-42094600°	55	8.14	8.2	25.6	0,8	0.0	100.0	43.55	30.08	4.01	0.62	8.05	5.15	2.12	15.32	0.26
AR13	-22873881°	-42108186°	58	8.18	7.3	25.3	1,2	0.0	100.0	21.38	40.80	4.58	0.57	8.9	4.61	2.26	15.77	0.25
AR14	-22887683°	-42119844°	55	8.19	7.1	25.3	0,5	99.4	0.60	24.69	2.27	0.13	0.08	2.37	0.98	1.16	4.52	0.49
AR15	-22920081°	-42088050°	60	8.21	7.9	25.4	1,0	100.0	0.0	62.68	2.04	0.11	0.06	1.35	0.25	1.16	2.76	0.86
AR16	-22915303°	-42113403°	55	8.23	7.9	25.1	1,0	92.10	7.9	11.81	2.90	0.16	0.12	1.58	0.45	1.62	3.65	1.03

CAPÍTULO II

Artigo a ser submetido na *Marine Pollution Bulletin*

Benthic foraminifera and organic matter compounds as proxies to trophic state in Hypersaline Environments: Araruama Lagoon- Brazil

Amanda Vilar¹, Iara Clemente², Maria Lucia Lorini³, Marcos de Souza Lima Figueiredo³, Virgínia Martins², Debora Raposo¹, Pierre Belart¹, Fabricio Frontalini⁴, Lazaro Laut¹

¹ Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO, Instituto de Biociências, Laboratório de Micropaleontologia – LABMICRO, Av. Pasteur 458, sl. 500, Urca, CEP 22290-240, Brazil, Rio de Janeiro, RJ

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Av. São Francisco Xavier, 524, sl. 2020A, Maracanã, CEP 20550-013, Brazil, Rio de Janeiro, RJ

³ Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO, Laboratório de Ecologia Bêntica, Av. Pasteur 458, sl. 411, Urca, CEP 22290-240, Brazil, Rio de Janeiro, RJ

⁴ Dipartimento di Scienze Pure e Applicate (DiSPeA), Università degli Studi di Urbino “Carlo Bo”, Campus Scientifico “E. Mattei”, Località Crocicchia, Urbino 61029, Italy

amandah.94@hotmail.com; immmc@hotmail.com; mluc.lorini@gmail.com;
mslfigueiredo@gmail.com; deboraposo@gmail.com; pbelart@gmail.com;
virginia.martins@ua.pt; fabricio.frontalini@uniurb.it; lazaro.laut@hotmail.com

ABSTRACT

Through the approach using biopolymer concentrations, water parameters and sediment grain size analyses it was possible to divided the living foraminifera into three distinct assemblages in Araruama Lagoon. The first assemblage (*Quinqueloculina seminula* and *Ammonia parkinsoniana*) was composed by species associated to sandy sediment, high hydrodynamic and low organic matter content. The second assemblage (*Ammonia tepida* and *Criboelphidium excavatum*) was composed by foraminifera with high tolerance to organic matter, total organic carbon, total sulphur, lipids, mud and high salinity. The third assemblage (*Adelosina milletti*) was associated to the environments with greater marine influence and high protein concentrations. Through the organisms distribution it was

possible to identify different dynamics between the Itajuru Channel and the lagoon body, which shows the low changes with the ocean.

1. Introduction

Coastal lagoons are part of approximately 13% of the world's coastal areas and they are characterized by high photosynthetic activity (Passavante and Kening, 1984) and high pelagic and benthic biodiversity (Danovaro and Pusceddu 2007; Basset et al., 2008; Esteves et al., 2008). Even with great environmental importance, these lagoons are highly impacted by anthropogenic and natural factors (Sikora and Kjerfve, 1985; Kjerfve, 1994; Laut et al., 2016a, 2017; Dias et al., 2017). In many cases, the consequence is the accumulation of pollutants (Kemp and Boynton, 2012) principally the excess of organic matter (Ferraro et al., 2006; Frontalini and Coccioni, 2011; Martins et al., 2013).

The excessive discharge in aquatic environments of organic matter from industrial and domestic source without prior treatment result in enrichment of organic and inorganic nutrients (Carreira et al., 2001; Kfoury et al., 2003). This is considered the main impact in marine and coastal environments (MeyerReil and Koster, 2000).

The biopolymers (Carbohydrates, Lipids and Proteins) are components of sedimentary organic matter and are degraded by metabolically different bacteria (Brock et al., 1994). However, the deposition of organic matter maybe greater than the degradation capacity of the microorganisms, which leads to the accumulation of biopolymers and the eutrophic condition of the environment (Jones, 2001).

Different proxies have been used to assess the water and bottom sediment quality of coastal lagoons around the world (Paez-Osuna et al., 1998; Martins et al., 2015a; Laut et al., 2016a, 2017; Dias et al., 2017; Raposo et al., 2018). Among this, the foraminifera stand out as efficient bioindicators over the years, being applied as in environmental monitoring and ecological quality in coastal areas (Alve, 1995; Bonetti, 2000; Frontalini and Coccioni, 2011). This is because these microorganisms are abundant in coastal environments and they are sensitive to natural or anthropogenic changes in the environment.

The studies on this approach have been performing around the world as in Bizerte Lagoon, in Tunisia (Martins et al., 2015a), Aveiro Lagoon, in Portugal (Martins et al., 2015b), Venice Lagoon, in Italy (Albani et al., 2007), Manzala Lagoon and Burullu, in Egypt (El Baz, 2017; 2018) and Shuaiba Lagoon, in Saudi Arabia (Abu-Zied and Bantan, 2013).

In Brazil, the foraminifera have been identified and used as bioindicators of environmental conditions (Vilela et al., 2011; Martins et al., 2016; Raposo et al., 2016; Belart et al., 2017). Studies using the biopolymers approach to evaluate the trophic state of aquatic ecosystems contributing to identify impacted areas (Baptista-Neto et al., 2005; Silva et al., 2008, 2010, 2011a, b; Laut et al., 2016a, b; Dias et al., 2017). However, there are few studies comparing assemblages of foraminifera with the quality and quantity of biopolymers (Clemente et al., 2015; Raposo et al., 2018; Belart et al., 2018, 2019). In the Araruama Lagoon was performed foraminifera research by Geslin et al. (2002) and Debenay et al. (2001). This last research was important to recognize the foraminifera distribution and for brief characterization of the lagoon. Through, Debenay et al. (2001) performs an analysis of the total foraminifera assemblage, instead of living foraminifera as proposed by Schönfeld et al. (2012) to ecological analyzes. In addition, the sedimentary organic matter composition was not evaluated.

In this context, the aim of this research is to evaluate how the accumulation of organic matter in the Itajuru channel and adjacencies (Araruama Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil) influences the living benthic foraminiferal distribution through a combined approach using biopolymers concentration, physical and chemical parameters and sediment grain size analyses. Through the obtained results, we intend to obtain information about the level of anthropic influence in the studied region and to define tolerant and sensitive living foraminifera species. With this, it is possible to contribute with data for environmental monitoring of hypersaline coastal lagoons.

2. Study area

The Araruama Lagoon (22°49' - 22°57'S and 42°00' - 42°25' W) is located in Rio de Janeiro state, southeast Brazil, bordered by five cities: Araruama, Arraial do Cabo, Cabo Frio, São Pedro d'Aldeia and Iguaba Grande. This lagoon has a large surface area (nearly 200 km²) and high salinity values, between 35 and 77‰ (Andre et al., 1981; Cruz et al., 2018).

The average annual evaporation is 1.400 mm, while the average annual rainfall is only 800 mm (Dias and Kjerfve, 2009). The main fluvial flow to the lagoon presents a daily discharge of $\sim 67 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ (Kjerfve et al., 1996). Other rivers are intermittent and remain dry for most of the year (Kjerfve et al., 1996). These characteristics make the Araruama Lagoon the largest permanent hypersaline lagoon in the world (Coutinho et al., 1999). The

mean depth is 2.5 m, but it has shallower areas ranging from 0.5 to 1.5 m but in some regions the depth reaches 17 m (Souza et al., 2003).

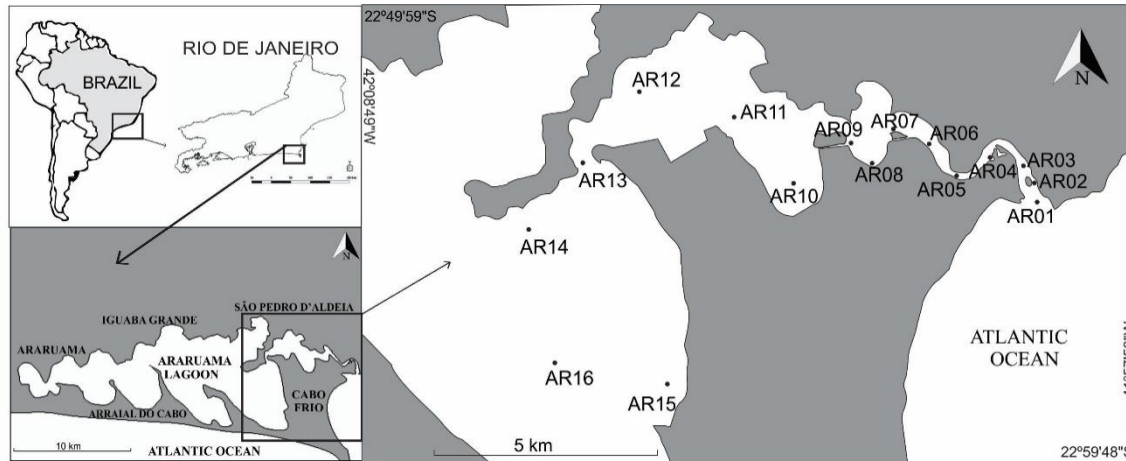


Figure 1: Location map of the study area. Itajuru Channel: AR01 to AR07 stations; Sector 1: AR08 and AR09; Sector 2: AR10 to AR13; Sector 3: AR14 to AR16.

The water body is choked according the classification proposed by Kjefve et al. (1996) for coastal lagoon because it has a single and restrict connection with the ocean. This restricted communication with the ocean is the Itajuru Channel. This channel is 5.5 km long, 180 m wide, with an area of 1.23 km² and maximum depth of 3 meters (Valentini et al., 2002). These characteristics make the residence time of the water in the Araruama lagoon high, being about 84 days (Primo and Bizerril, 2002). This channel is in the eastern of the Araruama lagoon and crosses the urban perimeter of Cabo Frio and São Pedro d'Aldeia. The channel mouth has a width of 80 m and is located between two rock formations. This protects the area from frontal wave attacks and hinders the deposition of sediments by longitudinal and transverse currents (Lessa, 1991). The Itajuru Channel also acts as a filter to remove the external semi-diurnal tide variability due to its morphology (Lessa, 1991).

Although the Araruama lagoon remains oligotrophic due to high salinity and water volume, some studies have demonstrated the possibility of eutrophication in case of new hydrological changes (Schettini, 1994; Moreira-Turcq et al., 2000; Souza et al., 2003).

A resident population around Araruama lagoon increased by 24% in 13 years (IBGE 2005, 2018), but in disorder and without adequate environmental planning. The cities around the lagoon (especially Cabo Frio and Arraial do Cabo) covers one million visitors in the

summer and long holidays. This represents twice the local population for short periods (Magalhães, 2012).

Due to the high demographic density, especially in the summer (December to March) there is a significant discharge of untreated domestic sewage. Adding to this, the removal of *Anomalocardia brasiliiana* shells for the mineral exploration of calcareous can be considered the factors that cause damage to the local economy based on fishing, salt extraction and tourism (Kjerfve et al., 1996; Magalhães, 2012).

3. Methods

3.1 Sample collection

Bottom sediment samples were collected over 16 stations during the spring (November 2015). Each sampled station was georeferenced with GPS (GPSMAP® 78S). The stations were distributed longitudinally from the Itajuru Channel mouth to the third sector of Araruama Lagoon to recognize the tidal influence and the transport of organic matter through the channel (Fig 1). Stations AR01 to AR07 were in the channel, AR08 and AR09 in Sector 1, AR10 to AR13 in Sector 2 and AR14 to AR16 in Sector 3. The stations AR10, AR11 and AR12 are located next to artificial salt works (Figure 1). The samples stations are reported in Table 1.

The physical and chemical variables of the water-sediment interface (salinity, temperature, dissolved oxygen and pH) were measured on high tide with a multiparameter probe model YSI 6600V2 next to the sediment.

The sediment sampling was done in triplicate with a small boat (LABIMICRO I) using a little box core. For sedimentological analysis, the bottom sediment was preserved under refrigeration. For biotic analysis, the first upper centimeter of sediment (50 mL) was recovered and stained with Rose Bengal solution (2 g of Rose Bengal dye in 1000 ml of alcohol 70%) added to all samples (Schönfeld et al., 2012).

3.2 Sediment grain-size analyses

The grain-size analyses were conducted using ~80g of dry sediment. Each sample had the Organic Matter (OM) removed by Hydrogen Peroxide 30% (H₂O₂) and Carbonate (CO₃²⁻) by Hydrochloric Acid 30%. The samples were dried and weighed in each step to calculate the percentage of OM and Carbonate (Suguio, 1973). The aliquots reacted with Sodium Hexametaphosphate (NaPO₃)₆ and analyzed in the CILAS 1064 according to Sales and

Cardoso (2012). The data were processed in Excel® through Gradistat which was proposed by Blott and Pye (2001) to calculate the particle size for sieve of laser granulometric data.

3.3 Biopolymers, TOC e TS contents

The determination of lipids (LIP), carbohydrates (CHO), protein (PTN), total Sulphur (TS) and total organic carbon (TOC) of Araruama Lagoon samples were performed following data previously published in Vilar et al. (2019). The data were obtained for biopolymers in the Laboratório de Palinofáceis e Fáceis Orgânicas (LAFO) at Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). The TOC and TS data were obtained by the Laboratório de Estratigrafia Química e Geoquímica Orgânica (LGQM) at Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

3.4 Foraminiferal analyses

The benthic foraminifera were treated and analyzed in accordance with Schönfeld et al. (2012). The material was washed between 63- μm and 500 μm sieves and dried at 50°C for 48 hours. The foraminifera were separated from the sediment by flotation density difference in trichloroethylene (C_2HCl_3). Using a stereoscope microscope with increase of 80 \times the stained foraminifera were picked until 300 tests. The mean of specimens found in the three replicates was used. The species were identified according to Boltovskoy et al. (1980), Poag (1981), Loeblich and Tappan (1987), Yassini and Jones (1995) and Debenay (2013). After identification, the species nomenclature was checked using the World Register of Marine Species – WoRMS (Hayward et al., 2016)

The assemblages' parameters were computed based on the relative abundance in stations using the software MVSP 3.1. The species richness (S = species' number) and the diversity of species using Shannon-Weaver (H') index, expressed by the formula: $H' = -\sum p_i \ln(p_i)$ were calculated (Raposo et al., 2018; Belart et al., 2018, 2019). The species equitability was calculated by the formula: $J' = H' / \ln(S)$.

3.4 Interpolation Maps

To perform the interpolation the Spline with Barriers and IDW methods were tested. For this study, the best spatial distribution was Spline with Barriers (Azpurua and Ramos, 2010). The maps show the spatial distribution of abiotic and biotic parameters within the lagoon,

using the metric coordinates according to WGS84 (UTM 23U) and were made in ArcMap® 10.5.1.

3.5 Statistical analyses

For statistical analyses, only the samples with minimum 100 specimens were considered (Fatela and Taborda, 2002) and discarded species occurring in only one sample with less than 4% relative abundance. The PCord 5.31 software was used for statistical analyses within this study.

The Detrended Correspondence Analysis (DCA) was performed to correlate parameters of water (pH, DO, Salinity and Temperature) and sediment (Grain size, TOC, TS, OM, CO₃²⁻ and biopolymers) to foraminifera species. To evaluate the similarity between stations according to the species distribution was used the two-way cluster (Q-mode and R-mode) using the Euclidean Distance with Ward's method. For DCA and Cluster analysis the abiotic data was normalized by squared root of 0.5.

Table 1: Dataset of the Araruama Lagoon: Geographic coordinates; values of water parameters (Sal.- salinity; pH; DO- dissolved oxygen; Temp.- temperature) and sediment parameters (OM- organic matter; CO₃²⁻- carbonate; Sand- sandy fraction; Mud- fine fraction; TOC- total organic carbon; TS- total sulphur; CHO- carbohydrates; LIP- lipids; PTN- proteins; BPC- biopolymeric carbon; PTN/CHO- protein/carbohydrate ratio).

	LAT.	LONG.	SAL.	pH	DO	TEMP.	SAND	MUD	CO ₃ ²⁻	OM	TOC	TS	CHO	LIP	PTN	BPC	PTN/CHO
	(S)	(W)	%		(mg L ⁻¹)	°C			%					(mg g ⁻¹)		(mg C g ⁻¹)	
AR01	-22886364°	-42003932°	40	7.60	7.0	24.0	99.4	0.60	23.09	5.24	0.13	0.05	1.54	0.36	1.09	2.99	0.71
AR02	-22879522°	-42003322°	37	8.10	7.8	25.0	100.0	0.0	4.62	2.60	0.08	0.04	1.1	0.4	0.92	2.43	0.84
AR03	-22875775°	-42005703°	39	7.90	6.2	24.0	99.8	0.20	6.96	2.59	0.05	0.06	1.1	0.29	0.86	2.25	0.78
AR04	-22874594°	-42013692°	38	7.90	6.9	24.0	0.2	99.80	7.43	36.82	3.92	0.67	7.52	6.61	3.03	17.15	0.4
AR05	-22877947°	-42021908°	38	8.10	6.0	23.0	95.70	4.3	34.66	15.92	2.42	0.29	3.35	1.7	1.56	6.61	0.47
AR06	-22871197°	-42027881°	40	7.90	5.9	24.0	99.6	0.4	18.50	10.38	0.58	0.06	4.7	1.92	2.3	8.92	0.49
AR07	-22866828°	-42035489°	39	7.80	7.0	24.0	99.4	0.6	18.28	4.50	0.15	0.05	2.55	0.7	1.5	4.75	0.59
AR08	-22875042°	-42041086°	40	7.70	7.7	25.7	99.7	0.3	18.18	6.82	0.50	0.08	2.43	0.85	1.62	4.9	0.66
AR09	-22870694°	-42047006°	45	8.70	6.0	25.3	98.2	1.8	54.36	9.17	2.60	0.3	18.61	4.14	3.52	26.27	0.19
AR10	-22878869°	-42058861°	42	8.20	9.5	25.2	0.0	100.0	67.35	16.32	3.13	0.41	17.8	4.32	2.55	24.67	0.14
AR11	-22863897°	-42072178°	45	8.05	6.4	25.4	0.0	100.0	72.70	16.99	2.49	0.23	13.08	4.6	2.63	20.32	0.2
AR12	-22857969°	-42094600°	55	8.14	8.2	25.6	0.0	100.0	43.55	30.08	4.01	0.62	8.05	5.15	2.12	15.32	0.26
AR13	-22873881°	-42108186°	58	8.18	7.3	25.3	0.0	100.0	21.38	40.80	4.58	0.57	8.9	4.61	2.26	15.77	0.25
AR14	-22887683°	-42119844°	55	8.19	7.1	25.3	99.4	0.60	24.69	2.27	0.13	0.08	2.37	0.98	1.16	4.52	0.49
AR15	-22920081°	-42088050°	60	8.21	7.9	25.4	100.0	0.0	62.68	2.04	0.11	0.06	1.35	0.25	1.16	2.76	0.86
AR16	-22915303°	-42113403°	55	8.23	7.9	25.1	92.10	7.9	11.81	2.90	0.16	0.12	1.58	0.45	1.62	3.65	1.03

4. Results

4.1 Abiotic variables

4.1.1 Physical-chemical variables of the water

The physical-chemical parameters of the water were lower along the Itajuru Channel (between AR01 to AR07 stations) compared with others regions in the lagoon (between AR08 and AR16) (Figure 2 and Table 1). The temperature ranged from 23° C (AR05) to 25.7° C (AR08). The temperature >25° C was founded inside the lagoon body (Figure 2). The pH varied between 7.6 inside the channel (AR11) and 8.7 in one of the stations of the Sector 1 (AR09), with an average of 8.06. The mean salinity was of 45.4‰ with a minimum of 37‰ at AR02 station and maximum of 60‰ at AR13 (Figure 2). The dissolved oxygen (DO) range from 5.9 next to the end of the channel (AR06) and 9.5 in one the most sheltered and internal regions of the Sector 1 (AR10) (Figure 2).

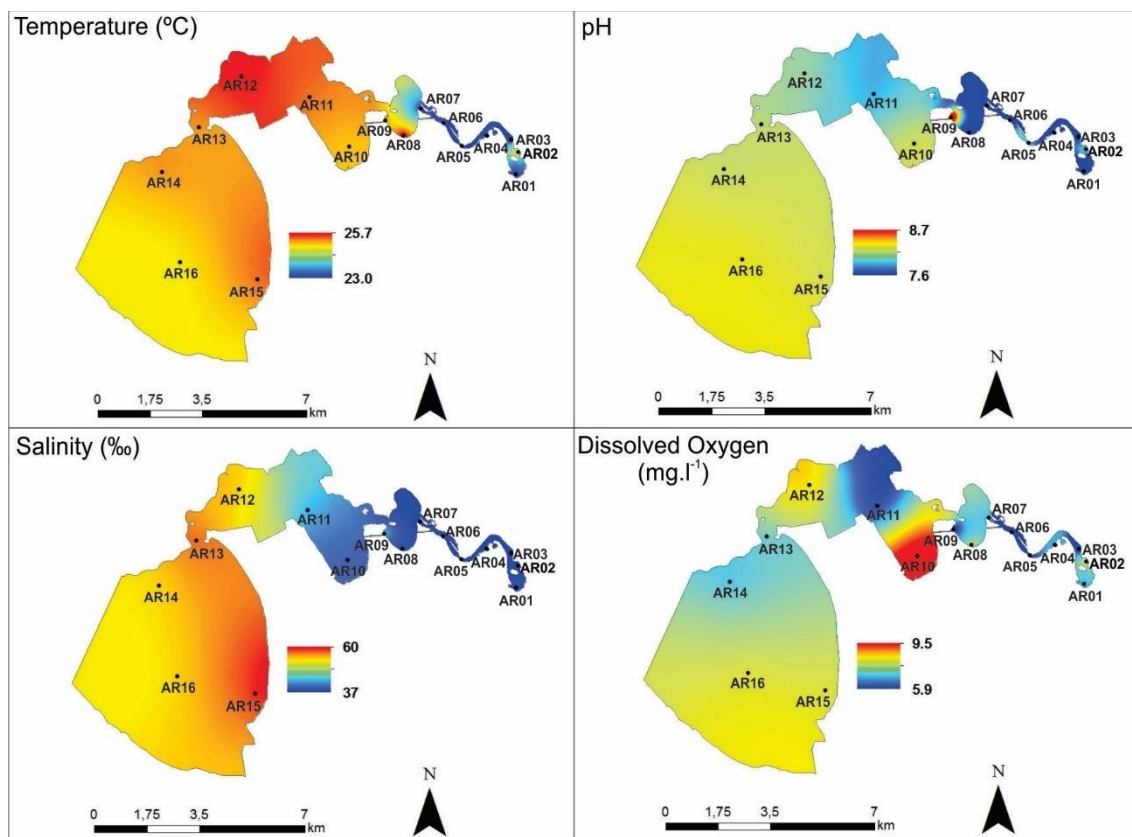


Figure 2: Temperature, pH, Salinity and Dissolved Oxygen (DO) from the region sampled at Araruama Lagoon.

4.1.2 Grain size analysis and carbonate

The predominant fraction of grain size in Araruama Lagoon was sand, which reached 100% at the AR02 and AR15 stations and minimum of 0.2% (AR04). The fines fraction varied between 0.2% (AR03) and 100% at Sector 2 (AR10 to AR13 stations). The carbonate content varied between 4.62% at the beginning of the Itajuru channel (AR02), and 72.70% in the central region of Sector 2 (AR11).

The granulometric map distribution of sand, fines and carbonate of the study area are in the figure 3 and the data are reported in Table 1.

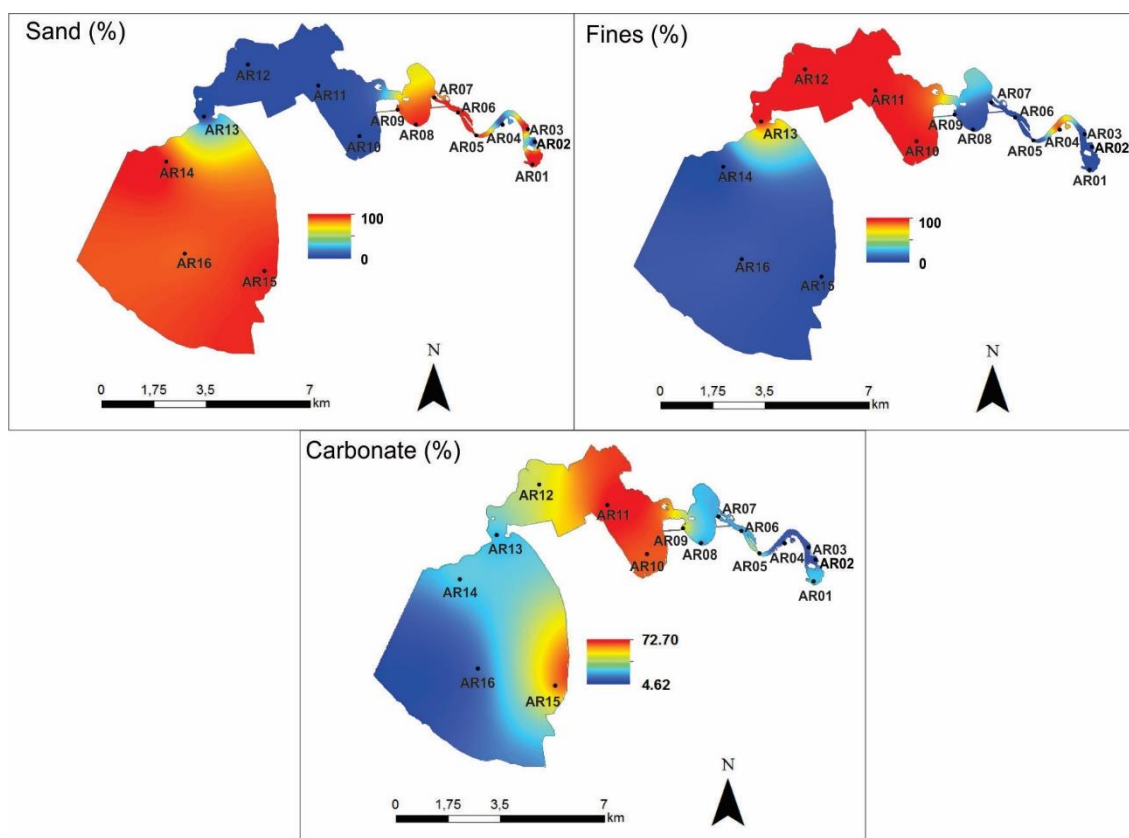


Figure 3: Grain-size (sand and fine fractions) and Carbonate (CO_3^{2-}) of the Itajuru Channel and adjacencies.

4.1.3 OM, TOC and TS

The Organic matter, TOC and TS are reported in Table 1 and plotted on Figure 4. Organic Matter obtained its highest concentration in AR13 (40.80%) and lower in AR15 station (2.04%).

The TOC percentage varied between 0.5% (AR05) and 4.58% (AR13), while TS achieved its maximum of 0.67% at Marina São Bento, in Cabo Frio (AR04) and minimum of 0.04% in one of the initial stations of the Itajuru Channel (AR02). The TOC and TS were lowest at the mouth of the channel and inner regions at Sector 3.

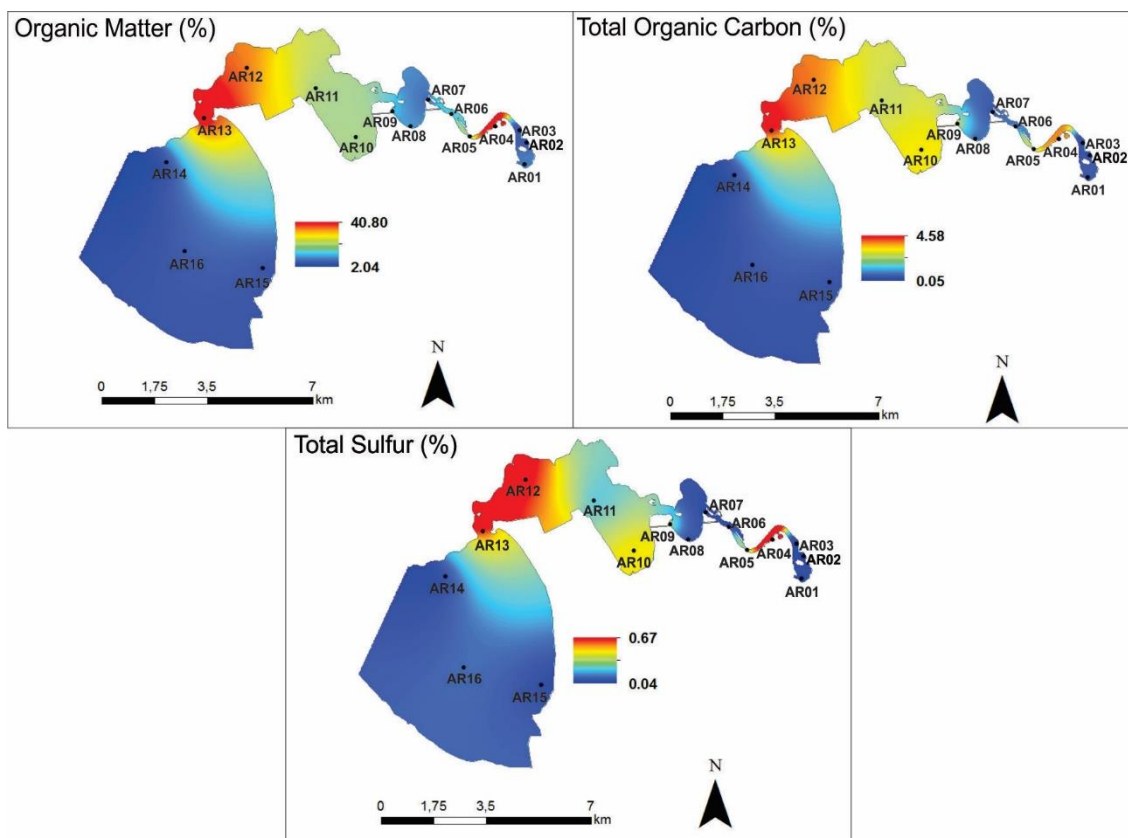


Figure 4: Organic matter (OM), Total Organic Carbon (TOC) and Total Sulphur (TS) from the region sampled at Araruama Lagoon.

4.1.4 Biopolymers

The distribution maps of biopolymers and PTN/CHO ratio are presented in Figure 5 and Table 1. When the sum of concentrations previously converted by equivalents, defined as Biopolymeric Carbon (BPC), found the minimum value of 2.25 mg C g^{-1} (AR03) and the maximum value of $26.30 \text{ mg C g}^{-1}$. The CHO concentrations had their minimum (1.10 mg C g^{-1}) in two stations at the beginning of the Itajuru Channel (AR02 and AR03) and maximum value ($18.61 \text{ mg C g}^{-1}$) in the Siqueira Beach, in Cabo Frio (AR09). The PTN contents varied between 0.86 mg C g^{-1} (AR03) and 3.52 mg C g^{-1} (AR09). Minimum LIP content was 0.25 mg C g^{-1} (AR13) and maximum was 6.60 mg C g^{-1} (AR04). The PTN/CHO ratio varied between 0.14 (AR10) and 1.03 (AR16); the highest values were recorded inside the Sector 3 (Figure 5).

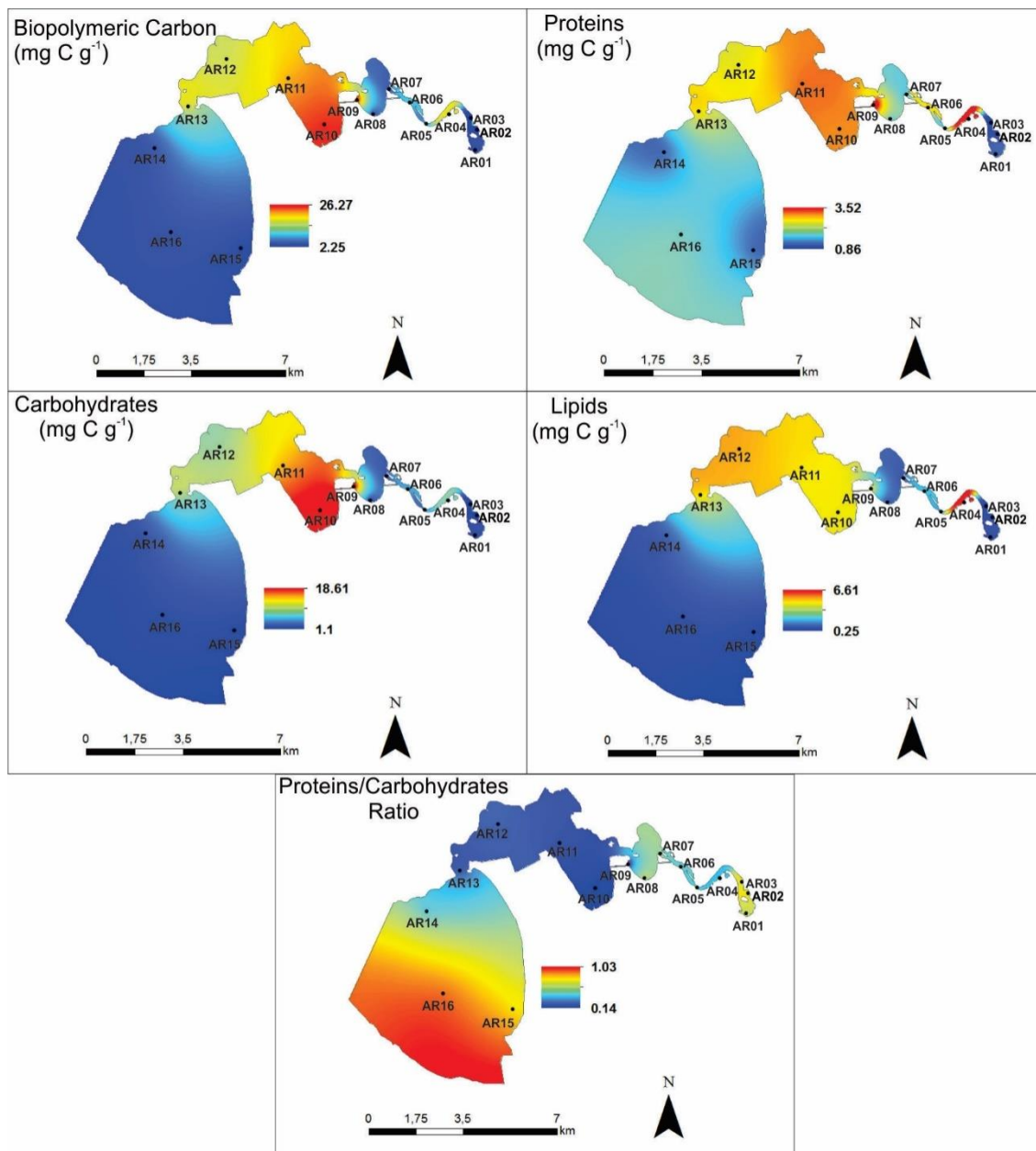


Figure 5: Biopolymeric Carbon (BPC), Proteins (PTN), Carbohydrates (CHO) and Lipids (LIP) contents (in mg C g^{-1}) and Proteins/Carbohydrates ratio (PTN/CHO ratio) in Itajuru Channel and adjacencies.

4.2 Living assemblage

A total of 49 living benthic foraminiferal species were identified. The AR04, AR12 and AR13 stations presented less than 100 specimens (Appendix 1). Foraminiferal density ranged from $7/50 \text{ ml}^3$ (AR04) to $620/50 \text{ ml}^3$ (AR11) (Appendix 1). The S varied between 6 (AR04) and 21 (AR01) while H' ranged from 1.0 (AR14) to 2.6 (AR07) and J' values ranged from 0.5, at AR05, AR10, AR12, AR14 and AR16 stations, to 1.0, at AR04 station (Appendix 1). The density, S , H' and J' distribution maps are included in Figure 6. *Ammonia*

tepada is the only specie that occurred in 100% of the stations and ranged from 4.7% (AR02) to 70.2% (AR12). The other constant species in the lagoon were: *Adelosina milletti* (present in 93.75% of the stations) with abundance values between 0.3 (AR11) and 33.8 (AR06); *Quinqueloculina seminula* (present in 87.5% of the stations) ranged from 0.6% (AR10) to 35.6% (AR02); *Criboelphidium excavatum* (present in of 87.5% of the stations) ranged from 1.2% (AR12) and 31.1% (AR14)and; *Ammonia parkinsoniana* (present in 75% of the stations) ranged from 1.5% (AR01 and AR06) and 15% (AR04).

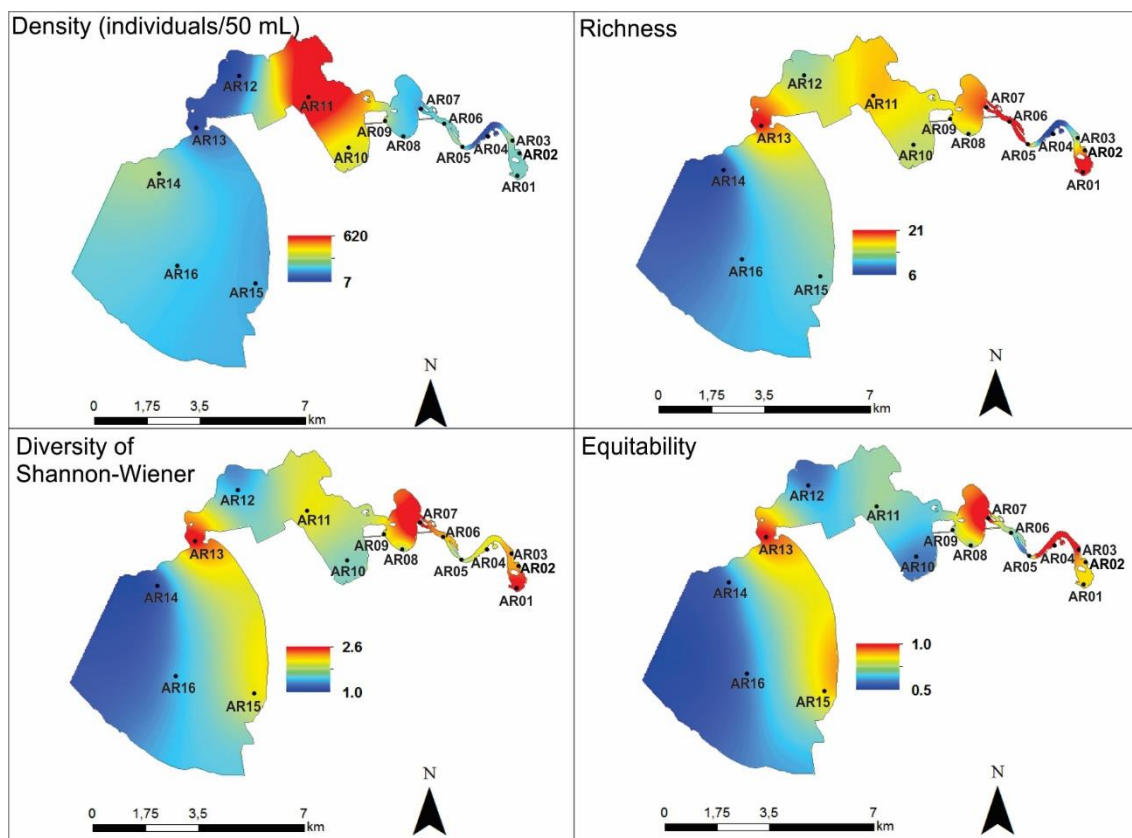


Figure 6: Density (individuals/ 50 ml), Richness (S), Diversity of Shannon-Wiener (H') and Equitability (J') from the region sampled at Araruama Lagoon.

4.3 Statistical analysis

The DCA analysis showed 74% of total variance in the first two axes (Axis 1= 33%, Axis 2= 44%) in the dispersion of the living species in relation to the abiotic variables (Figure 7). Through this analysis, it was possible to define 3 Assemblages (Assemblage I, II and III). The assemblage I was composed of 9 species with *A. parkinsoniana* and *Q. seminula* as the dominant species. This assemblage is negatively influenced by biopolymers and OM and positively by Sand. The Assemblage II, represented by 6 species, with *A. tepida* and *C.*

excavatum as the dominant species, is mainly influenced by OM, biopolymers, CO_3^{2-} , TOC, TS, LIP, Salinity and Mud. Finally, The Assemblage III include 16 species being *A. milletti* the dominant species of this assemblage and it is related to Sand and PTN.

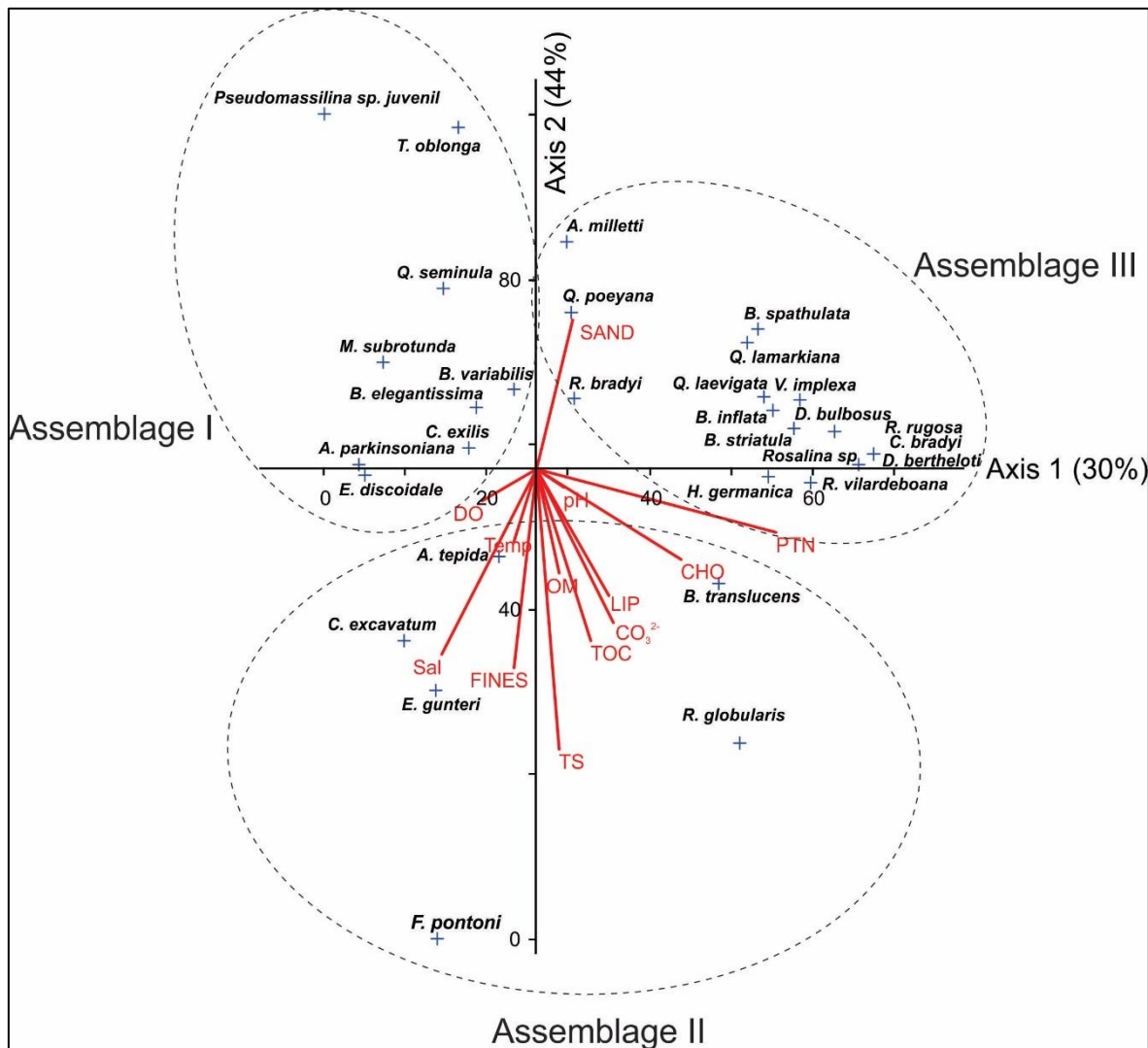


Figure 7: DCA analysis of living assemblage and abiotic variables of the study area in Araruama Lagoon (CHO- Carbohydrates; LIP-Lipids; PTN-Proteins; Temp- Temperature; Sal- Salinity; OM- Organic Matter; CO_3^{2-} - Carbonate; TOC- Total Organic Carbon; TS- Total Sulphur; DO- Dissolved Oxygen)

For cluster analysis two modes were used: Q-mode to group stations and R-mode to group species. The graphical representation of these data is in Figure 8. The AR04, AR12 and AR13 station obtained less than 100 individuals and were not considered in the Q- mode cluster analysis. Species present with less than 4% and at one station were not considered in the R-mode cluster analysis.

In Q-mode analysis, a similarity of ~70% between the samples was considered, thus dividing into two groups (Group I and Group II) and two isolated stations (AR07 and AR09). The Group I consists of stations AR01, AR02 and AR06. The similarity between the mouth channel station (AR01) and near the end of the Itajuru Channel (AR06) is ~90%. These stations are ~72% similar to the AR02 station. Group II includes AR03, AR05, AR08, AR10, AR11 and all of Sector 3 stations. The stations AR03 and AR15 have ~95% of similarity between them, being these stations ~93% similar to the AR11 station. The AR03, AR11 and AR15 station are ~90% similar to the AR16 station and all these stations are ~80% similar to the other stations in the group. The AR08 and AR10 stations have 100% of similarity, which are similar ~91% to the AR05 station. These are similar ~83% with the AR14 station.

In relation to R-mode cluster analysis, with 68% of similarity, it is possible to divide the species into 8 assemblages: Assemblage A, B, C, D, E, F, G and H. In Assemblage A, *M. subrotunda* and *Pseudomassilina* sp. juvenile species has ~85% of distribution similarity each other and 75% of similarity with *A. milletti*, *T. oblonga* and *Q. seminula* species. The *A. milletti* and *T. oblonga* species have ~95% of distribution similarity to each other and ~93% of distribution similarity to *Q. seminula*. The Assemblage B includes the *A. parkinsoniana*, *C. excavatum*, *E. discoidale* and *R. bradyi*. The *A. parkinsoniana* and *C. excavatum* have approximately 87% of similarity to each other and both have similar distributions ~83% to *E. discoidale*. The Assemblage C was only composed by *A. tepida*. In Assemblage D, there is similarity between *B. inflata* and *Q. lamarkiana* species of ~96% among them. The species *B. variabilis* and *Q. poeyana* species are ~97% of each other. These two species double approximately 87.5% and all these species (*B. inflata*, *Q. lamarkiana*, *B. variabilis* and *Q. poeyana*) are ~76% similar with *B. elegantissima*. Assemblage E consists of only two species (*B. translucens* and *F. pontoni*) which have ~96.5% similarity to each other. Within Assemblages F, the *C. exilis* specie has approximately 93% similarity with the species *E. gunteri* and *R. globularis*, being these 95% similar to each other. In Assemblage G, *B. striatula* and *Q. laevigata* species have ~99% similarity to each other and these species are ~98% similar to *B. spathulata*. Finally, the Assemblage H has 5 species with similarity of 100% among them (*C. bradyi*, *D. bertherloti*, *R. rugosa*, *Rosalina* sp and *D. bulbosus*) that are similar ~99% with *R. vilardeboana* specie. These species are ~90% similar with *H. germanica* and *V. implexa*, these being ~98% similar to each other.

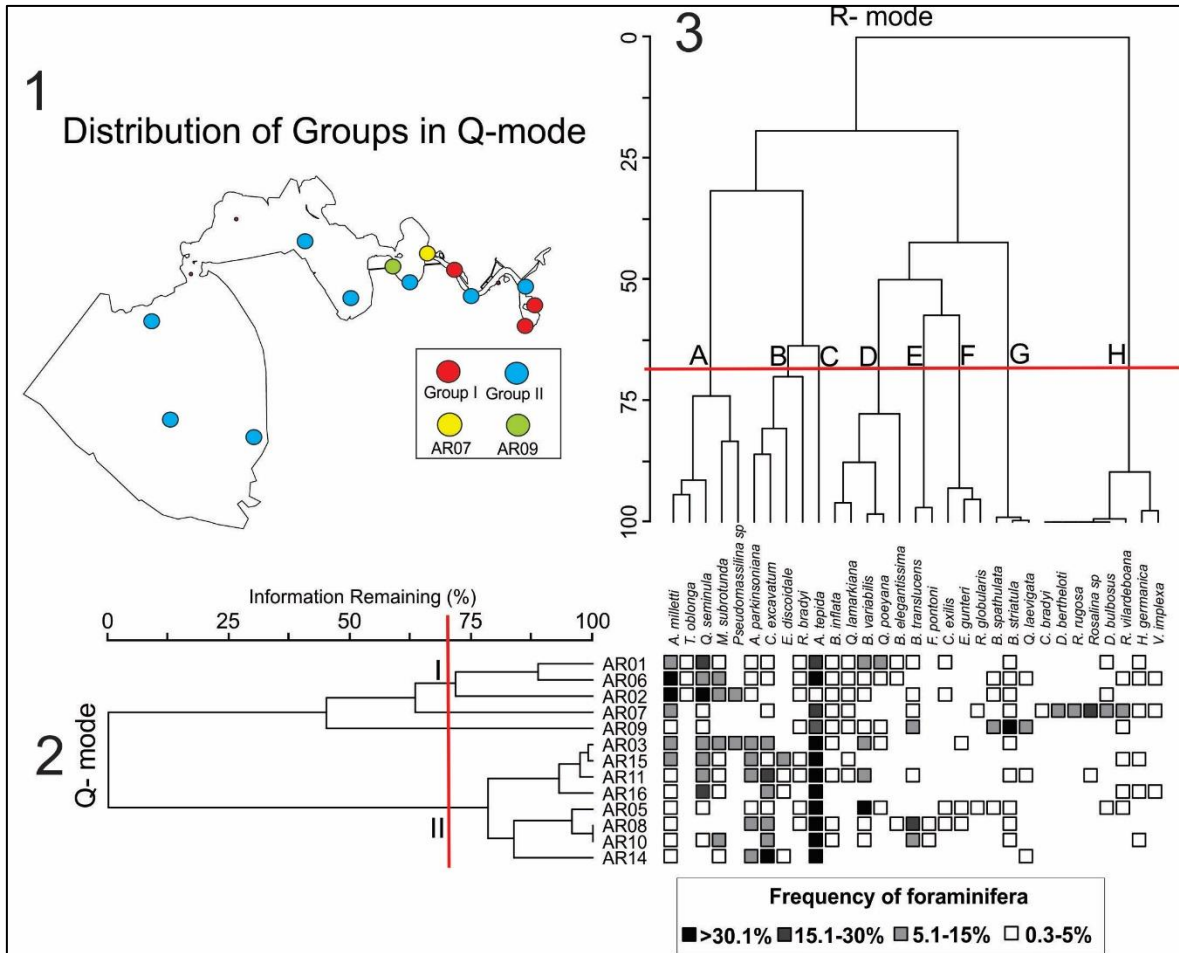


Figure 8: Cluster analysis in Q-mode for stations and R-mode for species. 1) Map with distribution of Groups in Q-mode; 2) Q-mode cluster analysis; 3) R-mode cluster analysis.

5. Discussion

The abiotic parameters were described and discussed by Vilar et al. (2019). In general, the water physical-chemical parameters of Itajuru channel and adjacencies (Figure 2) demonstrated to be different pattern in relation the sedimentological data (Figures 2, 3 and 4). The water parameters (pH, salinity, temperature and DO) showed increasing gradients from the channel mouth to the lagoon inner while the highest concentrations of OM, carbonate, TOC, TS and biopolymers was found in the Sector 2 and in the station AR04. The physical-chemical parameters demonstrate this pattern due to the greater marine influence in the channel.

(Lessa, 1991). However, the greatest biopolymers accumulation and the fine sediment fraction prevalence in Sector 2 due the low hydrodynamic and high anthropogenic impact in

especially in station AR04 (Vilar et al., 2019). This anthropogenic action comes mainly from the discharge of domestic sewage (Vilar et al., 2019).

The foraminifera density in the study area was low compared to other hypersaline coastal lagoons as Shuaiba Lagoon (Abu-zied and Bantan, 2013 and Bizerte Lagoon (Martins et al., 2015a). The low density stations (>100 specimens /50 ml³) were found in AR04 (Itajuru Channel) and at the end of Sector 2 (AR12 and AR13). These stations were identified with high OM and LIP accumulation, high TOC and TS content and low content of CHO. This low density is related to the low food availability and high anthropogenic organic matter, since CHO are related to primary production of benthic and planktonic microalgae sedimentation (Avilavalappil et al., 2014) and LIP with, mainly, domestic discharge sewage (Cotano and Villate, 2006). Besides that, these factors in abundance (MO, LIP and TOC) may be related with the benthic foraminifera sensitivity to environmental stress (Hearn et al., 1994; Knoppers, 1994). The same assemblage behavior was observed in the Itaipu Lagoon and Aveiro Lagoon (Martins et al., 2015b; Raposo et al., 2018; Belart et al., 2019). Although Sector 2 has low density stations, the AR10 and AR11 stations presented the highest density values (Figure 6). Even having a high anthropogenic OM content, these stations have the higher level of CHO (Table 1; Figure 5). This indicates that even with a high content of anthropogenic organic matter, the high natural organic matter accumulation provides an ideal food condition for some organisms (Martins et al., 2015b; Belart et al., 2018).

The richness of foraminifera species identified in Araruama is higher than the average found in other coastal lagoons (Fatela and Taborda, 2002). Debenay et al. (2001) found 74 species when performing the research in Araruama Lagoon. However, this study was done throughout the lagoon and with the total assemblage of foraminifera, which may include species transported (Belart et al., 2018) or it is a result of seasonal variations in the community (Belart et al. 2019). Other coastal lagoons also have similar richness as Itaipu Lagoon with 37 living species (Raposo et al., 2018), Aveiro Lagoon (Martins et al., 2015b) with 76 species. Though, the other lagoon as Venice (29 species) (Donnici et al., 1997) and Santa Marta (19 species) (Oliveira, 2004) showed lower richness than in this study. Compared with hypersaline coastal lagoons around the world, the Itajuru channel and adjacencies has a lower richness of living foraminifera than in Bizerte Lagoon, with 87 species (Martins et al., 2015a), the Shuaiba Lagoon with 6 species (Abu-Zied and Bantan, 2013).

The total high S in Araruama Lagoon can be justified by the stability of the water parameters (Moreira-Turcq, 2000). However, it may be noted that in Sector 3 (innermost region) there was a decrease in the values of S (between 11-7 species). The higher values are found throughout the channel (except AR04 station), mainly at the channel mouth, station AR01, where there is the highest value of species richness (21 species). Vilar et al. (2019) demonstrated the higher marine influence along the Itajuru Channel, thus promoting greater food quantity and quality from the ocean. Considering that the water residence is 84 days in the Araruama Lagoon (Primo and Bizerril, 2002), it is possible to remark that the channel has the best conditions for different species, except the AR04 station that has a poor environmental quality for organisms due to the anthropic impact (Vilar et al., 2019), evidenced by the low density of organisms in the station.

The H' index (1.5-2.6) is similar to other coastal lagoons different environments such as Aveiro Lagoon (1.3) (Martins et al., 2015b), Bizerte Lagoon (0.5 to 2.9) (Martins et al., 2015a) and Saquarema Lagoon (1.2 to 2.4) (Belart et al., 2019). The Diversity index was also high compared to the other coastal environments considered impacted, such as the Rodrigo de Freitas Lagoon (0.88) where the total foraminiferal assemblage was used and in Guanabara Bay, where H' index varied between 0.75 and 1.7 (Martins et al., 2016).

The AR13 station there is a higher level of H' index but low density. It is possible that the density is limited by TOC (4.58%) and organic matter excess (40.80%), since Mendonça-Filho et al. (2003) considered TOC>2.5% as an indicator of an anoxic environment and this may lead to the damage of benthic organisms (Borjan et al., 2012).

The H', J' and S lower values were found in Sector 3 (Figure 6), where it has a relation with PTN/CHO ratio (Figure 5), indicating recent organic matter contribution in AR16 station (Figure 5). This ratio indicates if the organic matter present in the sediment is recent or older. It is known that the degradation of PTN is faster than other biopolymers (Danovaro et al., 1993) and if the ratio is > 1 it is recent organic matter. Vilar et al. (2019) indicated that Araruama Lagoon has greater capacity to OM accumulation than to degrade or transport. This indicates that even with the recent OM supply, the lower marine influence and high water residence time (Primo and Bizerril, 2002; Vilar et al., 2019) may be a limiting factor because species less tolerant cannot survive in environments with too high temperatures and salinity. This region is dominated by *A. tepida* which is known to be tolerant to different sedimentary conditions and salinity values (Rodrigues and Carvalho, 1980; Laut et al., 2011; Donnici et al., 2012; Belart et al., 2018; Jorrisen et al., 2018).

This research found 18 species which coincide with those found in the Debenay et al. (2001) work within this study area (*A. tepida*, *B. striatula*, *B. variabilis*, *C. excavatum*, *C. involvens*, *C. variabilis*, *E. repandus*, *Fissurina* sp., *H. germanica*, *M. subrotunda*, *Pseudomassilina* sp., *Pyrgo* sp., *Q. lamarkiana*, *Q. poeyana*, *R. bradyi*, *R. vilardeboana*, *R. globularis*, *T. oblonga* and *Varidentella* sp.) (Figure 1). The species *D. bertheloti*, *Pseudomassilina* sp., *Rosalina globularis* and *Rosalina rugosa* species were identified in Itajuru Channel and AR13 station and Debenay et al. (2001) study they were distributed in the central of lagoon and near the Araruama city.

In a preliminary study in the lagoon, *T. oblonga* specie was dominant in all lagoon body (Debenay et al., 2001). However, in this study, the dominant species in the lagoon was *A. milletti*, *A. tepida*, *A. parkinsoniana*, *C. excavatum* and *Q. seminula* and *T. oblonga* was founded only in tree stations in Itajuru Channel. It is necessary to consider that the previous study was performed the analyses with the total foraminifera assemblage (alive + dead). In addition, there is an 18 years difference between these sampling and the previous study (Debenay et al., 2001). In this time, the change in the foraminiferal assemblages composition was expected considering the environmental changes related to the OM accumulation and salinity alteration in Araruama Lagoon (Primo and Bizerril, 2002; Guerra, 2008; Souza et al., 2003).

The calcareous foraminifera dominance and the absence of agglutinated species is already expected to found in hypersaline lagoons (Cardoso and Senra, 2007). In accord to Murray (1973), hypersaline lagoons are dominated by miliolids, rotaliids presence on a smaller scale and agglutinated species are almost absent. The dominance in this outer sector of Araruama Lagoon was the Rotallida Order (22 species), followed by the Milioliida order (15 species) and few species of the Textulariida order (4 species). The other hypersaline environments showed a different profile of that proposed by Murray (1973): in Madre Lagoon (Tamaulipas, México) the miliolids are rare (Ayala-Castañares and Segura, 1968) and in Debenay et al. (1990) considered this order rare also in the hypersaline estuary of Casamansa (Senegal), where the dominant species are agglutinating. In Bizerte Lagoon (Tunisia) and Saquarema Lagoon (Rio de Janeiro) has rotaliids predominance as in this study (Martins et al., 2015a; Belart et al., 2019).

Greiner (1974) relates the high presence of miliolids in hypersaline environments to calcium and carbonate ions present in water. In Araruama Lagoon case, the supply of these calcium and carbonate ions is related to the presence of *Anomalocardia brasiliiana* shells.

however, this is not the only environmental condition that favors the dominance of miliolids (Debenay et al., 2001). The stations with high concentrations of carbonate are not related to high miliolids frequency. Thus, demonstrating that it is not available or there are other limiting factors that interpose in these organisms (e.g. *M. subrotunda*, *Q. lamarkiana*). The specie *M. subrotunda* is present in low occurrence and is characteristic of sites with fine sediment and anthropogenic organic matter supply (Clemente et al., 2015), where as *Q. lamarkiana* is related to marine influence (Debenay et al., 2001).

The DCA (Figure 7) divided the species into 3 distinct assemblages influenced mainly by the biopolymers presence and granulometry. The Assemblage I was defined by species related to sandy, high hydrodynamic and sensitive to the biopolymers and OM presence. Among the foraminifera of this assemblage are *Q. seminula* and *A. parkinsoniana*. *A. parkinsoniana* is common in Brazilian coastal region, being related to OM accumulation in marine and hypersaline environments (Rodrigues and Carvalho, 1980; Laut et al., 2011; Donnici et al., 2012; Belart et al., 2018). *Quinqueloculina seminula* may be related to mud sediments, to high OM components and low OD values (Yanko et al., 1994; Culver and Buzas, 1995). At the same time, other authors this specie to high hydrodynamic environments, high oxygenation and sensitive to pollution from excess organic matter (Donnici et al., 2012; Martins et al., 2015b).

Meanwhile, the foraminifera species of Assemblage II demonstrate greater tolerance to the OM, TOC, TS, LIP, Mud and higher salinity presence. The species *A. tepida*, *C. excavatum* and *E. gunteri* are considered resistant to OM enrichment in several coastal environments (Armynot du Châtelet and Debenay, 2010; Martins et al., 2015a, b; Jorissen et al., 2018; Raposo et al., 2018), as well as in this study.

The Assemblage III was related to species with sandy preference and PTN content. The indicator specie in this assemblage was *A. milletti*. The same ecological relation was observed in Itaipu Lagoon (Raposo et al., 2018). But according to Jorissen et al. (2018), in a proposal to categorize species in relation to their ecological characteristics in the Mediterranean, defined *A. milletti* as sensitive to environmental changes. In this study, through the DCA, it is possible to define *A. milletti* as an indicator species to sandy environment, with greater marine influence (due to the negative relation with salinity) and tolerant to higher PTN concentrations. The PTN was anthropogenic OM compound. Meantime, it was remineralized by bacteria before the other biopolymers which is food source (Danovaro et al., 1993; Cotano and Villate, 2006; Murray, 2006).

In the Q-mode cluster analysis, the species were divided into 8 different assemblages (Figure 8). In the Assemblage A, the dominant species are *A. milletti* and *Q. seminula*, besides other less frequent species in the lagoon. The species of this group are in Assemblages I and III of DCA, which are related to sandy and marine influence. The Assemblage D seems to have the same ecology. The Assemblage B was heterogeneous and composed of species that stayed in different assemblages in the DCA (Figure 7), such as *A. parkinsoniana* and *C. excavatum*.

The *A. tepida* specie was frequent in 100% in lagoon stations. This specie was tolerant to different environmental conditions (Armynot du Châtelet and Debenay, 2010; Martins et al., 2015a, b; Jorissen et al., 2018; Belart et al., 2019). The species *B. translucens* and *F. pontoni* composed the Assemblage E. These species were related to the TOC accumulation in the Campos Basin (Disaró et al., 2017). In São Francisco Delta, the *B. translucens* specie was associated to marine influence (Borges de Araujo et al., 2018). In DCA (Figure 7), these species demonstrated more tolerant, as well the Assemblage F species (Figure 8). The Assemblage H has some species that occur only in one station (AR07; *C. bradyi*, *R. rugosa* and *D. bertheloti*), where there are species with poor know ecology (e. g. *C. bradyi* and *R. rugosa*). However, *C. bradyi* and *R. rugosa* was found in New Caledonia (Oceania), an environment with the water movement are controlled by wind and tidal forcing and bioclastic dominance in the sediment (Debenay et al., 2013). Redois and Debenay (1999) related *D. bertheloti* associated with sandy. However, Milker et al. (2009) relate this specie with deeper regions and Bouchet et al. (2018) related *D. bertheloti* with high TOC region, that is, in hypoxia conditions. Only Redois and Debenay (1999) corroborate what was found at this station. Finally, the Assemblage H was composed by *B. striatula*, *B. spathulata* and *Q. laevigata*. *Bolivina striatula* and *C. excavatum* species were related with sandy fraction and biopolymers in Itaipu Lagoon (Raposo et al., 2018). The *B. spathulata* species is mainly related to OM organic matter and recent phytodetrital supply (Mendes et al., 2015; Dimiza et al., 2016; 2019; Jorissen et al., 2018) and *Q. laevigata* in Guanabara Bay was associated with marine influence region (Clemente et al., 2015). Both assemblages (Assemblages G and H) are related by the DCA (Figure 7) with the assemblage that is positively related to sand fraction and protein. The PTN was connected to anthropogenic OM (Cotano and Villate, 2006), however it was remineralized before the other biopolymers (Danovaro et al., 1993), which allows PTN to be consumed faster by the system.

Vilar et al. (2019) observed four regions with different trophic states in the channel and adjacencies of Araruama Lagoon. The first environment was positively related with sandy predominance and negatively with biopolymers presence. This environment includes the entire Itajuru Channel associated to the marine water influence and high hydrodynamics. The second environment also has high hydrodynamics of the internal currents of the lagoon, in addition to the high values of water parameters (DO, salinity, pH and temperature), including the most internal stations (Sector 3) and AR08 station. The third environment was characterized by low hydrodynamics, fine fraction predominance and high biopolymers concentrations and includes all Sector 2 and station AR09. Finally, the AR04 station (Marina São Bento) is the most impacted area, with high OM accumulation and biopolymers contents.

However, the foraminifera distribution showed some different environmental compartments. Through the Q-mode cluster analysis (Figure 8), the stations were divided into two groups (Group I and II) and two isolated stations (AR07 and AR09). Group I include the two stations at the channel beginning (AR01 and AR02) and AR06 station also in the channel. This group is characterized by *T. oblonga*, a species that in the DCA (Figure 7) is related to sandy sediment predominance and low biopolymers concentration. Martínéz-Colón et al. (2018) characterizes this specie as an indicator of stressed environments when evaluating the relation of Potential Toxical Element (PTE) and foraminifera assemblage in Torrecillas Lagoon. *T. oblonga* has been shown to be tolerant to PTE pollution, though this work demonstrates that it is sensitive to the biopolymers concentration. Group II, which includes AR03, AR05, AR08, AR10, AR11 stations and all Sector 3, is characterized by the *C. excavatum* presence. This specie is common in coastal environments with high salinity (Hayward et al., 1996) and is considered as bioindicator due to the ability to live in different habitats by tolerance to various environmental conditions (Belart et al., 2018). Martins et al. (2015b) identified *C. excavatum* as a tolerant of OM and metals in the Aveiro Lagoon. Raposo et al. (2018) associated this specie with biopolymers presence and sandy sediments with in Itaipu Lagoon. In Araruama Lagoon, the DCA (Figure 7) demonstrates that *C. excavatum* is related to stations with high biopolymers, TOC, TS, OM and fine fraction contents.

Two stations were isolated in Araruama Lagoon cluster (Figure 8): the final station of Itajuru Channel (AR07) and that in the end of Sector 1 (AR09). The AR07 station has the most frequent Assemblage H species. The G Assemblage reaches high frequency in AR09

station. The indicator species of AR09 station are present in other stations, however only in this station they have frequency >5%. Both assemblages (Assemblages G and H) are related by in the DCA (Figure 7) with the assemblage that was related to sand and protein content. Dell'Anno et al. (2002) established bordering values for biopolymers, with the AR07 station having PTN content within limits proposed by Dell'Anno et al. (2002) and AR09 with all high biopolymers contents, mainly PTN (Table 1; Figure 5).

In this study, it was perceptible that the Itajuru Channel and the lagoonal body have different dynamics. Even with dense urbanization in the channel, the marine influence does not allow organic matter accumulation, providing better environmental conditions for the organisms, even if there is a punctual pollution focus, in the AR04 station. However, the lagoon body tend to accumulate organic matter because the channel hydrodynamics does not allow it to be transported to the ocean, which can make the environment anoxic in some regions, especially Sector 2, which was reflected in the low foraminiferal density in stations AR12 and AR13. This demonstrates many of assemblages were sensitive to anthropogenic OM, principally LIP (Figure 7) (Cotano and Villate, 2006). This is also possible to observe by the low organisms density in the stations with LIP predominance concentration (Figure 5, 6). Thus, the Araruama Lagoon environmental monitoring is necessary to control the anthropogenic organic matter.

6. Conclusions

The Itajuru Channel and adjacencies were demonstrated to have high diversity and richness of living foraminifera compared to other hypersaline lagoons due to high OD by the marine influence (Itajuru Channel) or internal circulation (innermost regions) and by the water parameters stability, especially salinity.

This study demonstrated a high concentration of OM, LIP (anthropogenic OM), TOC and TS in specific regions of the lagoon, coinciding with stations with low foraminifera density which demonstrates that the organisms avoid to live in an impacted environment.

The foraminifera species, through DCA, were divided into 3 distinct assemblages: I) Species associated to sandy fraction, high hydrodynamic and sensitivity to biopolymers and OM increase. The indicator species were *Q. seminula* and *A. parkinsoniana*; II) Foraminifera with high tolerance to OM, TOC, TS, LIP, fines fraction and salinity. *A. tepida* and *C.*

excavatum were the indicative this assemblage species; III) *A. milletti* is related to greater marine influence and PTN concentrations increase.

Through the stations cluster analysis based on species distribution, it was possible to define 2 groups and 2 isolated stations. The channel stations AR01, AR02 and AR06 compose Group I that has in common the *T. oblonga* specie, which is associated with assemblage I of DCA. The Group II includes AR03, AR05, AR08, AR10, AR11 stations and all Sector 3. It is characterized by the *C. excavatum* presence, which is Assemblage II indicative. On the other hand, the AR07 and AR09 stations were isolated due to the high G and H frequency of Assemblages, respectively. These species are present in Assemblage III of DCA.

Finally, the *T. oblonga* species was dominant in a preliminary study in Laguna de Araruama Araruama Lagoon with the total assembly of foraminifera (living + dead), something that was not found in this study. The justification is for the time difference between the collections and the possibility of these organisms being transported and being dead. It is necessary to compare the living and dead assemblies to confirm this transport or alteration in assemblage distribution.

7. Acknowledgements

This research was supported by the project of the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Universal 445830 / 2014-0) and the Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ (RJ E26-11.399 / 2012). The authors are grateful to the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brazil (CAPES) - Financing Code 001 for the Master fellowship of the students Débora Raposo and the PhD fellowship of the student Pierre Belart.

8. References

- Abu-Zied, R. H. and Bantan, R.A. 2013. Hypersaline benthic foraminifera from the Shuaiba Lagoon, eastern Red Sea, Saudi Arabia: Their environmental controls and usefulness in sea-level reconstruction. *Marine Micropaleontology*, 103: 51-67.
- Albani, A.; Barbero, R.; Donnici, S. 2007. Foraminifera as ecological indicators in the Lagoon of Venice, Italy. *Ecological Indicators* 7(2): 239-253.

- Alve, E., 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. *J. Foraminifer. Res.* 25 (3), 190–203.
- André, D.L.; Oliveira, M.C.; Okuda, T.; Horta, A.M.T.C.; Solan, A.L.; Moreira, I.M.N.S.; Rollemberg, M.C.E.; Heizen, V.E.F. 1981. Estudo Preliminar sobre as condições hidroquímicas da Lagoa de Araruama- Rio de Janeiro. Instituto de Pesquisas da Marinha, 139:1-14.
- Armynot du Châtelet, E. and Debenay, J. 2010. The anthropogenic impact on the western French coasts as revealed by foraminifera: A review. *Revue de Micropaléontologie* 53(3): 129-137.
- Avilavalappil A.; Patil R. K.; Mallaiah, S. H. 2014. Relationship of foraminiferal abundance with the trophic conditions in a marine coastal area of western India. *Science Marine*, 78(3): 389–396.
- Ayala-Castanares, A., and Segura, L. R., 1968, Ecología y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas, Mexico. *Buletin del Instituto Geologico, Mexico*, 87: 1–89.
- Azpurua, M. A. and Ramos, K. D. 2010. A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. *Progress in Electromagnetics Research*, 14:135-145.
- Baptista-Neto, J. A.; Smith, B. J.; McAllister, J. J.; Silva, M. A. M. 2005. Fontes e Transporte de metais pesados para a Enseada de Jurujuba (Baía de Guanabara) SE- Brasil. *Revista Tamoios*, 2: 6-1.
- Basset, A.; Sabetta, L.; Sangiorgio, F.; Pinna, M.; Migoni, D.; Fanizzi, F.; Barbone, E.; Galuppo, N.; Fonda Umani, S.; Reizopoulou, S.; Nicolaidou, A.; Arvanitidis, C.; Moncheva, S.; Trajanova, A.; Georgescu, L.; Begiraj, S. 2008. Biodiversity conservation in Mediterranean and Black Sea lagoons: A trail-oriented approach to benthic invertebrate guilds. *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems*, 18: S4-S15.
- Belart, P.; Laut, V. M.; Clemente, I. M. M. M.; Raposo, D. S.; Martins, V.; Frontalini, F.; Lorini, M.L.; Fortes, R.R.; Laut, L.L.M. 2017. Living benthic Foraminifera from the Saquarema lagoonal system (Rio de Janeiro, southeastern Brazil). *Check List* 13 (2).
- Belart, P.; Clemente, I.; Raposo, D.; Habib, R.; Volino, E. K.; Villar, A.; Martins, M. V. A.; Fontana, L. F.; Lorini, M. L.; Panigai, G.; Frontalini, F.; Figueiredo, M. S. L.; Vasconcelos, S. C.; Laut, L. 2018. Living and dead Foraminifera as bioindicators in Saquarema Lagoon System, Brazil. *Latin American Journal Aquatic Research*, 46(5): 1055-1072.

- Belart, P, Habib, R., Raposo, R., Clemente, I., Martins, M. V. A., Frontalini, F., Figueiredo, M. S. L., Lorini, M. L., Laut, L. 2019. Seasonal Dynamics of Benthic Foraminiferal Biocoenosis in the Tropical Saquarema Lagoonal System (Brazil). *Estuaries and Coasts*, 42(208):1-20
- Blott, S. J. and Pye, K. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248.
- Bonetti, C. 2000. Foraminíferos como bioindicadores do gradiente de estresse ecológico em ambientes costeiros poluídos. Estudo aplicado ao Sistema Estuarino de Santos - São Vicente (SP, Brasil). PhD thesis. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo.
- Boltovskoy, E.; Giussani, G.; Watanabe, S.; Wright, R. 1980. Atlas of Benthic Shelf Foraminifera of the Southwest Atlantic. Springer Netherlands Publ, Houten. 154 p.
- Borges de Araújo, H; Dominguez, J.; Machado, A.; Rangel, A. 2018. Benthic foraminifera distribution in a deltaic clinoform (São Francisco Delta, eastern Brazil): A reference study. *Journal of Marine Systems*, 186: 1-16.
- Borja, A.; Basset, A.; Bricker, S.; Dauvin, J.; Elliot, M.; Harrison, T.; Marques, J.; Weisberg, S.; West, R. 2012. Classifying ecological quality and integrity of estuaries. *Treatise on Estuarine and Coastal Science* Waltham: Academic Press, 125-162.
- Bouchet, V. M.; Goberville, E. and Frontalini, F. 2018. Benthic foraminifera to assess Ecological Quality Status in Italian transitional waters. *Ecological Indicators*, 84, 130–139.
- Brock, T. D.; Madigan, M. T.; Martinko, J. M.; Parker, J. 1994. *Biology of Microorganisms*. Londres, Pearson Education. 1152 p.
- Cardoso, M and Senra, M. C. 2007. Tafonomia de foraminíferos em sedimentos Siliciclásticos e Carbonáticos. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 30(1):101-108.
- Carreira, R.; Wagener, A. L. R.; Timothy, F.; Readmean, J. W. 2001. Distribuição do coprostanol em sedimentos superficiais da Baía de Guanabara: Indicador da poluição recente por esgotos domésticos. *Química nova*, 24: 37-42.
- Clemente, I. M. M. M.; Silva, F. S.; Laut, L. L. M.; Frontalini, F.; Costa, V. L.; Rodrigues, M. A. C.; Pereira, E.; Bergamaschi, S.; Filho, J. G. M.; Martins, M. V. A. 2015. Biochemical Composition and Foraminifera Content of Sediments for Determining Bottom Sector Environments in Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Coastal Research*, 315: 1190-1204.

- Cotano, U & Villate, V. 2006. Anthropogenic influence on the organic fraction of sediments in two contrasting estuaries: a biochemical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 404-414.
- Coutinho, R.; Ribeiro, P.; Kjerfve, P.; Knoppers, B.; Muehe, D.; Valentin, J. L. 1999. Araruama: Uma lagoa ameaçada. *Ciência Hoje*, 25: 25-31.
- Cruz, L.R.; Santos, L.N.; Santos, A.F.G.N. 2018. Changes of fish trophic guilds in Araruama Lagoon, Brazil: What can be inferred about functioning and structure of hypersaline lagoons? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 211:90-99.
- Culver, S. J. and Buzas, M. A. 1995. The effects of anthropogenic habitat disturbance, habitat destruction, and global warming on shallow marine benthic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 25: 204–211.
- Danovaro, R.; Fabiano, M. and Della-Croce, N. 1993. Labile organic matter and microbial biomass in deep-sea sediments (Eastern Mediterranean Sea). *Deep Sea Research*, 40: 953-965.
- Danovaro, R & Pusceddu, A. 2007. Biodiversity and Ecosystem Functioning in Coastal Lagoons: Does Microbial diversity Play Any Role? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75: 4-12.
- DEBENAY, J. 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*, 20: 267–282.
- Debenay, J.; Geslin, E.; Eichler, B. B.; Duleba, W.; Sylvestre F.; Eichlet, P. 2001. Foraminiferal Assemblages in a Hypersaline Lagoon, Araruama (RJ), Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*. 31(2): 133-151.
- Debenay, J. 2013. A guide to 1.000 Foraminifera from Southwestern Pacific, New Caledonia. Paris, Muséum national d'Histoire naturelle. 384 p.
- Dell'anno, A.; Mei, M. L.; Pusceddu, A.; Danovaro, R. 2002. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: A new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin*, 44(7): 611-622.
- Dias, G.T.M and Kjerfve, B. 2009. Barrier and Beach Ridge Systems of the Rio de Janeiro Coast. *Notes in Earth Sciences*, 107: 225-252.
- Dias, P.; Martins, M.V.; Clemente, I.; Carelli, T.; da Silva, F.; Fontana, L.; Lorini, M.L.; di Panigai, G.; Habib, R.; Mendonça-Filho, J.; Laut, L. 2017. Assessment of the

Trophic State of Saquarema Lagoonal System, Rio de Janeiro (Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, 2 (1): 49-64.

Dimiza, M.D.; Triantaphyllou, M.V.; Koukousioura, O.; Hallock, P.; Simboura, N.; Karageorgis, A.P.; Papathanasiou, E. 2016. The Foram Stress Index: A new tool for environmental assessment of soft-bottom environments using benthic Foraminifera. A case study from the Saronikos Gulf, Greece. *Eastern Mediterranean. Ecological Indicators* 60: 611–621.

Dimiza, M.; Ravani, A.; Kapsimalis, V.; Panagiotopoulos, I. P.; Skampa, E.; Triantaphyllou, M. V. 2019. Benthic foraminiferal assemblages in the severely polluted coastal environment of Drapetsona-Keratsini, Saronikos Gulf (Greece). *Revue de micropaléontologie*, 62(1):33-34

Disaró, S.T., Aluizio, R.; Ribas, E.R.; Pupo, D. V.; Tellez, I. R.; Watanabe, S.; Totah, V. I.; Koutsoukos, E.A.M. Foraminíferos bentônicos na plataforma continental da Bacia de Campos. 2017. In: Falcão, A.P.C., Lavrado, H.P., editoras. *Ambiente Bentônico: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste*. Rio de Janeiro: Elsevier. *Habitats*, 3: 65-110

Donnici, S; Serandrei-Barbero, R.; Taroni, G. 2007. Living Benthic Foraminifera in the Lagoon of Venice (Italy): Population Dynamics and Its Significance. *Micropaleontology*, 43(4): 440-454.

Donnici, S.; Serandrei-Barbero, R.; Bonardi, M.; Sperle, M. 2012. Benthic foraminifera as proxies of pollution: the case of Guanabara Bay (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 64(10): 2015–2028.

Esteves, F. A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, FINEP, 602 p.

Fatela, F.; Taborda, R. 2002. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology* 45: 169–174.

Ferraro, L.; Sprovieri, M.; Alberico, I.; Lirer, F.; Prevedello, L.; Marsella, E. 2006. Benthic foraminifera and heavy metals distribution: a case study from the Naples Harbour (Tyrrhenian Sea, Southern Italy). *Environmental Pollution*, 142: 274–287.

Frontalini, F. and Coccioni, R., 2011. Benthic foraminifera as bioindicators of pollution: a review of Italian research over the last three decades. *Rev. Micropaleontol.*, 54(2): 115–127.

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

- Greiner, G. O. G. 1974, Environmental factors controlling the distribution of benthonic foraminifera: *Breviora*, 420: 1–35.
- Guerra, L.V. 2008. Processos Microbiológicos e Composição da matéria Orgânica Relacionados à Eutrofização de uma Lagoa Costeira Hipersalina, L. Araruama, RJ. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental. Universidade Federal Fluminense, Masters dissertation, 107 p.
- Hayward, B.W.; Grenfell, H. R.; Cairns, G.; Smith., A. 1996. Environmental controls on benthic foraminiferal and thecamoebian associations in a tidal New Zealand inlet. *Journal of Foraminifera Research*, 26(2): 150-171.
- Hayward, B.W.; Cedhagen, T.; Kaminski, M.; Gross, O. 2016. World Foraminifera database.
- Hearn, C. J., Lukatelich, R. J., McComb, A. J. 1994. Coastal Lagoon ecosystem modeling. In: KJERFVE, B. (Ed.), *Coastal Lagoon Processes*, Elsevier Oceanography Series, 60 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2005. Estimativas disponíveis em populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2005. Available in: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm?caminho=/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2005/>. Accessed in: 02 set. 2018.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2018. IBGE divulga as Estimativas de População dos municípios para 2018. Available in: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22374-ibge-divulga-as-estimativas-de-populacao-dos-municipios-para-2018>>. Accessed in: 05 set. 2018
- Jones, R. 2001. *Foraminifera and their Applications*. Cambridge, Cambridge University Press. 401 p.
- Jorrisen, F.; Nardelli, M. P.; Almogi-Labin, A.; Barras, C.; Bergamin, L.; Bicchi, E.; El Kateb, A.; Ferraro, L.; McGann, M.; Morigi, C.; Romano, E.; Sabbatini, A.; Schweizer, M.; Spezzaferri, S. 2018. Developing ForAMBI for biomonitoring in the Mediterranean: Species assignments to ecological categories. *Marine Micropaleontology*, 140: 33-45.
- Kemp, W. M. and Boynton, W. R. 2012. Synthesis in estuarine and coastal ecological research: what is it, why is it important, and how do we teach it? *Estuarine Coasts*, 35:1-22.
- Kfourri, P. B. P.; Eichler, B. B.; Eichler, P. B.; Pereira, E. R. M.; Figueira, R.; Abessa, D. M. S.; Sousa, E.C.P.M. 2003. Toxicidade dos sedimentos da Baía de Guanabara-RJ determinada pela ocorrência das associações de foraminíferos bentônicos e testes

com anfípodos *Tiburonella viscana*. In: CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICA, 2, Recife, 2003. Anais, Recife, UFPE, 1-4.

Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoons. In: Kjerfve, B. (Ed.). Coastal Lagoon Processes. Amsterdam Oceanographic Series, p. 1-8.

Kjerfve, B.; Schettini, C.A.F.; Knoppers, B.; Lessa, G.; Ferreira, H.O. 1996. Hydrology and salt balance in a large hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 42: 701-725.

Knoppers, B. 1994. Aquatic production in coastal lagoon. In: Kjerfve, B. (Ed.). Coastal Lagoon Processes. Amsterdam Oceanography Series, p. 243-286.

Laut, L. L. M.; Silva, F. S.; Figueiredo Jr., A. G.; Laut, V. 2011. Assembleias de foraminíferos e tecamebas associadas a análises sedimentológicas e microbiológicas no delta do rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro, Brasil. *Pesquisas Geociências*, 38(3): 251-268.

Laut, L. L. M.; Martins, M. V. A.; Fontana, L. F.; Silva, F. S.; Mendonça-Filho, J. G.; Clemente, I. M. M. M.; Frontanini, F.; Raposo, D.; Belart, P.; Ballalai, J. 2016a. Ecological status evaluation of Itaipu Lagoon (Niterói) based on biochemical composition of organic matter. *Journal of Sedimentary Environments*, 1(3): 304-323.

Laut, L. L. M.; Clemente, I. M. M. M.; Belart, P.; Martins, M. V. A.; Frontalini, F.; Laut, V. M.; Gomes, A.; Boski, T.; Lorini, M. L.; Fortes, R. R.; Rodrigues, M. A. C. 2016b. Multiproxies (benthic foraminifera, ostracods and biopolymers) approach applied to identify the environmental partitioning of the Guadiana River Estuary (Iberian Peninsula). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(2): 184-201.

Laut, L.; Martins, M. V. A.; Frontalini, F.; Ballalai, J. M.; Belart, P.; Habib R.; Fontana, L. F.; Clemente, I. M.M.M.; Lorini, M.L.; Mendonça-Filho, J. G.; Laut, V. M.; Figueiredo, M. S. L. 2017. Assessment of the trophic state of a hypersaline-carbonatic environment: Vermelha Lagoon (Brazil). *PLoS ONE*, 12 (9): e0184819.

Lessa, G.C. 1991. Dinâmica de maré e transporte de sedimentos no Canal de Itajuru- Laguna de Araruama (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 24(4): 378-386.

Loeblich, A.R.; Tappan, H. 1987. Foraminiferal Genera and their Classification. Van Nostrand Reinhold Company, New York 970 p.

Magalhães, F.S. 2012. Utilização do fitoplâncton como instrumento de avaliação em programas de monitoramento nos ecossistemas aquáticos costeiros. Estudo de caso: Lagoa de Araruama/RJ. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Master dissertation, 160 p.

- Martín-Colón, M.; Hallock, P.; Green-Ruíz, C. R.; Smoak, J. M. 2018. Benthic foraminifera as bioindicators of potentially toxic element (PTE) pollution: Torrencillas lagoon (San Juan Bay Estuary), Puerto Rico. *Ecological Indicators*, 89: 516-527.
- Martins, V.A.; Frontalini, F.; Tramonte, K. M.; Figueira, R. C.; Miranda, P.; Sequeira, C.; Fernández-Fernández, S.; Dias, J. A.; Yamashita, C.; Renó, R.; Laut, L. L.; Silva, F. S.; Rodrigues, M. A.; Bernardes, C.; Nagai, R.; Sousa, S. H.; Mahiques, M.; Rubio, B.; Bernabeu, A.; Rey, D.; Rocha, F. 2013. Assessment of health quality of Ria de Aveiro (Portugal): heavy metals and benthic foraminifera. *Marine Pollutin Bulletin*, 70: 18–33.
- Martins, M.V. A.; Zaaboub, N.; Aleva, L.; Frontalini, F.; Pereira, E.; Miranda P.; Mane, M.; Rocha, F.; Laut, L.; El Bour, M. 2015a. Environmental Quality Assessment of Bizerte Lagoon (Tunisia) Using Living Foraminifera Assemblages and a Multiproxy Approach. *PLoS ONE*, 10(9): e0137250.
- Martins, M. V. A.; Frontalini, F.; Rodrigues, M. A. C.; Dias, J. A.; Laut, L. L. M.; Silva, F.; Clemente, I. M.; Reno, R.; Moreno, J.; Sousa, S.; Zaaboub, N.; El Bour, M.; Rocha, F. 2015b. Foraminiferal Biotypes and their Distribution Control in Ria de Aveiro (Portugal): a multiproxy approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(12); 8875-8897.
- Martins, M. V. A.; Laut, L. L. M.; Frontalini, F.; Sequeira, C.; Rodrigues, R.; da Fonseca, M. V. M.; Bergamaschi, S.; Pereira, E.; Delavy, F. P.; Figueiredo-Jr., A. G.; Miranda, P.; Terroso, D.; Pena, A. L.; Laut, V. M.; Figueira, R.; Rocha, F. 2016. Controlling Factors on the abundance, diversity and size of living benthic foraminifera in the NE Sector of Guanabara Bay (Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(4): 393-410.
- Mendes, I., Lobo, F.J., Fernández-Salas, L.M., López-González, N., Bárcenas, P., Schönfeld, J.; Ferreira, O. 2015. Multi-proxy evidence of rainfall variability recorded in subaqueous deltaic deposits off the Adra River, southeast Iberian Peninsula. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 167: 300–312.
- Mendonça-Filho, J. G.; Menezes, T. R.; Oliveira, E.; Iemma, M. B. 2003. Caracterização da contaminação por petróleo e seus derivados na Baía de Guanabara: aplicação de técnicas organogeoquímicas e organopetrográficas. *Anuário do Instituto de Geociências*, 26(1): 69-78.
- Meyer-Reil, L. A. and Koster, M. 2000. Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities. *Marine Pollution Bulletin*, 41: 255-263.

- Milker, Y.; Schmiedl, G.; Betzler, C.; Römer, M.; Jaramillo-Vogel, D.; Siccha, M. 2009. Distribution of Recent benthic foraminifera in neritic carbonate environments of the Western Mediterranean Sea. *Marine Micropalaeontology*, 73:207-225.
- Moreira-Turcq, P. 2000. Impact of a low salinity year on the metabolism of a hypersaline coastal lagoon (Brazil). *Hydrobiologia*, 429(1-3): 133-140.
- Murray, J. 1973. *Distribution and Ecology of Living Benthic Foraminiferids*: Heinemann Educational Books Ltd, London, 274 p.
- Murray, J. 2006. *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge: Cambridge University Press. 426 p.
- Oliveira, D. 2004. Caracterização bio-sedimentológica e proposta de setorização das lagoas de Camacho & Garopaba do Sul e Santa Marta, Santa Catarina, Brasil. Universidade Federal de Santa Catarina, Masters dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geografia.
- Páez-Osuna, F.; Bojórquez-Leyva, H. & Green-Ruiz, C. 1998. Total carbohydrates: organic carbon in lagoon sediments as an indicator of organic effluents from agriculture and sugar-cane industry. *Environmental Pollution*, 102: 321-326.
- Passavante, J. Z. O. and Koenig, M. L. 1984. Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco Brasil. XXVI. Clorofila a e material em suspensão no estuário do rio Botafogo. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, 18: 207-230.
- Poag, C.W. 1981. *Ecologic Atlas of Benthic Foraminifera of the Gulf of Mexico*. Hutchinson Ross, Marine Science International, Woods Hole, 175 p.
- Primo, P.B.S. and Bizerril, C.R.S.F. 2002. Lagoa de Araruama: Perfil ambiental do maior ecossistema lagunar hipersalino do mundo. Rio de Janeiro, SEMADS. 160 p.
- Raposo, D.; Laut, V.; Clemente, I.; Martins, V.; Frontalini, F.; Silva, F.; Lorini, M.L.; Fortes, R.; Laut, L. 2016. Recent benthic foraminifera from the Itaipu Lagoon, Rio de Janeiro (southeastern Brazil). *Check List*, 12 (5).
- Raposo, D.; Clemente, I.; Figueiredo, M.; Vilar, A.; Lorini, M.L.; Frontalini, F.; Martins, V.; Belart, P.; Fontana, L.; Habib, R.; Laut, L. 2018. Benthic foraminiferal and organic matter compounds as proxies of environmental quality in a tropical coastal lagoon: The Itaipu lagoon (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 129(1): 114-125.
- Redois, F.; Debenay, J. 1999. Répartition des foraminifères benthiques actuels sur le plateau continental sénégalais au sud de Dakar. *Oceanologica Acta*, 22(2):215-232.
- Rodrigues, M.A.C.; Carvalho, M.G.P. 1980. Interpretação paleoecológica da planície

costeira do rio São João, RJ, com base em foraminíferos. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 52: 763–771.

Sales, W. and Cardoso, W. 2012. *Análise Granulométrica com o CILAS. PROTOCOLO LAB No 05-11 REV 01, UFF.*

Schetinni, C.A.F. 1994. *Determinantes Hidrológicos na Manutenção da Condição Hipersalina da Lagoa de Araruama, RJ. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal Fluminense, Master dissertation, 75 p.*

Schönfeld, J.; Alve, E.; Geslin, E.; Jorissen, F.; Korsun, S.; Spezzaferri, S.; Members Of The Fobimo Group. 2012. Fobimo (FORaminiferal BIO-MONitoring) initiative—towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*, 94–95.

Sikora, W. B. and Kjerfve, B. 1985. Factors influencing the salinity of Lake Pontchartrain, Louisiana, a shallow coastal lagoon: analysis of a long-term data ser. *Estuaries*, 8(2A): 170-180.

Silva, F. S.; Pereira, D. C.; Nuñez, L. S.; Krepsky, N.; Fontana, L. F.; Baptista-Neto, J. A.; Crapez, M. A. C. 2008. Bacteriological study of the superficial sediments of Guanabara Bay, RJ, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 56: 13-22

Silva, F. S.; Santos, E. S.; Laut, L. L. M., Sanchez-Nuniês, M.L.; da Fonseca, E. M.; Baptista-Neto, J. A.; Crapez, M. A. C. 2010. Geomicrobiology and biochemical composition of two sediment cores from Jurujuba sound – Guanabara Bay – SE- Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 33(2): 24-35.

Silva, F. S.; Laut, L. L.; Santos, E. S.; Laut, V. M.; Crapez, M. A. C.; Mendonça-Filho, J. G. 2011a. Biopolímeros, carbono e enxofre totais associados à atividade bacteriana nos sedimentos superficiais do delta do Paraíba do Sul, RJ- Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(1): 33-45.

Silva, F. S.; Bitencourt, J. A. P.; Savergnini, F.; Guerra, L. V; Baptista-Neto, J. A.; Crapez, M. A. C. 2011b. Bioavailability of organic matter in the superficial sediment of Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências- UFRJ*, 34(1): 52-63.

Souza, M.F.L; Kjerfve, B.; Knoppers, B.; Landim de Souza, W.F.; Damasceno, R.N. 2003. Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57: 843-858.

Suguio, K., 1973, *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Edgard Blucher/EDUSP, 317 p.

Valentini, E.M.S.; Rosman, P.C.C.; Oliveira, V.N. & Cunha, A.C.B. 2002. Modelagem da Lagoa de Araruama, RJ. Relatório/Projeto PEC- 1984 (Fundação COPPETEC-COPPE/UFRJ).

Vilar, A.; Raposo, D.; Belart, P.; Habib, R.; Volino, E.; Clemente, I.; Fontana, L.; Pereira, E.; Ribeiro, R.; Ballalai, J. M.; Lorini, M. L.; Figueiredo, M.; Alves-Martins, M. V.; Laut, L. 2019. Caracterização do estado trófico do sedimento do Canal do Itajuru e Adjacências (Laguna de Araruama, Rio de Janeiro) com base na análise de biopolímeros. Artigo do Capítulo I a ser submetido.

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

Yanko, V.; Kronfeld, J.; Flexer, A. 1994. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, 24: 1–17.

Yassini, I. and Jones, B.G., 1995. Recent Foraminifera and Ostracoda From Estuarine and Shelf Environments on the Southeastern Coast of Australia. University of Wollongong Press, Wollongong, 484 p.

Appendix 1- Georeferenced stations in Araruama Lagoon with relative abundance, density, Shannon-Wiener Diversity (H'), Equitability (J') and Richness (S) of live foraminifera

	AR01	AR02	AR03	AR04	AR05	AR06	AR07	AR08	AR09	AR10	AR11	AR12	AR13	AR14	AR15	AR16
Latitude	-22886364	-22879522	-22875775	-22874594	-22877947	-22871197	-22866828	-22875042	-22870694	-22878869	-22863897	-22857969	-22873881	-22887683	-22920081	-22915303
Longitude	-42003932	-42003322	-42005703	-42013692	-42021908	-42027881	-42035489	-42041086	-42047006	-42058861	-42072178	-42094600	-42108186	-42119844	-42088050	-42113403
Density of foraminifera/50 ml	200	191	232	7	234	195	110	155	297	330	620	28	29	244	117	147
Diversity (H')	2.2	1.9	1.9	1.7	1.5	1.9	2.6	1.5	1.7	1.4	1.7	1.2	2.2	1.0	1.7	1.2
Equitability (J')	0.7	0.7	0.8	1.0	0.5	0.6	0.9	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.8	0.5	0.7	0.5
Richness (S)	21	17	12	6	20	20	19	13	15	13	16	12	19	7	11	9
<i>Adelosina milletti</i>	8.0	30.9	7.8	0.0	2.6	33.8	6.4	1.9	2.0	4.2	0.3	7.1	11.5	0.4	8.5	3.4
<i>Alliatinella differens</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Ammobaculites dilatatus</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	0.0	0.0	0.0
<i>Ammobaculites exilis</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	4.6	0.0	0.0	0.0
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	1.5	1.6	10.3	15.0	2.6	1.5	0.0	7.1	0.0	0.0	5.8	9.5	3.4	6.6	8.5	0.0
<i>Ammonia tepida</i>	25.5	4.7	40.9	20.0	66.7	31.8	16.4	58.7	18.2	63.6	51.3	70.2	35.6	59.8	51.3	62.6
<i>Bolivina inflata</i>	3.5	0.5	0.4	0.0	0.0	0.5	3.6	1.3	2.0	0.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Bolivina sp.</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Bolivina spatulata</i>	0.0	3.1	0.0	0.0	0.9	1.0	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Bolivina striatula</i>	1.5	1.0	1.3	25.0	0.9	1.5	2.7	1.9	48.5	0.6	1.3	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Bolivinellina translucens</i>	4.0	3.7	0.0	20.0	0.0	0.0	4.5	15.5	9.1	12.1	2.6	1.2	2.3	0.0	0.0	0.0
<i>Bolivina variabilis</i>	14.5	2.6	5.2	0.0	6.8	2.6	0.0	2.6	2.5	1.8	3.2	1.2	1.1	0.0	0.0	0.0
<i>Buliminella elegantissima</i>	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Caronia exilis</i>	0.5	0.5	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
<i>Cibicidoides variabilis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cibroelphidium excavatum</i>	1.5	0.0	7.8	10.0	1.7	1.5	2.7	7.1	0.0	6.1	17.1	1.2	5.7	31.1	3.4	5.4
<i>Cornuspira involvens</i>	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0

<i>Cymbaloporeta bradyi</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Discorbinella bertheloti</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Disconorbis bulbosus</i>	0.5	0.5	0.0	0.0	0.9	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Elphidium discoidale</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.4	2.3	0.4	6.8	1.4
<i>Elphidium gunteri</i>	0.0	0.0	0.4	0.0	0.9	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Eponides repandus</i>	0.5	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	0.0
<i>Fissurina</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Fursenkoina pontoni</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Haynesina germanica</i>	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.7	0.0	0.0	1.2	0.0	1.2	12.6	0.0	0.9	2.0
<i>Leptohalysis scotti</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Milionella fichteliana</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Milionella</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Milionella subrotunda</i>	1.0	6.8	8.2	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	7.3	2.9	0.0	2.3	1.2	4.3	1.4
<i>Pseudomassilina</i> sp. juvenile	0.0	5.2	6.0	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
<i>Pyrgo comata</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Quinqueloculina laevigata</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	5.6	0.0	1.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	4.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.5	1.8	0.0	1.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0
<i>Quinqueloculina poeyana</i>	10.0	0.0	0.4	0.0	0.9	0.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Quinqueloculina polygona</i>	0.5	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	0.0
<i>Quinqueloculina seminula</i>	20.5	35.6	11.2	10.0	1.7	9.2	1.8	0.0	1.0	0.6	9.4	1.2	1.1	0.0	10.3	21.8
<i>Quinqueloculina</i> sp.	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Rosalina bradyi</i>	0.5	1.6	0.0	0.0	0.9	0.5	0.0	1.3	1.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0
<i>Rosalina globularis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
<i>Rosalina rugosa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Rosalina</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0
<i>Rosalina vilardeboana</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.5	12.7	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	3.4	1.4
<i>Triloculina oblonga</i>	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Varidentella implexa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.7

<i>Specie 1</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
<i>Specie 2</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Specie 3</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Specie 4</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	0.0	0.0	0.0

3. Conclusões Gerais

O Canal do Itajuru e adjacências, na Laguna de Araruama demonstrou um claro gradiente de aumento dos parâmetros físico-químicos no sentido do canal para região mais interna da laguna indicando a redução da influência no corpo lagunar. Ainda assim, a região apresentou altos níveis de diversidade e riqueza de foraminíferos vivos comparada a outras lagoas hipersalinas devido a alto teor de OD resultante da influência marinha (no Canal do Itajuru) ou de células de circulação internas do corpo lagundar. Através da análise da composição da matéria orgânica (biopolímeros) foi possível perceber que há maior aporte de matéria orgânica proveniente de origem fitoplanctônica e detritos vegetais. Este estudo demonstrou que em locais específicos da laguna há alta concentração de matéria orgânica principalmente lipídios. Estes locais foram os mesmos que apresentaram baixa densidade de foraminíferos vivos, o que indica a sensibilidade dos organismos ao acúmulo de matéria orgânica de origem antropogênicos.

As espécies dominantes na Laguna de Araruama foram *Q. seminula*, *A. parkinsoniana*, *A. tepida* (presente em 100% das estações), *C. excavatum* e *A. milletti* foram consideradas bioindicadores para este ambiente hipersalino. As espécies *Q. seminula* e *A. parkinsoniana* foram indicadoras de fração arenosa, alta hidrodinâmica e sensível a presença de matéria orgânica e biopolímeros. O *cluster* que está é a característica da maior parte das espécies presentes no início e próximo ao final do Canal do Itajuru. Já *A. tepida* e *C. excavatum* foram consideradas indicadoras de espécies com alta tolerância a matéria orgânica, Carbono Orgânico Total, Enxofre Total, lipídios, regiões de fração fina e salinidade. Ao longo do canal, início dos Bolsões 1 e 2 e todo o Bolsão 3 foram áreas com maior presença dessas espécies mais resistentes. Por fim, *A. milletti* foi considerada indicadora de ambientes com influência marinha e com tolerância a presença de proteínas, que inclui o final do canal e Bolsão 1.

A espécie *T. oblonga* foi dominante em um estudo preliminar na Laguna de Araruama com a assembleia total de foraminíferos (vivos + mortos), algo que não foi encontrado nesse estudo. A justificativa é pelo tempo de diferença entre as coletas e a possibilidade desses organismos terem sido transportados e estarem mortos. É necessário trabalho posterior comparando as assembleias vivas e mortas para confirmação desse transporte.

O resultado de biopolímeros demonstrou que o sistema não apresenta sinais de eutrofização, exceto em estações pontuais. Contudo, a razão CHO/PTN evidencia que a maior parte da área amostrada possui matéria orgânica antiga, que significa que o sistema

tende a acumular ao invés de degradar ou transportar a MO, sendo assim, a laguna de Araruama pode ser considerada com um sistema deposicional vulnerável ao processo de eutrofização. Por outro lado, O Canal do Itajuru, exceto da região das marinas, tem predominância da fração arenosa, maior influência marinha e hidrodinâmica acentuada o que não permite o acúmulo de matéria orgânica.

4. Referências bibliográficas

- ABU-ZIED, R. H., BANTAN, R.A. 2013. Hypersaline benthic foraminifera from the Shuaiba Lagoon, eastern Red Sea, Saudi Arabia: Their environmental controls and usefulness in sea-level reconstruction. *Marine Micropaleontology*, 103: 51-67.
- BELART, P., CLEMENTE, I., RAPOSO, D., HABIB, R., VOLINO, E. K., VILLAR, A., MARTINS, M. V. A., FONTANA, L. F., LORINI, M. L., PANIGAI, G., FRONTALINI, F., FIGUEIREDO, M. S. L., VASCONCELOS, S. C., LAUT, L. 2018. Living and dead Foraminifera as bioindicators in Saquarema Lagoon System, Brazil. *Latin American Journal Aquatic Research*, 46(5): 1055-1072.
- BELART, P, HABIB, R., RAPOSO, R., CLEMENTE, I., MARTINS, M. V. A., FRONTALINI, F., FIGUEIREDO, M. S. L., MARIA LUCIA LORINI, M. L., LAUT, L. 2019. Seasonal Dynamics of Benthic Foraminiferal Biocoenosis in the Tropical Saquarema Lagoonal System (Brazil). *Estuaries and Coasts*, 42(208):1-20
- CARREIRA, R., WAGENER, A. L. R., TIMOTHY, F., READMEAN, J. W. 2001. Distribuição do coprostanol em sedimentos superficiais da Baía de Guanabara: Indicador da poluição recente por esgotos domésticos. *Química nova*, 24: 37-42.
- CLEMENTE, I. M. M. M., SILVA, F. S., LAUT, L. L. M., FRONTALINI, F., COSTA, V. L., RODRIGUES, M. A. C., PEREIRA, E., BERGAMASCHI, S., FILHO, J. G. M., MARTINS, M. V. A. 2015. Biochemical Composition and Foraminifera Content of Sediments for Determining Bottom Sector Environments in Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Coastal Research*, 315: 1190-1204.
- DIAS, P., MARTINS, M.V., CLEMENTE, I., CARELLI, T., DA SILVA, F., FONTANA, L., LORINI, M. L., DI PANIGAI, G., HABIB, R., MENDONÇA-FILHO, J., LAUT, L. 2017. Assessment of the Trophic State of Saquarema Lagoonal System, Rio de Janeiro (Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, 2 (1): 49-64.
- DEBENAY J. P., GUILLON J. J., REDOIS F., GESLIN E. 2000. Distribution trends of foraminiferal assemblages in paralic environments. A base for using foraminifera as

bioindicators. In: Martin R.E. (ed.). *Environmental Micropaleontology*. Topics in Geobiology, v. 15: 39–64.

DEBENAY, J., GESLIN, E., EICHLER, B. B., DULEBA, W., SYLVESTRE F., EICHLET, P. 2001. Foraminiferal Assemblages in a Hypersaline Lagoon, Araruama (RJ), Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*. 31(2): 133-151

FEEMA (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE). 1988. Perfil Ambiental do Município de Araruama, Rio de Janeiro, Fundação Estadual de Estudos do Meio Ambiente. 45 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

GUERRA, L.V., SAVERGNINI, F., SILVA, F.S., BERNARDES, M. C., CRAPEZ, M.A.C. 2011. Biochemical and microbiological tools for the evaluation of environmental quality of a coastal lagoon system in Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 71(2): 461-468.

Jones, R. 2001. Foraminifera and their Applications. Cambridge, Cambridge University Press. 401 p.

KFOURI, P. B. P., EICHLER, B. B., EICHLER, P. B., PEREIRA, E. R. M., FIGUEIRA, R., ABESSA, D. M. S., SOUSA, E.C.P.M. 2003. Toxicidade dos sedimentos da Baía de Guanabara- RJ determinada pela ocorrência das associações de foraminíferos bentônicos e testes com anfípodos *Tiburonella viscana*. In: CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICA, 2, Recife, 2003. Anais, Recife, UFPE, 1-4.

LAUT, L. L. M., CLEMENTE, I. M. M. M., BELART, P., MARTINS, M. V. A., FRONTALINI, F., LAUT, V. M., GOMES, A., BOSKI, T., LORINI, M. L., FORTES, R. R., RODRIGUES, M. A. C. 2016a. Multiproxies (benthic foraminifera, ostracods and biopolymers) approach applied to identify the environmental partitioning of the Guadiana River Estuary (Iberian Peninsula). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(2): 184-201.

LAUT, L.L.M., MARTINS, M.V.A, FONTANA, L.F., SILVA, F.S., MENDONÇA-FILHO, J. G., CLEMENTE, I. M. M. M., FRONTANINI, F., RAPOSO, D., BELART, P., BALLALAI, J. 2016b. Ecological status evaluation of Itaipu Lagoon (Niterói) based on biochemical composition of organic matter. *Journal of Sedimentary Environments*, 1(3): 304-323

MARTINS, M.V. A, ZAABOUB, N., ALEVA, L., FRONTALINI, F., PEREIRA, E., MIRANDA P., MANE, M., ROCHA, F., LAUT, L., EL BOUR, M. 2015a. Environmental

Quality Assessment of Bizerte Lagoon (Tunisia) Using Living Foraminifera Assemblages and a Multiproxy Approach. *PLoS ONE*, 10(9): e0137250.

MARTINS, M. V. A., FRONTALINI, F., RODRIGUES, M. A. C., DIAS, J. A., LAUT, L. L. M., SILVA, F., CLEMENTE, I. M., RENO, R., MORENO, J., SOUSA, S., ZAABOUB, N., EL BOUR, M., ROCHA, F.

2015b. Foraminiferal Biotypes and their Distribution Control in Ria de Aveiro (Portugal): a multiproxy approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(12), 8875-8897.

MARTINS, M. V. A., LAUT, L. L. M., FRONTALINI, F., SEQUEIRA, C., RODRIGUES, R., DA FONSECA, M. V. M., BERGAMASCHI, S., PEREIRA, E., DELAVY, F. P., FIGUEIREDO-JR., A. G., MIRANDA, P., TERROSO, D., PENA, A. L., LAUT, V. M., FIGUEIRA, R., ROCHA, F. 2016. Controlling Factors on the abundance, diversity and size of living benthic foraminifera in the NE Sector of Guanabara Bay (Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(4): 393-410.

MILÊNIO (2009), Projeto Instituto do Milênio. Online, [acesso em 17/12/2018]. URL: <http://www.institutomilenioestuarios.com.br/zonacosteiras>.

MURRAY, J. 1970. the foraminifera of the hypersaline abu dhabi lagoon, Persian Gulf. *Lethaia*, 3 (1): 51-68.

Murray, J., 2006. Ecology and applications of benthic foraminifera. Cambridge University Press, 426 pp.

PASSAVANTE, J. Z. O., KOENING, M. L. 1984. Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco Brasil. XXVI. Clorofila a e material em suspensão no estuário do rio Botafogo. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, 18: 207-230.

RAPOSO, D., LAUT, V., CLEMENTE, I., MARTINS, V., FRONTALINI, F., SILVA, F., LORINI, M.L., FORTES, R., LAUT, L., 2016. Recent benthic foraminifera from the Itaipu Lagoon, Rio de Janeiro (southeastern Brazil). *Check List* 12 (5).

RAPOSO, D., CLEMENTE, I., FIGUEIREDO, M., VILAR, A., LORINI, M.L., FRONTALINI, F., MARTINS, V., BELART, P., FONTANA, L., HABIB, R., LAUT, L. 2018. Benthic foraminiferal and organic matter compounds as proxies of environmental quality in a tropical coastal lagoon: The Itaipu lagoon (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 129 (1): 114-125.

SCHÖNFELD, J., ALVE, E., GESLIN, E., JORISSEN, F., KORSUN, S., SPEZZAFERRI, S., MEMBERS OF THE FOBIMO GROUP, 2012. FOBIMO (FORaminiferal BIO-

MONitoring) initiative—towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*, 94–95.

SILVA, F. S., BITENCOURT, J. A. P., SAVERGNINI, F., GUERRA, L. V., BAPTISTA-NETO, J. A., CRAPEZ, M. A. C. 2011. Bioavailability of organic matter in the superficial sediment of Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ*. 34(1): 52-63.

SÍLVIA, P. M. M. 2009. A laguna de Itaipu e os serviços ambientais na região oceânica de Niterói, RJ. Bacharelado em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Monografia, 77p.

SUGUIO, K. 1992. Dicionário de Geologia Marinha. T.A. Queiroz, Editor, 171p., São Paulo.

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