

JEFFERSON ENDRIO SALGADO DE ALENCAR

**MICROZOOPLÂNCTON COMO INDICADOR DA QUALIDADE
AMBIENTAL NO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO,
BRASIL**

SERRA TALHADA,

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

**MICROZOOPLÂNCTON COMO INDICADOR DA QUALIDADE
AMBIENTAL NO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO,
BRASIL**

Jefferson Endrio Salgado de Alencar

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para obtenção do título de Mestre.

Linha de pesquisa: Ecologia, Conservação e uso da Biodiversidade de Ambientes Aquáticos

Prof.(a) Dr.(a) Sigrid Neumann Leitão
Orientador

Prof.(a) Dr.(a) Mauro de Melo Júnior
Co-orientador

SERRA TALHADA,

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A368m Alencar, Jefferson Endrio Salgado de
MICROZOOPLÂNCTON COMO INDICADOR DA QUALIDADE
AMBIENTAL NO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO,
BRASIL / Jefferson Endrio Salgado de Alencar. - 2020.
55 f. : il.

Orientadora: Sigrid Neumann Leitao.

Coorientadora:

Mauro de Melo Junior.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Serra Talhada,
2021.

1. Oligohalina. 2. Mesohalina. 3. Polihalina. 4. Salinidade. 5. Estuário urbano.
I. Leitao, Sigrid Neumann, orient.
II. Junior, Mauro de Melo, coorient. III. Título

CDD 338.95

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

MICROZOOPLÂNCTON COMO INDICADOR DA QUALIDADE
AMBIENTAL NO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO,
BRASIL

Jefferson Endrio Salgado de Alencar

Dissertação julgada adequada para
obtenção do título de mestre em
Biodiversidade e Conservação.
Defendida e aprovada em 29/11/2020
pela seguinte Banca Examinadora.

Prof^(a). Dr^(a). Sigrid Neumann Leitão - Orientadora
[Departamento de Oceanografia/UFPE]

Prof^(a). Dr^(a). Mariana Guenther Soares – Membro Externo
[Instituto de Ciências Biológicas/Universidade de Pernambuco - UPE]

Dr^(a). Renata Polyana de Santana Campelo – Membro Externo
[Departamento de Oceanografia/Universidade Federal de Pernambuco - UFPE]

Prof^(a). Dr^(a). Renata Akemi Shinozaki Mendes – Membro Interno (suplente)
[Unidade Acadêmica de Serra Talhada/Universidade Federal Rural de Pernambuco –
UFRPE]

Dr^(a). Simone Maria de Albuquerque Lira – Membro Externo (suplente)
[Departamento de Biologia/Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE]

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha amada flor Jhana,
companheira de uma vida, e às nossas crianças José
Mateus e Maria Flor, meus alicerces. Amo vocês.

*O homem não teceu a teia da vida, ele é
dela apenas um fio. O que ele fizer para a
teia estará fazendo para si mesmo.*

(Fritjof Capra)

Agradecimentos

Gratidão me define para com este trabalho, ainda mais nesse momento que o mundo está lutando firme e forte. A todos os envolvidos para que isso se concretizasse, somente posso dizer obrigado.

Primeiramente agradeço ao meu pai José Gomes de Alencar (*in memoriam*), por plantar em mim a semente do estudo e mostrar que o conhecimento é a arma mais poderosa que existe. A minha mãe Maria de Nazaré Salgado de Alencar pelo exemplo de superação e pelo apoio de sempre. Sou um privilegiado em ser filho de vocês. Se existir outra vida quero ser filho de vocês novamente.

Agradeço a minha esposa Jhana Aryce, a “culpada” por eu ter conseguido fazer o mestrado, por acreditar em mim mesmo quando nem eu acreditava, pela paciência, cumplicidade, amor, carinho de sempre. Sou um ser humano melhor por ter você.

Ao meu filho José Mateus e minha filha Maria Flor, grato pela paciência e por entenderem o que o papai estava fazendo. São os melhores do mundo.

A Seu Geraldo e Dona Maud, pela ajuda, carinho e atenção para comigo. Foi mais do que eu mereço.

À professora Sigrid e professor Mauro por confiarem em mim para esse projeto. São referências como pessoas e profissionais para mim. Grato pelos ensinamentos, paciência e pela palavra de motivação em momentos difíceis.

A todos os professores que contribuíram para minha formação, em especial aos do Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Conservação da UFRPE/UAST.

Aos meus parceiros de PGBC Aline, Emerson, Priscila, pela ajuda, agonias, conversas e risadas durante o mestrado. Levo vocês comigo para sempre. Sei que todos alcançarão o que desejarem. A Aline, Leidiane e Brígida por me abrigarem enquanto estava em Serra Talhada. O sucesso irá permear nossas vidas.

Aos meus colegas de LEPLANC/UFRPE gratidão a todos pela convivência, conversas e aprendizado. Em especial a Myllena pela ajuda e apoio durante o mestrado. A Felipe, Alef e Ítalo pela boa vontade e paciência em partilhar seus conhecimentos e

me auxiliarem nas etapas de análise estatística, no laboratório e identificação das espécies.

Ao sr. Davi grato pelas histórias do Capibaribe, risadas e apoio durante as coletas.

À FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pela concessão da bolsa durante a realização do mestrado. À verba PROAP/Capes, pela ajuda de custo para a realização das coletas e materiais usados em laboratório.

Resumo

Estuários são ambientes que possuem aporte de água do mar, juntamente com água doce dos rios, produzindo um local com um gradiente de salinidade. Estuários urbanos sofrem impactos significativos advindos do processo de urbanização sem planejamento ao seu redor, com aporte de efluentes domésticos e industriais, e de resíduos sólidos. Hipotiza-se que para um estuário degradado urbano as espécies bioindicadoras serão compostas em sua maioria por Rotifera. O objetivo foi inventariar a comunidade microzooplantônica (organismos de tamanhos entre 20 – 200 μm) em estuário urbano impactado, como também verificar os efeitos espaço-temporais nos atributos que regulam a comunidade (densidade, composição, riqueza, diversidade) e relacionar as espécies estudadas potencialmente indicadoras com as variáveis analisadas. O presente estudo englobou três zonas distintas do estuário do rio Capibaribe (Recife, Pernambuco), ao longo de 9 estações de coleta, entre setembro de 2018 a julho de 2019 (periodicidade bimestral). Com base na salinidade, foram definidas três zonas do estuário: oligohalina (salinidade de 0,5 a 5), mesohalina (salinidade de 6 a 18) e polihalina (salinidade de 19 a 29). A salinidade foi um dos principais fatores que influenciaram a comunidade. Turbidez (54 ± 18.1 NTU) e clorofila *a* (537.8 ± 268.9 $\mu\text{g.L}^{-1}$) tiveram maiores valores no período seco, na zona oligohalina. Foram contabilizados 43 taxa. A densidade foi maior no período seco, com predomínio dos Rotifera ($428,5 \pm 2259,7$ ind.L⁻¹) e Copepoda ($951,2 \pm 724,1$ ind.L⁻¹). Através da curva de rarefação foi verificado que a riqueza teve um valor mais elevado para as zonas estudadas, já a diversidade de Shannon e Simpson valores baixos. Conforme a nMDS, as comunidades entre as zonas meso e polihalina são mais semelhantes entre si. Os resultados da CCA mostram que taxa como *Apocyclops procerus*, Bdelloidea e *Brachionus calyciflorus* tiveram uma forte relação com turbidez e clorofila *a* para o período seco, e os Nauplius de Cirripedia, *Brachionus plicatilis* e larva de Polychaeta apresentaram uma correlação com a zona polihalina, no período chuvoso. Dos taxa identificados, 44% foram considerados indicadores e/ou detectores das condições estudadas. Além disso, a maioria das espécies bioindicadoras foi de Rotifera confirmando a hipótese do estudo. Os resultados indicam que os efeitos espaço-temporais influenciam e regulam os atributos da comunidade zooplantônica.

Palavras-chave: oligohalina, mesohalina, polihalina, salinidade, estuário urbano

Abstract

Estuaries are environments with a supply of sea water, along with fresh water from rivers, creating a place with a gradient of salinity. Urban estuaries suffer significant impacts from the urbanization process without planning around them, combined with the supply of domestic and industrial effluents, and solid waste. We hypothesize that for a degraded urban estuary, the bioindicator species will be composed mostly of Rotifera. We aimed to assess the microzooplankton community (organisms between 20 - 200 μm in size) in an urban impacted estuary, as well as to verify the spatio-temporal effects on the attributes that regulate the community (density, composition, richness, diversity) and to relate potentially studied species. indicators with the analyzed variables. The present study covered three distinct zones of the Capibaribe River estuary (Recife, Pernambuco), in 9 collection stations, between September 2018 and July 2019 (bimonthly). Based on salinity, three zones of the estuary were defined: oligohaline (salinity from 0.5 to 5), mesohaline (salinity from 6 to 18) and polyhaline (salinity from 19 to 29). Salinity was one of the main factors that influenced the community. Turbidity (54 ± 18.1 NTU) and chlorophyll a (537.8 ± 268.9 $\mu\text{g. L}^{-1}$) had higher values in the dry period, in the oligohaline zone. There were 43 taxa counted in our study. The density was higher in the dry period, with a predominance of Rotifera (428.5 ± 2259.7 ind. L^{-1}) and Copepoda (951.2 ± 724.1 ind. L^{-1}). Through the rarefaction curve it was verified that the richness had a higher value for the studied areas, whereas the diversity of Shannon and Simpson had low values. According to nMDS, the communities between the meso and polyhaline zones are more like each other. The CCA results show that taxa such as *Apocyclops procerus*, Bdelloidea and *Brachionus calyciflorus* had a strong relationship with turbidity and chlorophyll a for the dry period, and the Cirripedia Nauplius, *Brachionus plicatilis* and Polychaeta larva showed a correlation with the polyhaline zone, in the polyhaline zone. rainy season. Of the identified rates, 44% were considered indicators and / or detectors of the studied conditions. In addition, most of the bioindicator species were Rotifera, confirming the hypothesis. The results indicate that the spatio-temporal effects influence and regulate the attributes of the zooplankton community.

Keywords: oligohaline, mesohaline, polyhaline, salinity, urban estuary

Lista de figuras

	Página
Figura 1- Mapa com localização dos pontos estudados no sistema estuarino.....	26
Figura 2- Densidade (média e desvio padrão) por período sazonal entre as zonas de salinidade no estuário do rio Capibaribe (2018-2019).....	35
Figura 3- Curvas de rarefação e extrapolação para diferentes zonas de salinidade com intervalo de confiança de 95%. O (0) representa a riqueza de espécies, (1) a diversidade de Shannon e (2) a diversidade de Simpson. As unidades amostrais são referentes ao longo do estuário estudado entre setembro de 2018 a julho de 2019.....	36
Figura 4- Ordenação de zonas de salinidade e a composição zooplânctonica ao longo do estuário do rio Capibaribe, Recife, PE, por meio da análise de nMDS (Escalonamento Multidimensional não-Métrico). As formas e cores refletem a composição da comunidade zooplânctonica nas diferentes zonas de salinidade. A – Período Seco (Stress = 0.138, F = 6.06, p = 0.001), B – Período Chuvoso (Stress = 0.079, F = 8.51, p = 0.001).....	36
Figura 5- Análise de Correspondência Canônica (CCA) relacionando as variáveis hidrológicas e os organismos encontrados para o período seco (ANOVA, F = 5.06; p = 0.001). Em vermelho os taxa e em azul as variáveis hidrológicas.....	37
Figura 6- Análise de Correspondência Canônica (CCA) relacionando as variáveis hidrológicas e os organismos encontrados para o período chuvoso (ANOVA, F = 4.27; p = 0.001). Em vermelho os taxa e em azul as variáveis hidrológicas.....	38

Lista de tabelas

	Página
Tabela 1- Valores médios e desvios padrões dos parâmetros hidrológicos para o período de realização do estudo (2018-2019). (a)Diferenças entre os períodos seco e chuvoso. Diferenças entre as zonas por período (b) (Oligohalina e Mesohalina), (c) (Oligohalina e Polihalina).....	30
Tabela 2- Classificação e frequência de ocorrência dos taxa do zooplâncton no estuário estudado. A riqueza está representada pela letra S para cada zona por período.....	31
Tabela 3- Informações referentes aos parâmetros estudados e as espécies indicadoras ($p < 0.05$).....	39

Sumário

	Página
Dedicatória.....	05
Agradecimento.....	07
Resumo.....	09
Abstract.....	10
Lista de Figuras.....	11
Lista de Tabelas.....	12
1- Introdução.....	14
2- Hipóteses.....	16
3- Objetivos.....	17
3- Referências bibliográficas.....	18
4- Artigo científico.....	22
4.1- Artigo científico I.....	22
5. Conclusões.....	47

1- Introdução Geral

Estuários são ecossistemas aquáticos em que há a mistura de águas doces e marinhas, gerando um gradiente de salinidade. Estes locais possuem um alto valor de biomassa devido as elevadas taxas de produção primária e secundária relativas às populações fitoplanctônicas, zooplanctônicas e bentônicas (MAGALHÃES et al., 2009). São ambientes que possuem relação com atividades humanas (De JONGE et al., 2002), tendo uma elevada importância econômica e social, com forte potencial para exploração de peixes, moluscos e crustáceos (TUNDISI, 2008). O crescimento acelerado da população em zonas urbanas que possuem estuários são uma das principais causas de impactos (KENNISH, 2002). Apesar dessas pressões antrópicas, os estuários possuem uma alta resiliência (McLUSKY e ELLIOT, 2004)

O rio Capibaribe é um dos principais rios que corta a cidade do Recife, um dos maiores centros urbanos do litoral brasileiro. Sua nascente fica na cidade de Poção, em Pernambuco, percorrendo aproximadamente 250 km até desembocar no oceano Atlântico. O estuário do Capibaribe vem sofrendo impactos ao longo dos anos por conta da influência antrópica (XAVIER et al, 2016), relacionados ao aporte de efluentes industriais e domésticos (OLIVEIRA et al, 2014) e resíduos sólidos, alterando a qualidade do rio (MACIEL et al, 2015). Silva et al. (1996) já faziam referência que parte da população jogava o lixo diretamente no rio naquela época. As palafitas que ainda existem na margem do rio também contribuem para o lançamento de resíduos, incluindo os orgânicos.

A distribuição das espécies também está relacionada à produtividade primária de uma área. Guenther et al. (2017) encontraram que a alta produção primária em águas superficiais do Porto do Recife e bacia do Pina, onde deságua o rio Capibaribe, superando a respiração da comunidade de plâncton durante a maior parte do ano, levando a um metabolismo líquido autotrófico ($NCP > 0$) através da coluna de água e um dissipador resultante de CO_2 atmosférico ($FCO_2 < 0$).

Conforme Noriega et al. (2013), os estuários apresentam variações sazonais nos níveis de salinidade, influenciadas pelas marés, pelo influxo de água doce proveniente dos rios e pela drenagem terrestre ocasionada pelas chuvas.

Em estudos na área estuarina de maior influência marinha do rio Capibaribe e bacia do Pina, Noriega et al. (2013) mostraram que todos os nutrientes nitrogenados dissolvidos, o silicato e o material em suspensão apresentaram maiores concentrações durante a

estação chuvosa, enquanto o fosfato e a clorofila-a (tanto o total quanto as frações piconanoplâncton e microplâncton) apresentaram maiores concentrações durante a estação seca.

Todos os fatores considerados foram exportados para o mar, exceto clorofila-a (frações de piconanoplâncton e microplâncton) durante a estação seca, sendo esses fatores importados para a área. O transporte líquido total na estação chuvosa foi três vezes maior do que o encontrado para a estação seca. O silicato representou cerca de 85% do total de material exportado durante o período chuvoso, enquanto durante a estação seca, o fosfato e o silicato representaram 79% do total exportado. Os processos de estratificação e circulação indicaram um ambiente bem misto. A taxa de renovação da água foi baixa, como demonstrado pela entrada de biomassa de fitoplâncton durante o período seco. A área foi caracterizada como eutrófica durante o ano de 2007, estando atualmente em condições bem mais degradadas.

Dentro desses ambientes o zooplâncton desempenha um papel de extrema importância, sendo o condutor do fluxo de energia entre os produtores e os consumidores de maior nível trófico (NOGUEIRA JÚNIOR e COSTA, 2019). O zooplâncton é formado por organismos que vivem dispersos na coluna d'água, com meios de locomoção limitados (KENNISH, 2004) e está constituído pela parcela heterotrófica de organismos. Embora muitas vezes definidos como organismos de pouca mobilidade, diversos grupos do zooplâncton, como os microcrustáceos, podem se mover extensivamente (DAY et al, 2012), alcançando uma heterogeneidade espacial e temporal em função das condições ambientais, e não são aleatoriamente distribuídos como poderia se pensar devido ao significado do termo plâncton. Em todo o caso, dentro dos ambientes estuarinos existem fatores com a salinidade que promovem também uma segregação espacial da comunidade.

O zooplâncton é constituído por muitos tipos de organismos, grande parte destes possuindo ciclo de vida curto, havendo uma resposta rápida em relação a mudanças ocorridas no ambiente, como por exemplo, mudanças climáticas (temperatura, vento), concentração de nutrientes, pH, entre outros fatores (NEUMANN-LEITÃO et al, 2018). Assim, a composição de espécies do zooplâncton e a abundância destas podem ser alteradas em função de variações no meio, podendo ser de grande utilidade como indicador biológico para avaliação da qualidade da água (SANTOS et al, 2009; SINGH et al, 2013), mostrando, por exemplo, variações na comunidade com relação ao grau de eutrofização do meio (PARANAGUÁ et al., 2004; MELÃO et al., 2005). Dentro do

zooplâncton, alguns grupos como Rotifera e microcrustáceos (Copepoda e Cladocera) respondem rapidamente as alterações físico-químicas na água (ANDRONIKOVA, 1996), tanto na alteração da sua densidade como também na composição e diversidade da comunidade (COELHO-BOTELHO, 2003).

Para alguns estuários no nordeste do Brasil foram feitos estudos avaliando o uso do zooplâncton como bioindicador (ARAÚJO e LUCAS, 2003; MARTINS et al, 2006; PESSOA et al, 2009; SANTOS et al, 2009; PEREIRA et al, 2011). Particularmente para o rio Capibaribe, foram feitos alguns estudos relacionados a distribuição espaço-temporal do zooplâncton (SILVA et al, 1996; NEUMANN-LEITÃO et al, 1999; PARANAGUÁ et al, 2005; GUENTHER et al, 2019), tendo a maioria deles utilizado malha acima de 64 µm. SILVA et al (1996), realizando um dos primeiros levantamentos da comunidade zooplânctônica do Capibaribe, identificaram 61 taxa distribuídos entre os grupos Protista, Cnidaria, Rotifera, Copepoda, Cladocera, Gastropoda, Anellida, Insecta e Chordata. Outros estudos verificaram o predomínio de alguns taxa típicos, tais como *Acartia lilljeborgi*, *Dioithona oculata*, *Oithona hebes*, *Labidocera fluviatilis*, *Temora turbinata* e Nauplius de Cirripedia, além de algumas espécies de Cladocera (PARANAGUÁ et al, 2005; GUENTHER et al, 2019). Até o presente, poucos estudos utilizaram redes de menor malha (< 64 µm), podendo ter uma subamostragem de pequenos Rotifera e microcrustáceos, alguns indicadores de estado avançado de degradação ambiental.

2- Hipóteses

- Em sistemas estuarinos tropicais, altamente influenciados por ações antrópicas, a ocorrência de espécies indicadoras (>70% do índice de valor de indicação) será restrita a grupos oportunistas (Rotifera).

3- Objetivos

- Inventariar a biodiversidade zooplânctonica do ambiente estuarino estudado.
- Verificar os efeitos espaço-temporais reguladores dos atributos da comunidade zooplânctonica (diversidade, riqueza, composição, densidade) presente no estuário.
- Correlacionar a relação espaço-temporal entre as espécies do microzooplâncton potencialmente indicadoras com as principais variáveis ambientais do sistema a ser estudado.

4- Referências bibliográficas

ANDRONIKOVA, I. Zooplankton characteristics in monitoring of Lake Ladoga. **Hydrobiologia**, The Hague. v. 322, p.173–179, 1996.

ARAÚJO, H.M.P.; LUCAS, A.P.O. 2003. Zooplâncton do Estuário do Rio Sergipe: Caracterização e Avaliação da Qualidade Ambiental. **Anais do Seminário de Pesquisa FAP-SE**, p.4, 2003.

COELHO-BOTELHO, M. J. Dinâmica da Comunidade Zooplanctônica e sua Relação com o Grau de Trofia em Reservatórios. São Paulo, CETESB, 2003.

DAY, J.; HALL, C.; KEMP, W.M.; YANEZ-ARANCIBIA, A. **Estuarine Ecology**. New York, Wiley-Inter Science, 2012, 554p.

De JONGE, V.N.; ELLIOT, M.; e ORIVE, E. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. **Hydrobiologia** v. 475/476, p.1-19, 2002.

GUENTHER, M.; ARAÚJO, M.; NORIEGA, C.; FLORES-MONTES, M.; GONZALEZ- RODRIGUEZ, E.; e NEUMANN-LEITÃO, S. Plankton carbon metabolism and air–water CO₂ fluxes at a hypereutrophic tropical estuary. **Marine Ecology** 38(2), 1-12., (2017a)

GUENTHER, M, C.; COSTA, A. E. S. F.; PESSOA-FIDELIS, V. T.; e NEUMANN-LEITÃO, S. Seasonal variations in plankton trophic structure under highly eutrophic conditions. **Marine and Freshwater Research** v.71(6), p.641-652, 2019.

KENNISH, M. J. Environmental threats and environmental future of estuaries. **Environmental Conservation** v. 29, p.78- 107, 2002.

KENNISH, M.J. Estuarine Research, Monitoring, and Resource Protection. **CRC Press**, 2004, 320p.

MACIEL, D.C.; COSTA, B.V.M.; SANTOS, L.P.S.; SOUZA, J.R.B.; e ZANARDI-LAMARDO, E. Avaliação da toxicidade dos sedimentos do sistema estuarino do rio

Capibaribe (Pernambuco, Brasil) utilizando o Copepoda bentônico *Tisbe biminiensis* Volkman Rocco (1973). **Tropical Oceanography Online**. v. 43, p.26–37, 2015a.

MAGALHÃES, A.; LEITE, N.R.; SILVA, J.G.S.; PEREIRA, L.C.C.; e COSTA, R.M. Seasonal variation in the copepod community structure from a tropical Amazon estuary, Northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v. 81(2), p.187–197, 2009.

MARTINS, A. L. P., LOPES, M. J. S., e MELO, O. T. Zooplâncton como bioindicador da qualidade ambiental no estuário do rio do Anil, São Luis-MA. **Boletim do laboratório de Hidrobiologia** v.19, p.51-60, 2006.

McLUSKY, D. S.; ELLIOT, M. **The Estuarine Ecosystem - ecology, threats, management**. Oxford University Press (Eds.), 2004, p. 1-18.

MELÃO, M.G.G.; ROCHA, O.; ROCHE, K.F. Produtividade, biomassa, flutuações populacionais e interações biológicas da comunidade planctônica e suas implicações na transferência de energia na cadeia alimentar de um reservatório raso e oligotrófico. p. 25-80. In: ROCHE, K.F.; ROCHA, O. **Ecologia Trófica de Peixes com ênfase na planctivoria em ambientes lênticos de água doce no Brasil**. São Carlos, Rima., 2005.

NEUMANN-LEITÃO, S.; SOUZA, M.R.M.; PORTO NETO, F.F.; MOURA, M.C.O.; SILVA, A.P.; e GUSMÃO, L.M.O. Zooplâncton do estuário do rio São Francisco, Nordeste do Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal do Pernambuco** v.27(1), p.33-54, 1999.

NEUMANN-LEITÃO, S.; MELO, P. A. M. C.; SCHWAMBORN, R.; DIAZ, X. F. G.; FIGUEIREDO, L. G. P.; SILVA, A. P.; et al. Zooplankton from a reef system under the influence of the Amazon River plume. **Front. Microbiol.** v. 9, p. 1-15, 2018.

NOGUEIRA JÚNIOR, M. e COSTA, M.D.P. Zooplâncton da Baía da Babitonga e plataforma continental adjacente: diagnóstico e revisão bibliográfica. **Revista CEPSUL - Biodiversidade & Conservação Marinha**, v. 8, p. 1-29, 2019.

NORIEGA, C. E. D.; SANTIAGO, M. F.; FAÇANHA, P.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; SILVA, R. A.; FLORES MONTES, M. J.; ARAÚJO FILHO, M.; COSTA, K. M. P.; ESKINAZI-LEÇA, E.; e NEUMANN-LEITÃO, S. The instantaneous transport of

inorganic and organic material in a highly polluted tropical estuary. **Marine and Freshwater Research**, v. 64, p.562-572, (2013).

OLIVEIRA, T. S.; BARCELLOS, R. L.; SCHETTINI, C. A. F.; e CAMARGO, P. B. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **J. Integr. Coast. Zone Manag.** v. 14(3), p.399-411, 2014.

PARANAGUÁ, M. N. et al. 2004. Estrutura da comunidade zooplanctônica. In: ESKINAZI LEÇA, E.; NEUMANN LEITÃO, S.; COSTA, M. F. (Org.). **Oceanografia: Um Cenário Tropical**. 1ed. Recife, Bagaço, 2004, v. 1, p.441-458.

PARANAGUÁ, M. N.; NEUMANN-LEITÃO, S.; NOGUEIRA-PARANHOS, J. D.; SILVA, T. A., e MATSUMURATUNDISI, T. Cladocerans (Branchiopoda) of a tropical estuary in Brazil. **Brazilian Journal of Biology** v.65, p.107-115, 2005.

PEREIRA, A. P. S.; VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. e NOGUEIRA, E. M. S. 2011. Biodiversidade e estrutura da comunidade zooplanctônica na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6 (2): 191–205, 2011.

PESSOA V.T.; NEUMANN-LEITÃO S.; GUSMÃO L.M.O.; SILVA A.P.; e PORTO-NETO F.F. Comunidade zooplanctônica na Baía de Suape e nos estuários dos rios Tatuoca e Massangana, PE (Brasil). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca** v.4, p. 80–94, 2009.

SANTOS, T. G. dos.; GUSMÃO, L. M. O.; NEUMANN-LEITÃO, S.; CUNHA, A. G. da. Zooplâncton como indicador biológico da qualidade ambiental nos estuários dos rios Carrapicho e Botafogo, Itamaracá-PE. **Revista Brasileira Engenharia de Pesca**. v. 4(1), p.44-56, 2009.

SINGH, U.B.; AHLUWALIA, A.S.; SHARMA, C.; JINDAL, R.; e THAKUR, R.K. 2013. Planktonic indicators: a promising tool for monitoring water quality (early-warning signals). **Eco Environ Cons.** v. 19(3), p.793-800, 2013.

SILVA, T. A.; PARANAGUÁ, M. N.; NEUMANN-LEITÃO, S.; e NOGUEIRA-PARANHOS, J. D. Zooplâncton do estuário do rio Capibaribe - PE (Brasil). **Trab. Oceanog. Univ. Fed. PE** v.24, p.97-102, 1996.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. **Limnologia**. São Paulo, Oficina de Textos, 2008, 631p.

XAVIER, D.A., BARCELLOS, R.L., FIGUEIRA, R.C.L. e SCHETTINI, C.A.F. Evolução sedimentar do estuário do rio Capibaribe (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização. **Tropical Oceanography**. v. 44, p.74-88, 2016.

5- Artigo científico

5.1 - Artigo científico I

Artigo científico a ser encaminhado a Revista
Marine and Freshwater Research.

Todas as normas de redação e citação, doravante, atendem as estabelecidas pela referida revista, exceto o idioma.

Declaração sobre plágio

Eu, Jefferson Endrio Salgado de Alencar, autor(a) da dissertação intitulada **“MICROZOOPLÂNCTON COMO INDICADOR DA QUALIDADE AMBIENTAL NO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO, BRASIL ”**, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco, declaro que:

- O trabalho de pesquisa apresentado nesta dissertação, exceto onde especificado, representa uma pesquisa original desenvolvida por mim;
- Esta dissertação não contém material escrito ou dados de terceiros, de qualquer fonte bibliográfica, a menos que devidamente citada e referenciada no item “Referências Bibliográficas”.

Serra Talhada, 30 de novembro de 2020



(assinatura)

Atributos espaço-temporais da comunidade microzooplânctonica em um estuário urbano degradado.

Jefferson Endrio Salgado de Alencar^{1,2}; Mauro de Melo Júnior^{1,2}; Sigrid Neumann-Leitão^{1,3}

¹Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, Pernambuco, Brasil

²Laboratório de Ecologia do Plâncton, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife, Pernambuco, Brasil

³Laboratório de Zooplâncton Marinho, Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia, Recife, Pernambuco, Brasil

Resumo

Atributos da comunidade do microzooplâncton em um sistema estuarino urbano degradado foram avaliados nos períodos seco e chuvoso, com o objetivo de avaliar a potencial resposta da comunidade às variáveis hidrológicas locais. As campanhas amostrais foram realizadas ao longo de 20 km de extensão, totalizando 9 pontos distribuídos em três zonas distintas do estuário, com periodicidade bimestral, de setembro de 2018 a julho de 2019. Em cada ponto e período, o microzooplâncton foi coletado a partir de uma rede com malha de 45 µm e nove variáveis hidrológicas foram mensuradas concomitantemente. Foram registrados 43 taxa, destacando-se os Rotifera (25 taxa) e os Copepoda (9 taxa). Os Copepoda apresentaram maiores densidades durante todo o período de estudo, sobretudo durante o período seco. Os resultados mostraram que existe diferença significativa nos valores de densidade do zooplâncton, sendo maior no período seco (cerca de 6 vezes) quando comparado ao período chuvoso, tendo o grupo dos Copepoda o maior valor entre os grupos estudados. A curva de rarefação mostrou que a riqueza foi maior na zona oligohalina, tendo a diversidade de Shannon e Simpson valores baixos para o ambiente estudado. A partir da NMDS foi verificado que há uma maior similaridade entre a composição zooplânctonica entre as zonas meso e polihalina. De forma geral, a salinidade foi uma das principais variáveis que afetou a distribuição e composição das espécies do zooplâncton. Entretanto, grupos indicadores foram relacionados a elevados valores de clorofila *a* (*Brachionus caudatus*), sólidos totais dissolvidos (larvas de Polychaeta e *Oithona oswaldocruzi*) e turbidez (*Brachionus angularis*, *Brachionus plicatilis* e *Brachionus caudatus*). Esses resultados mostram que os dados hidrológicos analisados influenciam na comunidade zooplânctonica e que algumas espécies de Rotifera e microcrustáceos podem ser utilizados como bioindicadores de degradação estuarina.

Palavras-chave: Gradiente de salinidade, composição, densidade, riqueza, similaridade

Abstract

Attributes of the microzooplankton community in a degraded urban estuarine system were evaluated in the dry and rainy periods, with the objective of evaluating the potential response of the community to local hydrological variables. The sampling campaigns were carried out over 20 km in length, totaling 9 points distributed in three different zones of the estuary, with bimonthly periodicity, from September 2018 to July 2019. At each point and period, the microzooplankton was collected from a 45 μm mesh network and nine hydrological variables were measured concomitantly. 43 taxa were registered, the most important being Rotifera (25 taxa) and Copepoda (9 taxa). Copepoda showed higher densities throughout the study period, especially during the dry period. The results showed that there is a significant difference in the values of density of zooplankton, being greater in the dry period (about 6 times) when compared to the rainy period, with the Copepoda group having the highest value among the groups studied. The rarefaction curve showed that the richness was higher in the oligohaline zone, with Shannon and Simpson's diversity being low for the studied environment. From the NMDS it was verified that there is a greater similarity between the zooplankton composition between the meso and polyhalin zones. In general, salinity was one of the main variables that affected the distribution and composition of zooplankton species. However, indicator groups were related to high values of chlorophyll a (*Brachionus caudatus*), total dissolved solids (Polychaeta larvae and *Oithona oswaldocruzi*) and turbidity (*Brachionus angularis*, *Brachionus plicatilis* and *Brachionus caudatus*). These results show that the hydrological data analyzed influence the zooplankton community and that some species of Rotifera and microcrustaceans can be used as bioindicators of estuarine degradation.

Keywords: Salinity gradient, composition, density, richness, similarity

Introdução

Estuários são ambientes aquáticos de transição com alta dinâmica ecológica, que possuem influência tanto da entrada da água do mar como das águas dos rios (Jha *et al.* 2014; Melo-Magalhães *et al.* 2016; Abdul *et al.* 2016), nos quais há um gradiente típico de salinidade, com zonas oligohalinas, mesohalinas e polihalinas, quase sempre, bem definidas. São ambientes que possuem condições hidrológicas altamente variáveis e processos biológicos intensos (Salvador e Bersano 2017), os quais vem sofrendo alterações, principalmente por fatores antrópicos como despejos de efluentes domésticos sem tratamento, destinação de resíduos de forma irregular, aumento da densidade populacional nessas áreas (Kress *et al.* 2002), alterando os processos físicos, químicos e biológicos nesses locais.

Estuários que possuem zonas urbanas em suas margens têm um aporte significativo de substâncias que alteram a qualidade do rio (Morley *et al.* 2012). Com isso, há um aumento da contribuição de nutrientes sobretudo em regiões não saneadas, acarretando a eutrofização de todos os trechos do estuário (Nixon 1995; Glibert 2017; Cloern *et al.* 2020). Elementos e substâncias advindas de efluentes domésticos são lançados diretamente no corpo hídrico, tendo também influência do aporte da drenagem das águas pluviais, já que em alguns locais o efluente doméstico é lançado nessas galerias (Zanardi-Lamardo *et al.* 2016), afetando sua qualidade (Vezi *et al.* 2019). O estuário do rio Capibaribe, localizado em um dos maiores agregados urbanos do Brasil, possui um elevado grau de poluição por esgoto doméstico (Schetinni *et al.* 2016; Zanardi-Lamardo *et al.* 2016), com visível grau de degradação ambiental. Este estuário tem uma grande importância socioeconômica para o centro urbano que está em suas margens, desde a colonização até os dias atuais, com evidente impacto por atividades antrópicas, recebendo efluentes domésticos e industriais (Silva *et al.* 1996; Zanardi-Lamardo *et al.* 2016). Alterações ambientais desta natureza refletem na mudança da dinâmica dos organismos biológicos, incluindo a comunidade zooplânctonica (Kennedy *et al.* 2002; Marques *et al.* 2007).

A parcela do zooplâncton tem importante papel dentro dos ecossistemas aquáticos, já que é responsável pelo fluxo de energia entre os produtores basais e os níveis tróficos de topo de cadeia, bem como pela produção secundária e por sua função como alimento dentro das teias alimentares aquáticas (Setubal *et al.* 2020). Dentro dessa parcela, o microzooplâncton, que segundo Sieburth *et al.* (1978), possui tamanhos entre 20 a 200 μm , podendo ser heterotróficos ou mixotróficos, assim como Rotifera, Nauplius e

juvenis de Copepoda e Cladocera, e larvas de vários grupos estuarinos (por ex., moluscos e Cirripedia). Em geral, possui o mesmo tamanho de suas presas (Simó *et al.* 2018), sendo também regeneradores dos nutrientes que alimentam a produção primária e são um elo trófico chave entre o fitoplâncton e os demais metazoários (Calbet e Landry 2004; López Abbate *et al.* 2016; Strom *et al.* 2019).

Esses organismos respondem rapidamente a estresses ambientais, sendo que a composição de espécies do zooplâncton e a abundância destas podem ser alteradas em função de variações no meio, podendo ser utilizados como bioindicadores (Ferdous e Muktadir 2009; Tomczak *et al.* 2013; Costa *et al.* 2016). Espécies mais sensíveis a poluição tendem a ser eliminadas, enquanto as espécies mais resistentes à poluição podem apresentar elevadas taxas de crescimento populacional (Matsumura-Tundisi e Tundisi, 2003; De Carli *et al.* 2018).

A utilização do zooplâncton como bioindicador já vem sendo realizada em estuários degradados (Modéran *et al.* 2010; Martins *et al.* 2006; Albaina *et al.* 2009; Rose *et al.* 2019) e demonstra ser um método eficiente para avaliar a qualidade ambiental desses locais. Estes organismos podem responder de diferentes maneiras às mudanças ambientais. Por vezes, sofrem alterações que variam de modificações celulares provenientes de mutações a modificações no nível de comunidade, alterando a composição, diversidade e densidade de espécies (Uriarte e Villate 2005; Costa *et al.* 2016). As mudanças sofridas nas comunidades zooplânctônicas têm sido utilizadas como uma importante ferramenta de avaliação dos efeitos da urbanização e poluição nos ambientes aquáticos (Uriarte e Villate, 2005; Albaina *et al.* 2009; Costa *et al.* 2016).

Para ambientes que possuem impactos ambientais, há um aumento na abundância das espécies zooplânctônicas (Rotifera, Copepoda Cyclopoida e Cladocera), e para os Copepoda Calanoida estes tendem a desaparecer, já que são adaptados para ambientes com baixo impacto (De-Carli *et al.* 2018; Mínguez *et al.* 2020). Diante disso, hipotetiza-se que em um estuário com alto grau de urbanização, as espécies bioindicadoras serão restritas a oportunistas (Rotifera). Assim, os objetivos desse estudo foram: (i) verificar a influência das condições ambientais do estuário estudado sobre os atributos da comunidade zooplânctônica (composição, densidade, riqueza, diversidade) e (ii) investigar se há espécies que podem ser bioindicadoras da qualidade do ambiente estudado.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado no sistema estuarino do rio Capibaribe (trecho compreendido dentro da cidade do Recife, Pernambuco, Brasil), compreendendo uma distância de aproximadamente 20 Km. Apresenta o clima tropical tendo a classificação As' de acordo com Köppen e Geiger, tendo uma temperatura e pluviosidade média anual de 25,8°C e 1804 mm. As coletas foram realizadas em nove estações fixas dentro do estuário do rio Capibaribe (Fig. 1), localizadas em áreas urbanizadas de diferentes graus de salinidade, sendo classificadas em ordem crescente de salinidade conforme a Classificação de Veneza (Anonymous, 1959) (oligohalino ≤ 6 ; mesohalino 6-18; e polihalino 19-29, sendo 3 campanhas no período seco (setembro, novembro de 2018 e fevereiro de 2019) e 3 no período chuvoso (março, junho e julho de 2019). Todas as coletas foram realizadas na maré vazante, diurna.

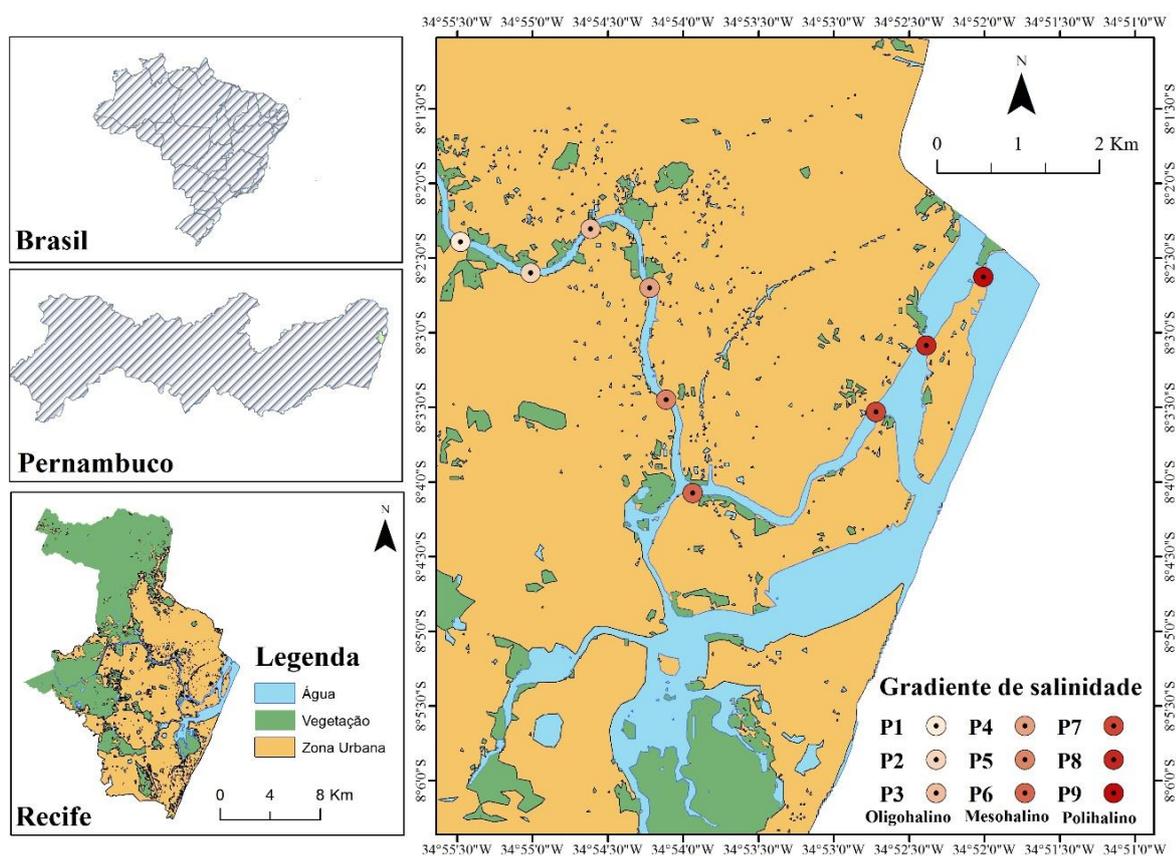


Fig. 1. Mapa com localização dos pontos estudados no sistema estuarino.

Variáveis abióticas

Os dados referentes às variáveis abióticas (temperatura da água, pH, condutividade elétrica, sólidos totais, turbidez, salinidade) foram mensurados a partir de uma sonda

Horiba U-52. Para a transparência da água foi usado disco de Secchi. A partir desses valores foi feito o cálculo do índice de extinção de luz para saber a profundidade máxima da zona eufótica (Idso e Gilbert 1974; Baumgarten *et al.* 1996), a qual usa o valor da profundidade do disco de Secchi para o cálculo. Todos os parâmetros abióticos foram aferidos simultaneamente com as coletas das amostras do microzooplâncton. A determinação da clorofila *a* foi realizada com base em amostras de água de sub-superfície. Em laboratório, as amostras foram filtradas utilizando-se bomba de sucção, com filtros GF/F de membrana de celulose (0,45 µm de porosidade e 47 mm de diâmetro), sendo os filtros posteriormente congelados para determinação da concentração de clorofila *a*, utilizando como solvente etanol 96% (Jespersen e Christoffersen, 1987). A leitura dos valores de clorofila *a* foi feita em espectrofotômetro conforme metodologia de Wintermans e Motts (1965).

Amostragem

As amostras de zooplâncton foram obtidas, utilizando uma rede de plâncton de 45 µm de abertura de malha, na qual foram filtrados 100 L de água em cada ponto, obtidos a partir de balde graduado. Não foram realizados arrastos horizontais devido à grande quantidade de macrófitas flutuantes (baronesa), nos trechos oligohalinos e mesohalinos, e resíduos sólidos na subsuperfície, animais mortos boiando no rio juntamente com restos de sofás, geladeiras e carcaças de carros entre outros o que poderia acarretar na destruição da rede de plâncton. Após as coletas, o material foi acondicionado em frascos plásticos e fixado com formol a 4%, neutralizado com bórax (5g L⁻¹) (Newell e Newell 1963). Todas as amostras coletadas estão depositadas e tombadas na Coleção de Zooplâncton, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (CZ-UFRPE; <https://collectory.sibbr.gov.br/collectory/public/show/co294>).

Análise do zooplâncton

Em laboratório, o zooplâncton foi analisado em microscópio óptico, a partir de 3 subamostras de 2 mL, em câmara de Sedgwick-Rafter. Um mínimo de 100 indivíduos por subamostra foi contado, totalizando mais de 300 indivíduos por amostra. Os indivíduos foram identificados ao menor nível taxonômico possível. As identificações foram feitas utilizando literatura específica (p. ex.: Scourfield e Harding 1966; Köste 1978; Boltovsky 1981; 1999; Elmoor-Loureiro 1997). As espécies foram classificadas quanto à frequência de ocorrência (FO), conforme Dajoz (1983)

Análises estatísticas

Para saber se houve diferença de densidade por zona entre os períodos seco e chuvoso, foi feito um teste de Mann Whitney. Para verificar se houve similaridade entre a composição do microzooplâncton nas três zonas de salinidade foi feito um escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) baseado na distância de Bray-Curtis e para analisar se houve diferença significativa na composição entre as zonas foi feita uma PERMANOVA. Para verificar a relação entre os organismos encontrados e as variáveis estudadas foi feita uma Análise de Correspondência Canônica (CCA).

Para comparar as comunidades planctônica encontrada nas três zonas foram calculadas curvas de rarefação e extrapolação de riqueza de espécies para os números de Hill $q=0$ (riqueza de espécies), $q=1$ (diversidade de Shannon) e $q=2$ (diversidade de Simpson). As curvas foram calculadas com o pacote iNEXT R (Hsieh *et al.* 2016). A riqueza de espécies, diversidade de Shannon e diversidade de Simpson no ambiente estudado foi aferida pelas curvas de rarefação e extrapolação dos números de Hill para os dados de incidência, utilizando os procedimentos e funções propostas por Chao *et al.* (2014), por meio do pacote "iNEXT" versão 2.0.15 (Hsieh *et al.* 2016). A partir dessa análise, que se baseia nos dados de incidência da comunidade, foi possível comparar os dados de diferentes comunidades no tempo e espaço, pois as amostras são padronizadas a um mesmo tamanho (Chao *et al.* 2014). As curvas foram geradas com intervalos de confiança a 95% obtidos pelo método de bootstrap, o que facilita a comparação de diversas comunidades de amostras extrapoladas (Chao *et al.* 2014).

A análise de espécies indicadoras (INDVAL) foi usada para determinar as espécies características, de acordo com algumas categorias das variáveis abióticas avaliadas ($p<0,05$). Nessa análise, é combinada a densidade e a frequência de ocorrência para cada espécie (Dufrene e Legendre 1997). Para índices de valoração maiores que 70%, a espécie é considerada indicadora, ao passo que valores entre 50 a 70%, a espécie é considerada detectora. Todas as análises foram feitas no programa R Project, disponibilizado em <http://www.r-project.org>.

Resultados

Dados ambientais

Considerando todo o período de estudo, a maioria das ocasiões registradas se apresentou com características de uma zona oligohalina (53,7%), seguidas de momentos representantes das zonas polihalina (27,8%) e mesohalina (18,5%), conforme a classificação de Veneza para ambientes estuarinos.

A temperatura não teve uma grande variação em seus valores (Tabela 1), sendo uma média mínima de $28,7 \pm 0,1$ °C, no período chuvoso, na zona polihalina, e uma média máxima de $31 \pm 0,7$ °C, no período seco, na zona oligohalina. Os valores de clorofila *a* se apresentaram elevados nas zonas oligo e mesohalina (537.8 ± 268.9 ; 323.9 ± 282.7 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente), no período seco, e de 136.1 ± 19.3 e 214.2 ± 31.1 $\mu\text{g L}^{-1}$, no período chuvoso, respectivamente.

O Índice de Extinção de Luz apresentou valores mais baixos na zona oligohalina, tanto do período seco (1.2 ± 0.3 m) como no chuvoso (1.2 ± 0.4 m), ao passo que seus maiores valores foram registrados na zona polihalina, tanto do período seco (1.6 ± 0.9 m) quanto chuvoso (2.0 ± 0.6 m). Para turbidez, os valores foram menores na zona polihalina dos períodos seco (29.3 ± 17 NTU) e chuvoso (17.3 ± 13.7 NTU), e maiores nas zonas oligohalina dos períodos seco (54 ± 18.1 NTU) e chuvoso (34.7 ± 15.1 NTU). As zonas com maior turbidez apresentaram menores valores de zona eufótica (Zeu).

A condutividade elétrica (25.2 ± 16.8 ms cm^{-1}), turbidez (43 ± 16.2 NTU), sólidos totais dissolvidos (12 ± 2.6 g/TDS) e clorofila *a* (313.7 ± 210 $\mu\text{g L}^{-1}$) apresentaram valores maiores no período seco (Teste de Mann-Whitney, $p < 0.05$).

A temperatura foi o único parâmetro hidrológico que não variou entre as diferentes zonas de salinidade, para os dois períodos estudados. No período seco houve diferenças significativas entre a zona oligohalina e mesohalina para as seguintes variáveis: pH (7.6 ± 0.1), condutividade elétrica (33.1 ± 40.3 ms cm^{-1}), sólidos totais dissolvidos (10.6 ± 3.1 g/TDS) e salinidade (10.1 ± 3.3). Para o mesmo período entre as zonas oligohalina e polihalina as seguintes variáveis apresentaram diferenças: condutividade elétrica (38.1 ± 5.5 ms cm^{-1}), sólidos totais dissolvidos (23.2 ± 3.3 g/TDS), salinidade (24.4 ± 4.1) e clorofila *a* (537.8 ± 268.9 $\mu\text{g L}^{-1}$). Para o período chuvoso houve diferença somente entre as zonas oligohalina e polihalina para as variáveis pH (7.6 ± 0.1), condutividade elétrica (37.3 ± 10.2), turbidez (34.7 ± 2 NTU), sólidos totais dissolvidos (22.7 ± 6.1 g/TDS), salinidade (23.6 ± 7) e índice de extinção de luz (transparência) (2 ± 0.6 m).

Dados bióticos

Foram contabilizados 43 taxa distribuídos ao longo das três zonas estudadas (Tabela 2). As espécies que apresentaram frequências de ocorrência maiores que 50% foram: Nauplius de Cyclopoida (94%), *Apocyclops procerus* (81%), Bdelloidea (81%), *Brachionus plicatillis* (74%), *Oithona oswaldocruzi* (72%), *Brachionus angularis* (67%), *Brachionus caudatus* (67%), *Brachionus calyciflorus* (54%), larva de Polychaeta (54%) e *Filinia terminalis* (52%).

Tabela 1. Valores médios e desvios padrões dos parâmetros hidrológicos para o período de realização do estudo (2018-2019). (a)Diferenças entre os períodos seco e chuvoso. Diferenças entre as zonas por período (b)(Oligohalina e Mesohalina), (c)(Oligohalina e Polihalina)

Dados Hidrológicas	Período Seco			Período Chuvoso		
	Oligohalina	Mesohalina	Polihalina	Oligohalina	Mesohalina	Polihalina
Temperatura (°C)	31.1 (±0.7)	30.1 (±0.5)	29.9 (±0.7)	28.8 (±0.1)	29.1 (±0.04)	28.7 (±0.1)
pH	7.4 (±0.1) ^b	7.6 (±0.1) ^b	7.5 (±0.1)	7.3 (±0.1) ^c	7.4 (±0.2)	7.6 (±0.1) ^c
CE (ms cm ⁻¹) ^a	4.4 (±4.5) ^{bc}	33.1 (±40.3) ^b	38.1 (±5.5) ^c	1.4 (±0.02) ^c	20.1 (±0.8)	37.3 (±10.2) ^c
Turbidez (NTU) ^a	54 (±18.1)	45.8 (±13.6)	29.3 (±17)	34.7 (±2) ^c	25.4 (±9.6)	17.3 (±3.2) ^c
Sólidos totais dissolvidos (g/TDS) ^a	2 (±1.2) ^{bc}	10.6 (±3.1) ^b	23.2 (±3.3) ^c	0.9 (±0.02) ^c	12.5 (±0.5)	22.7 (±6.1) ^c
Salinidade	1.4 (±1.7) ^{bc}	10.1 (±3.3) ^b	24.4 (±4.1) ^c	0.7 (±0.1) ^c	12 (±0.4)	23.6 (±7) ^c
Clorofila <i>a</i> (µg L ⁻¹) ^a	537.8 (±268.9) ^c	323.9 (±282.7)	79.4 (±78.4) ^c	136.1 (±19.3)	214.2 (±31.1)	56.6 (±34.2)
Índice de Extinção de luz (m)	1.2 (±0.3)	1.2 (±0.5)	1.6 (±0.9)	1.2 (±0.4) ^c	1.8 (±0.9)	2 (±0.6) ^c

Tabela 2. Classificação e frequência de ocorrência dos taxa do zooplâncton no estuário estudado. A riqueza está representada pela letra S para cada zona por período.

Táxon	Período Seco			Período chuvoso			FO (%)
	Oligohalino	Mesohalino	Polihalino	Oligohalino	Mesohalino	Polihalino	
PROTISTA							
Família Ptychocylididae							
<i>Favella ehrenbergii</i> (Claparède e Lachmann, 1858)				x	x	x	28.00
ROTIFERA							
Classe Bdelloidea							
Bdelloidea	x	x	x	x	x	x	81.00
Família Brachionidae							
<i>Brachionus angularis</i> Gosse, 1851	x	x	x	x		x	67.00
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1776	x	x	x	x			54.00
<i>Brachionus caudatus</i> Barrois and Daday, 1894	x	x	x	x		x	67.00
<i>Brachionus dimidiatus</i> Bryce 1931	x						2.00
<i>Brachionus falcatus</i> Zacharias, 1898	x				x	x	35.00
<i>Brachionus leydigi</i> Cohn, 1862		x	x		x		13.00
<i>Brachionus plicatilis</i> Müller, 1786	x	x	x	x	x	x	74.00
<i>Brachionus polyacanthus</i> (Ehrenberg, 1834)		x					2.00
<i>Keratella americana</i> Carlin, 1943			x				4.00
<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)	x	x				x	7.00

Táxon	Período Seco			Período chuvoso			FO (%)
	Oligohalino	Mesohalino	Polihalino	Oligohalino	Mesohalino	Polihalino	
<i>Platyias quadricornis</i> (Ehrenberg, 1832)				x			2.00
Família Epiphanidae							
<i>Epiphanes clavulata</i> (Ehrenberg, 1831)			x	x			7.00
Família Trochosphaeridae							
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	x			x	x	x	37.00
<i>Filinia opoliensis</i> (Zacharias, 1898)	x						7.00
<i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886)	x			x	x	x	52.00
Família Hexarthridae							
<i>Hexarthra</i> sp.	x						2.00
Família Lecanidea							
<i>Lecane clara</i> (Bryce, 1892)				x			2.00
<i>Lecane elongata</i> Harring e Myers, 1926				x			4.00
<i>Lecane</i> sp.				x			2.00
<i>Lecane candida</i> Harring e Myers, 1926				x			2.00
<i>Lecane pawlowskii</i> Wulfert, 1966					x		2.00
<i>Lecane decipiens</i> (Murray, 1913)	x			x			6.00
Família Synchaetidae							
<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943				x			2.00
<i>Polyarthra</i> sp.	x						2.00

Táxon	Período Seco			Período chuvoso			FO (%)
	Oligohalino	Mesohalino	Polihalino	Oligohalino	Mesohalino	Polihalino	
ANNELIDA							
Classe Polychaeta (larva)	x	x	x	x	x	x	54.00
MOLLUSCA							
Classe Gastropoda (veliger)		x					2.00
CRUSTACEA							
Ordem Cladocera							
Família Sididae							
<i>Diaphanosoma spinulosum</i> Herbst, 1975				x			7.00
Família Daphniidae							
<i>Ceriodaphnia cornuta</i> Sars, 1885				x			2.00
Família Moinidae							
<i>Moina micrura</i> Kurz, 1875	x			x			24.00
Subclasse Copepoda							
Ordem Cyclopoida							
Nauplius de Cyclopoida	x	x	x	x	x	x	94.00
Família Cyclopidae							
<i>Apocyclops procerus</i> (Herbst, 1955)	x	x	x	x	x	x	81.00
<u>Família Oithonidae</u>							
<i>Oithona oswaldocruzi</i> Oliveria, 1945	x	x	x	x	x	x	72.00
Ordem Calanoida							
Nauplius de Calanoida			x	x	x	x	17.00

Táxon	Período Seco			Período chuvoso			FO (%)
	Oligohalino	Mesohalino	Polihalino	Oligohalino	Mesohalino	Polihalino	
Familia Paracalanidae							
<i>Paracalanus quasimodo</i> Bowman, 1971			x			x	11.00
Família Acartiidae							
<i>Acartia lilljeborgi</i> Giesbrecht, 1889						x	6.00
Ordem Harpacticoida							
Nauplius de Harpacticoida						x	6.00
Harpacticoida				x			2.00
Família Tachidiidae							
<i>Euterpina acutifrons</i> (Dana, 1847)				x		x	13.00
Família Tisbidae							
<i>Tisbe biminiensis</i> Volkmann-Rocco, 1973				x		x	6.00
Subclasse Cirripedia							
Larva de Cirripedia (Cypris)	x	x	x				6.00
Nauplius de Cirripedia			x		x	x	37.00
CHORDATA							
Ictioplâncton			x				2.00
	S=20	S=14	S=17	S=29	S=12	S=20	

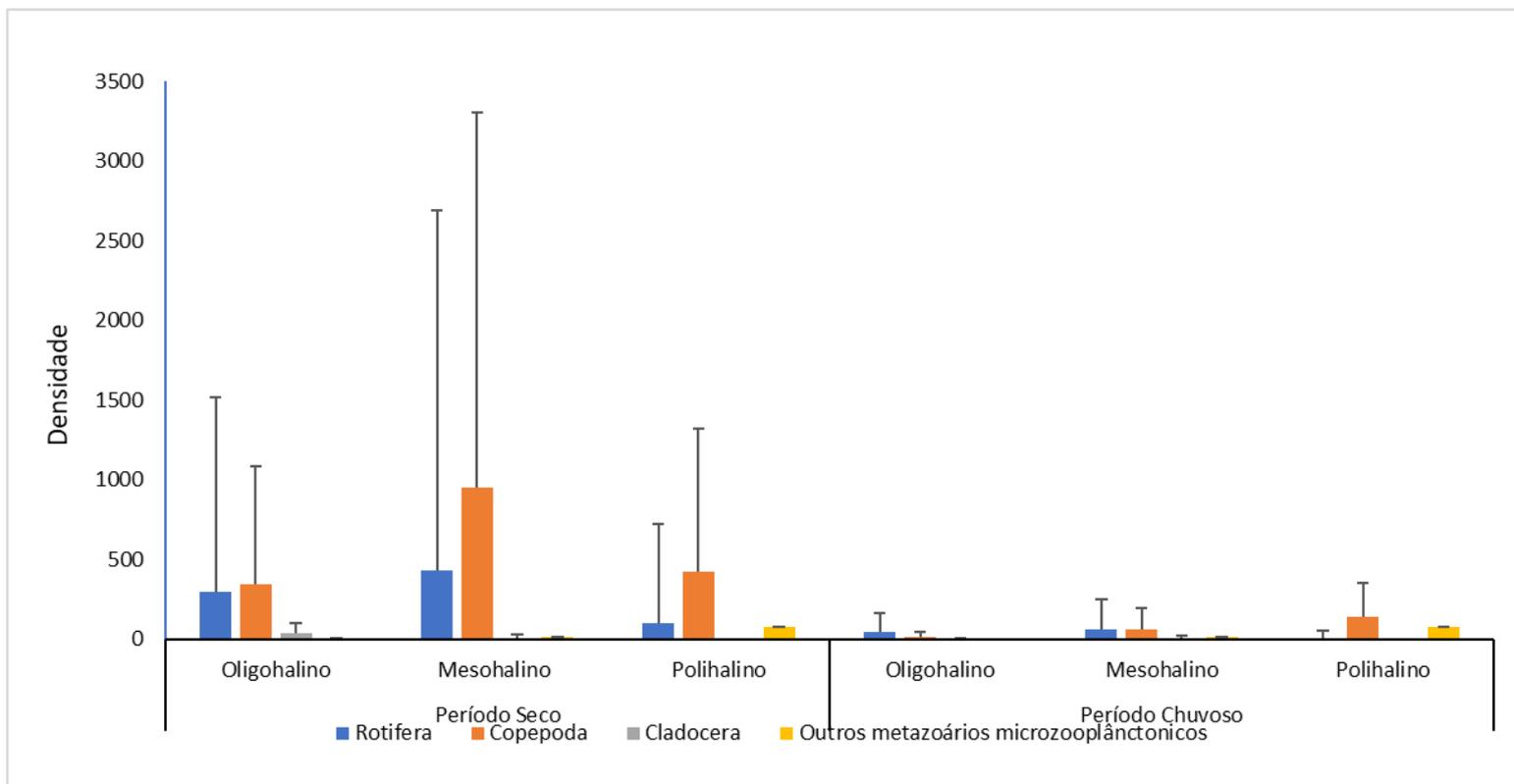


Fig. 2. Densidade (média e desvio padrão) por período sazonal entre as zonas de salinidade no estuário do rio Capibaribe (2018-2019).

Dentre os grupos taxonômicos (Fig. 2), os Rotifera apresentaram maiores valores médios de densidade (428.5 ± 2259.7 ind L⁻¹ e 61.3 ± 190.6 ind L⁻¹) na zonas mesohalina para os dois períodos, já os Copepoda tiveram a maior densidade na zona mesohalina do período seco (951.2 ± 724.1 ind L⁻¹) e na zona polihalina, do período chuvoso (130.3 ± 217.4 ind L⁻¹). Os Cladocera apresentaram maior densidade na zona oligohalina do período seco (37.3 ± 64.5 ind L⁻¹) e na zona mesohalina do período chuvoso (10.1 ± 9.6 ind L⁻¹).

Para os períodos estudados, houve diferença significativa para a densidade entre as zonas oligohalina ($p = 0.01$) e zona mesohalina ($p = 0.04$). As curvas plotadas de rarefação (Fig. 4) mostram que a riqueza de espécies foi maior na zona oligohalina. Para a diversidade de Shannon $q=1$ e diversidade de Simpson $q=2$ estas apresentaram valores baixos, contudo semelhantes entre as zonas oligo e polihalina e mesmo com uma extrapolação dos dados a assíntota referente a diversidade de espécies atingiu um valor baixo.

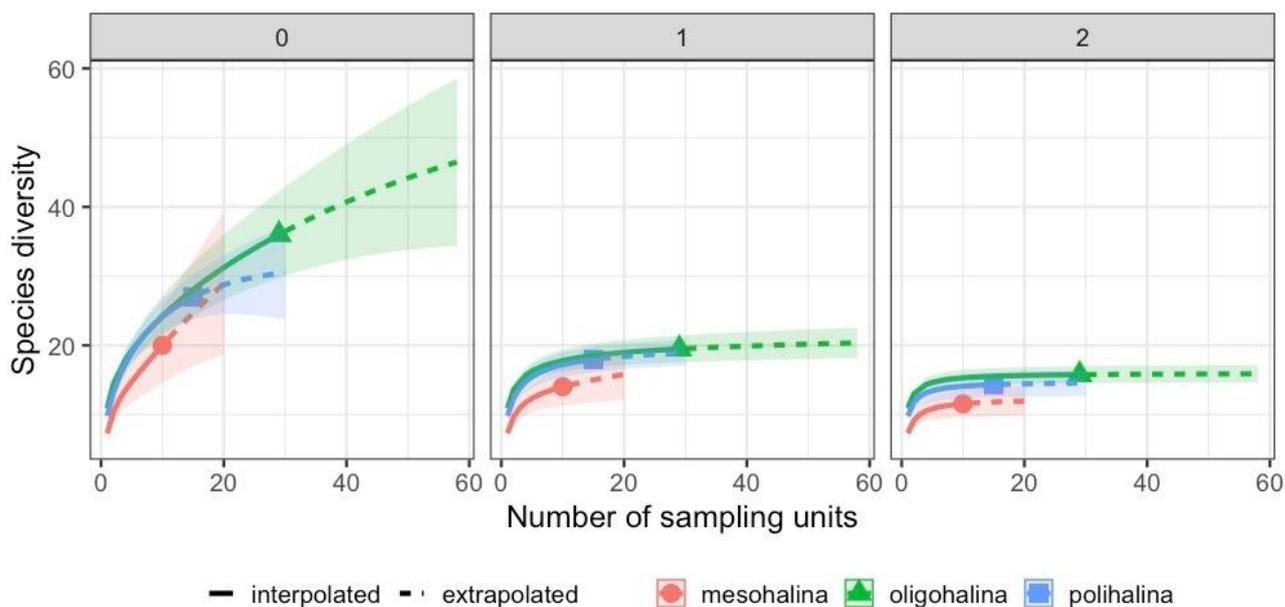


Figura 3. Curvas de rarefação e extrapolação para diferentes zonas de salinidade, com intervalo de confiança de 95%. O $q=0$ representa a riqueza de espécies, $q=1$ a diversidade de Shannon e $q=2$ a diversidade de Simpson. As unidades amostrais são as referentes ao longo do estuário estudado entre setembro de 2018 a julho de 2019.

Foram produzidas duas nMDS, referente aos períodos seco e chuvoso (Figura 4). A nMDS produzida a partir da ordenação dos dados dos dois períodos mostrou que existe uma similaridade da composição zooplancônica entre as zonas mesohalina e polihalina. Comparativamente a composição da zona oligohalina teve uma maior distância das outras zonas no período chuvoso.

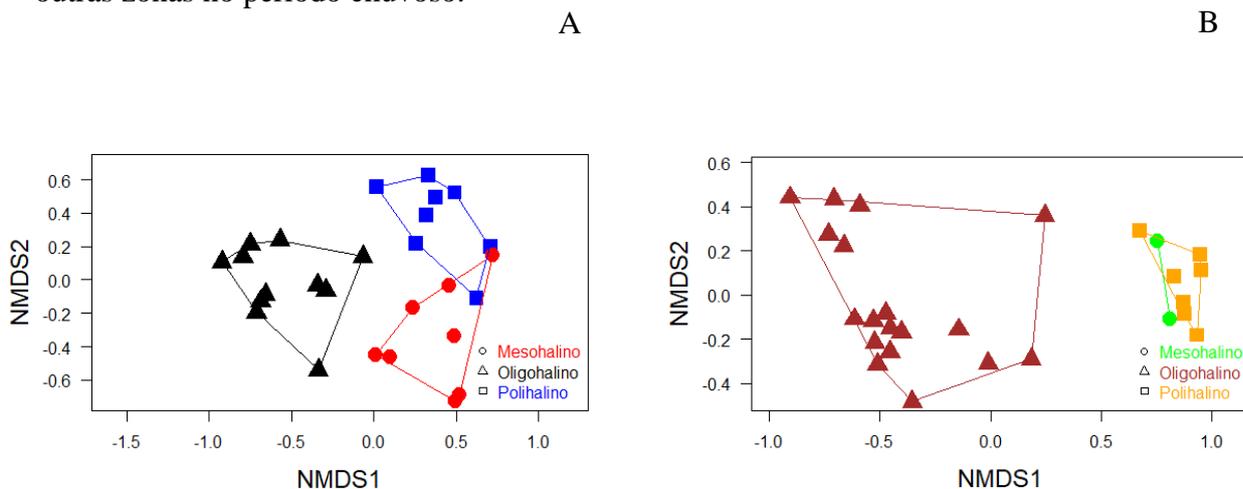


Fig. 4. Ordenação de zonas de salinidade e a composição zooplânctonica ao longo do estuário do rio Capibaribe, Recife, PE, por meio da análise de nMDS (Escalonamento Multidimensional não-Métrico). As formas e cores refletem a composição da comunidade zooplânctonica nas diferentes zonas de

salinidade. A – Período Seco (Stress = 0.138, F = 6.06, p = 0.001), B – Período Chuvoso (Stress = 0.079, F = 8.51, p = 0.001)

Dados hidrológicos x Dados Bióticos

A análise de correspondência canônica (ACC) mostrou que, no período seco, as larvas de Polychaeta possuem uma maior correlação com a zona polihalina, como também o Copepoda *Oithona oswaldocruzi* e os Nauplius de Cirripedia. Esses organismos também apresentaram uma relação com sólidos totais dissolvidos, parâmetro diretamente ligado com a salinidade. *Brachionus leydigi* e *Brachionus plicatilis* tem uma forte relação com a zonas mesohalina e pH. *Brachionus angularis* apresentou uma correlação com a temperatura. *Apocyclops procerus*, Bdelloidea e *Brachionus calyciflorus* tiveram uma forte relação com a turbidez e clorofila *a*. *Brachionus caudatus*, *Brachionus falcatus*, *Filinia longiseta*, *Filinia terminalis* e *Moina micrura* tiveram uma relação direta com a zona oligohalina.

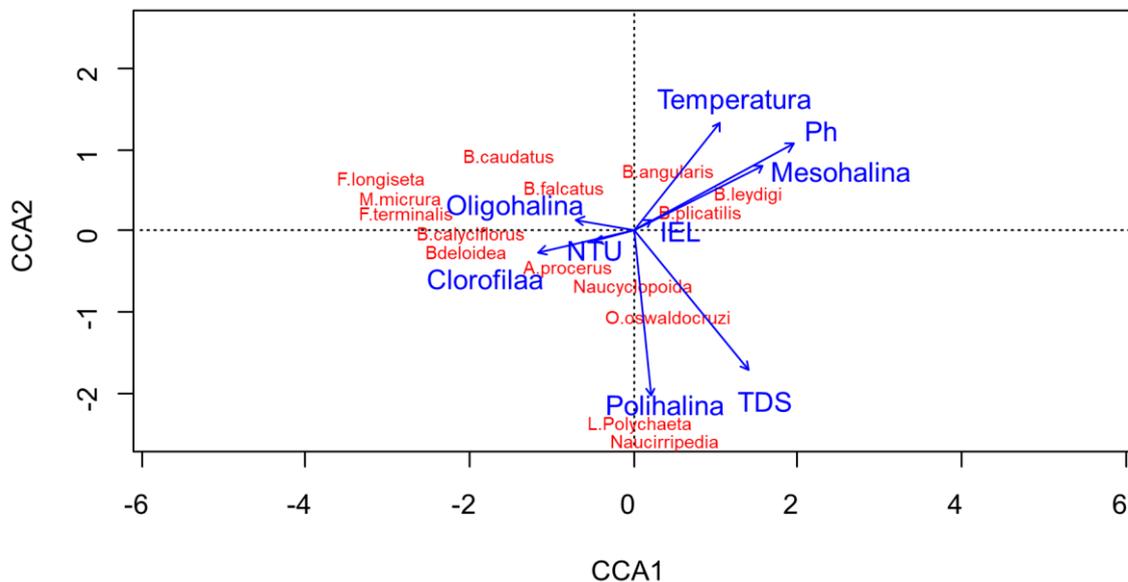


Figura 4. Análise de Correspondência Canônica (CCA) relacionando as variáveis hidrológicas e os organismos encontrados para o período seco (ANOVA, F = 5.06; p = 0.001). Em vermelho os taxa e azul as variáveis hidrológicas.

A CCA para o período chuvoso mostrou um maior número de organismos que tiveram relação com as variáveis hidrológicas. Organismos como *Paracalanus quasimodo*,

Euterpina acutifrons, Nauplius de Cirripedia, Nauplius de Calanoida, larvas de Polychaeta e *Brachionus plicatilis* tiveram uma relação forte com pH, sólidos totais dissolvidos e a zona polihalina. *Oithona oswaldocruzi* apresentou uma correlação com a zona mesohalina. Nauplius de Cyclopoida e *Favella ehrenbergii* mostraram uma relação com a variável transparência da água (IEL). *Apocyclops procurus* teve uma correlação com a temperatura, tendo *Filinia terminalis*, *Filinia longiseta*, *Moina micrura* e *Brachionus leydigi* uma relação com a variável clorofila a. Bdelloidea e *Brachionus calyciflorus* apresentaram uma correlação com a turbidez e a zona oligohalina. Para a turbidez, *Brachionus caudatus*, *Brachionus falcatus* e *Brachionus angularis* também tiveram uma relação com esta variável.

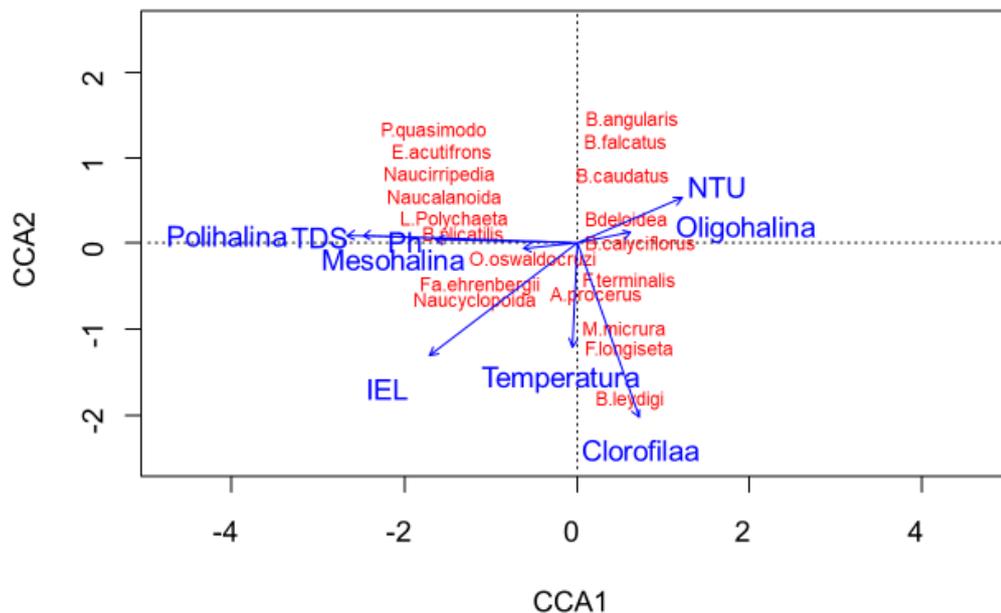


Figura 5. Análise de Correspondência Canônica (CCA) relacionando as variáveis hidrológicas e os organismos encontrados para o período chuvoso (ANOVA, $F = 4.27$; $p = 0.001$). Em vermelho os taxa e em azul as variáveis hidrológicas.

Espécies indicadoras

Dos 43 taxa encontrados no presente estudo, cerca de 44% foram considerados indicadores ou detectores (Tabela 5), conforme análise de espécies indicadoras (INDVAL).

Tabela 5. Informações referentes as espécies indicadoras ($p < 0.05$) e os parâmetros ambientais estudados.

Parâmetro	Classe da indicação	Espécie indicadora e percentual de indicação
Temperatura	>29.4°C	<i>Brachionus plicatillis</i> (87%)
	<29.4°C	<i>Brachionus falcatus</i> (71%), Nauplio Cirripédia (57%), Nauplio Calanoida (53%)
Ph	>7.46	<i>Brachionus plicatillis</i> (94%), Nauplio Calanoida (56%)
	<7.46	<i>Brachionus calyciflorus</i> (78%), <i>Filinia terminalis</i> (75%), <i>Filinia longiseta</i> (66%), <i>Moina micrura</i> (61%)
Turbidez	>35.29 NTU	<i>Brachionus angularis</i> (88%), <i>Brachionus plicatillis</i> (88%), <i>Brachionus caudatus</i> (88%)
	<35.29 NTU	Nauplio calanoida (59%)
Período	Seco	<i>Brachionus plicatillis</i> (99%)
	Chuvoso	<i>Filinia longiseta</i> (78%), <i>Favella ehrenbergii</i> (74%), <i>Brachionus falcatus</i> (69%), Nauplio Calanoida (54%), <i>Euterpina acutifrons</i> (51%)
Zona	Oligohalina	<i>Filinia terminalis</i> (94%), <i>Brachionus calyciflorus</i> (88%), <i>Filinia longiseta</i> (78%), <i>Brachionus falcatus</i> (76%), <i>Moina micrura</i> (67%)
	Mesohalina	<i>Brachionus leydigi</i> (71%)
	Polihalina	Nauplio Cirripédia (89%), <i>Paracalanus quasimodo</i> (57%), <i>Euterpina acutifrons</i> (56%), Nauplio Calanoida (56%)
Índice de Extinção de Luz	>1.38 m	Nauplio calanoida (50%)
	<1.38 m	<i>Brachionus angularis</i> (83%)
Clorofila a	>217.93 $\mu\text{g.l}^{-1}$	<i>Brachionus caudatus</i> (84%), <i>Brachionus calyciflorus</i> (81%), <i>Filinia terminalis</i> (76%), <i>Moina micrura</i> (68%)
	<217.93 $\mu\text{g.l}^{-1}$	-
Totais de sólidos dissolvidos	>8.95 g.TDS^{-1}	Larva Poliqueta (92%), <i>Oithona oswaldocruzi</i> (91%), Nauplio Cirripédia (80%), Nauplio Calanoida (54%), <i>Paracalanus quasimodo</i> (50%)
	<8.95 g.TDS^{-1}	<i>Brachionus caudatus</i> (97%), <i>Bdelloidea</i> (90%), <i>Brachionus calyciflorus</i> (87%), <i>Filinia terminalis</i> (87%), <i>Filinia longiseta</i> (72%), <i>Brachionus falcatus</i> (71%), <i>Moina micrura</i> (62%)

Discussão

Os atributos da comunidade zooplânctonica do sistema estuarino do rio Capibaribe foram influenciados pelos efeitos espaço-temporais da variabilidade hidrológica. Fatores como salinidade, clorofila *a* e turbidez afetaram a composição e distribuição de vários taxa da comunidade, ao longo do estuário. O valor da riqueza de espécies, por exemplo, foi maior na zona oligohalina, para os dois períodos estudados. Além disso, a densidade da comunidade foi maior no período seco, decorrente da maior participação de Copepoda neste período, ao passo que durante o período chuvoso, houve predominância de Rotifera. Essa mudança de domínio de Copepoda (período seco) para Rotifera (período chuvoso) pode estar relacionada ao proposto por Guenther et al. (2017), no qual demonstra uma mudança na composição da comunidade do fitoplâncton, com diatomáceas predominando durante a estação seca, e clorófitas e cianobactérias durante a estação chuvosa.

A temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e clorofila *a* apresentaram maiores valores no período seco, enquanto sólidos totais dissolvidos, salinidade e transparência tiveram maiores valores no período chuvoso. Dados similares foram obtidos por Silva (2003) para a área mais próxima a desembocadura do estuário do rio Capibaribe, evidenciando degradação ambiental há décadas.

De fato, a salinidade é um dos principais elementos que influenciam na composição da comunidade zooplânctônica (Neumann-Leitão *et al.* 1999; Toumi *et al.* 2005; Abdul *et al.* 2016, El-Tohamy *et al.* 2018), parâmetro o qual apresentou diferença significativa entre os períodos seco e chuvoso, mostrando uma relação de elevada salinidade no período seco e baixa salinidade no período chuvoso, comparativamente (Silva *et al.* 1996; Gao *et al.* 2008). Conforme esse estudo, a turbidez e clorofila *a* apresentaram valores elevados para o período seco quando comparado ao chuvoso. Estuários com alto grau de urbanização tendem a ter valores de turbidez e clorofila *a* elevados, principalmente na área mais interna do estuário. Esses valores elevados indicam que a área de estudo recebe um aporte grande de nutrientes, já que com o aumento populacional aliado com um período sem chuvas há uma tendência dos nutrientes ficarem mais concentrados na água (Neumann-Leitão *et al.* 1999; Prasad *et al.* 2014). O presente estudo também mostrou melhoria nos parâmetros como clorofila *a*, turbidez, e transparência da água na zona polihalina, em ambos os períodos, alterando positivamente a qualidade da água local. Isso pode estar ligado ao fato de que nesta zona há uma influência direta da água do mar, fazendo com que o poder de diluição da água aumente.

O período seco apresentou uma maior densidade de organismos quando comparado ao período chuvoso, sendo que para os Copepoda o valor de densidade foi quase 10 vezes maior do período seco em relação ao chuvoso, sendo que para os Rotifera foi quase 8 vezes maior do período seco para o chuvoso. Os valores de clorofila *a* também foram maiores no período seco do que no chuvoso. Isso pode explicar a maior densidade no período seco, já que um alto valor de clorofila *a* reflete uma maior biomassa fitoplânctônica (Cutrim *et al.* 2019), a qual serve de alimento para o zooplâncton.

Para os grandes grupos, os Copepoda apresentaram as maiores densidades, para ambos os períodos. Estuários com alto grau de urbanização tendem a ter um valor de densidade elevado para Copepoda planctônicos (Gannon e Stemberger 1978; Silva *et al.* 1996; Albaina *et al.* 2009; Zhou *et al.* 2009), sendo que para o presente estudo os Nauplius de Cyclopoida contribuíram com a maior parcela. Já os Cladocera apresentaram valores baixos para nosso estudo e presença em áreas com baixa salinidade. Entre os 3 grandes grupos, os Rotifera apresentaram valores medianos de densidade, contudo apresentaram maior riqueza, principalmente nas zonas com menor salinidade. Esses organismos possuem um poder de adaptação a ambientes com alto grau de impacto urbano e muitas espécies que são utilizadas como indicadores de certas condições ambientais (Gannon e Stemberg 1978; Silva *et al.* 1996; Rougier *et al.* 2005; Costa *et al.* 2016).

- Relação entre dados hidrológicos e dados biológicos

O presente estudo demonstrou haver diferenças nas relações entre as variáveis hidrológicas e biológicas nos dois períodos sazonais. Para o período seco, a ocorrência dos organismos de ambientes com valores elevados de salinidade, como as larvas de Polychaeta e os Nauplius de Cirripedia (Branco *et al.* 2007; Nogueira Júnior e Oliveira 2017), evidenciaram a forte relação desses grupos com a zona polihalina, como também já foi constatado por outros autores (Odum 1988; Serpe *et al.* 2010; Hemraj *et al.* 2017). Outra espécie que também teve uma ligação com a zona polihalina foi *Oithona oswaldocruzi*. Esse Copepoda é característico de estuários (Björnberg 1981; Neumann-Leitão *et al.* 1999) e é bem adaptado a variações extremas de salinidade (Boltovskoy, 1999) tendo preferência por águas euhalinas (Atique *et al.* 2017).

De forma geral, os Rotifera estiveram mais relacionados às zonas mesohalina e oligohalina. Por exemplo, *Brachionus plicatilis* e *Brachionus leydigi* tiveram ligação forte com a zona mesohalina. A primeira espécie, conforme outros estudos (Silva *et al.* 1996, Martins *et al.*

2006; Branco *et al.* 2007), é característica de estuários, sendo considerada uma espécie eurihalina (Lowe *et al.* 2005; Serpe *et al.* 2010). É uma espécie que também se adapta a ambientes poluídos semelhantes ao presente local de estudo. A segunda é típica de ambientes com baixa salinidade (Neumann-leitão *et al.* 1999), sendo que para o presente estudo a espécie conseguiu tolerar locais com a salinidade mais elevada. Por outro lado, *Brachionus falcatus*, *Brachionus caudatus*, *Filinia longiseta*, *Moina micrura* e *Filinia terminalis* tiveram forte relação com a zona oligohalina. *Brachionus falcatus* e *Brachionus caudatus* são espécies encontradas em áreas com baixa salinidade (Branco *et al.* 2007), sendo que para o gênero *Filinia* houve essa relação também (Silva *et al.* 1996; Wei e Xu 2014). No que se refere à espécie *Moina micrura*, este Cladocera é comum em ambientes de águas doce, mas pode ser encontrado em estuários na sua parte mais interna (Jones *et al.* 2016). Para o presente estudo a zona oligohalina foi a que apresentou maiores valores de turbidez e clorofila *a* e menores valores de transparência. Além da condição oligohalina, essas espécies, para o presente estudo, também mostraram uma tolerância à essas variáveis.

Para o período seco, no qual foram medidos os maiores valores de clorofila *a* e turbidez, Bdelloidea, *Brachionus calyciflorus* e *Apocyclops procerus* tiveram uma correlação forte com esses parâmetros, sendo que a última espécie também teve uma relação positiva com a turbidez. Os dois primeiros organismos tiveram uma forte relação com locais com elevada clorofila, como já foi constatado em outro estudo (Abdul *et al.* 2016), sendo que Bdelloidea e *Brachionus calyciflorus* são tolerantes a poluição e usados para indicar a qualidade da água (Köste 1976; Gannon e Stemberg 1978). Já *Apocyclops procerus*, tem uma alta adaptabilidade a ambientes estuarinos (Guenther *et al.* 2015). Para o presente estudo, este Copepoda tem uma relação positiva com clorofila *a* e turbidez, variáveis que apresentaram valores elevados podendo associar a espécie a ambientes poluídos.

Para o período chuvoso a CCA apresentou um maior número de taxa relacionados com as variáveis hidrológicas. *Paracalanus quasimodo*, *Euterpina acutifrons*, Nauplius de Cirripedia, Nauplius de Calanoida, larva de Polychaeta e *Brachionus plicatilis* tiveram uma forte relação com a zona polihalina, sólidos totais dissolvidos e pH. *Paracalanus quasimodo* possui um comportamento eurihalino marinho, ocorrendo em águas com elevada salinidade (Lopes *et al.* 1998; Sterza e Fernandes 2006; Atique *et al.* 2017), assim como *Euterpina acutifrons* (Neumann-Leitão 1994; Vieira *et al.* 2015; Atique *et al.* 2017) e *Brachionus plicatilis* (Derry *et al.* 2003; Rougier *et al.* 2005; Ferrando *et al.* 2019). Para a zona mesohalina *Oithona Oswaldocruzi*, *Favella ehrenbergii*, Nauplius de Cyclopoida e *Apocyclops procerus* tiveram

relações diretas com a transparência da água e temperatura. Os Copepoda Cyclopoida possuem uma capacidade de se adaptar a diferentes condições dentro de estuários degradados (Drira *et al.* 2017). *Favella ehrenbergii* são organismos que são encontrados em estuários degradados (Silva *et al.* 1996; El-Tohamy *et al.* 2018). *Filinia terminalis*, *Moina micrura*, *Filinia longiseta* e *Brachionus leydigi* apresentaram uma relação com o parâmetro clorofila *a*. Esses organismos são encontrados em estuários degradados e valores elevados de clorofila *a* tendem a ser encontrados nesses locais (Paranaguá *et al.* 2005; Baloch *et al.* 2010; Costa *et al.* 2016). Para a zona oligohalina *Brachionus angularis*, *Brachionus falcatus*, *Brachionus caudatus*, Bdelloidea e *Brachionus calyciflorus* apresentaram uma relação direta com esta área e também com valores elevados da variável turbidez. Existem estudos sobre essas espécies (Silva *et al.* 1996; Costa *et al.* 2016) relacionando-as a ambientes poluídos e sendo utilizadas como indicativo de condições ambientais impactadas.

A NMDS mostrou uma maior similaridade entre a composição de organismos zooplactônicos entre as zonas mesohalina e polihalina, e isso pode estar relacionada aos taxa encontrados nesses locais serem de origem eurihalina (Neumann-Leitão *et al.* 2018).

Os dados da curva de rarefação, mostraram um valor maior da riqueza para a zona oligohalina, local que apresentou uma condição degradada com valores elevados de turbidez e clorofila *a*. Esta zona teve uma maior ocorrência de espécies de Rotifera e isso pode ter influenciado a riqueza nesta zona. A ocorrência de mais espécies de Rotifera nessa área pode ser relacionado ao grau de degradação (Abdul *et al.* 2016) desta zona como também a menor salinidade (Anjusha *et al.* 2018), visto que os nutrientes estão mais concentrados na água em comparação com as zonas meso e polihalina e a partir disso pode explicar esse aumento da riqueza quando comparado com as outras zonas, já que esse grupo responde melhor a condições impactadas (Odum 1988; Rougier *et al.* 2005).

- Bioindicadores

Para o presente estudo, 19 taxa foram indicadores de condições ambientais. *Brachionus angularis*, *Brachionus plicatilis* e *Brachionus caudatus* foram consideradas indicativos para elevada turbidez. Essas espécies são micrófagas, ou seja, alimentam-se de pequenas partículas na água. Para o local estudado, a elevada turbidez pode indicar um alto valor de matéria particulada na água, que favoreceria o surgimento excessivo destas espécies. A turbidez tem uma relação direta com ambientes poluídos e essas espécies já foram associadas a esse tipo de condição (Costa *et al.* 2016; Arruda *et al.* 2017). *Brachionus plicatilis* teve um valor de

indicação (99%) extremamente alto para o período seco. Isto pode estar ligado com o fato de que nesse período as águas do estuário são mais salinas, já que o regime pluvial é menor (Silva *et al.* 1996; Serpe *et al.* 2010), favorecendo a predominância da espécie em detrimento à participação das demais.

Valores altos de indicação para o período chuvoso foram apresentados por *Filinia longiseta* (78%) e *Favella ehrenbergii* (74%). Silva *et al.* (1996) também demonstraram que *Filinia longiseta* ocorrem, principalmente, no período chuvoso. Já *Favella ehrenbergii* em estudo no estuário do rio Sergipe (Araújo e Lucas 2003) também teve uma ocorrência alta no período chuvoso. As espécies *Filinia terminalis*, *Brachionus calyciflorus*, *Filinia longiseta* e *Brachionus falcatus* indicaram condições menos salinas, e este fato tem sido reportado por outros estudos (Silva *et al.* 1996; Wei e Xu 2014; Costa *et al.* 2016; Arruda *et al.* 2017), demonstrando que essas espécies são comuns na parte de estuários com valores baixos de salinidade. Para a zona polihalina, os Nauplius de Cirripedia tiveram alta especificidade para a condição de elevada salinidade. Este grupo é geralmente dominante na maioria dos estuários (Neumann-Leitão 1994/1995; Lopes *et al.* 1998; Vieira *et al.* 2015), principalmente na parte mais próxima ao mar.

Brachionus caudatus, *Brachionus calyciflorus* e *Filinia terminalis* foram associadas a valores elevados de clorofila *a*. Este parâmetro está relacionado a ambientes poluídos (Serpe *et al.* 2010; Zanardi-Lamardo *et al.* 2016) e as espécies citadas foram reportados em outros estudos para essas condições (Costa *et al.* 2016; Arruda *et al.* 2017). Larva de Polychaeta, *Oithona oswaldocruzi* e Nauplius de Cirripedia foram indicativos de altos valores de sólidos totais dissolvidos. Esse parâmetro está diretamente relacionado a alta salinidade e os taxa indicados possuem relação com essa condição (Branco *et al.* 2007; Nogueira Júnior e Oliveira 2017; Atique *et al.* 2017).

Conclusões

O presente estudo permitiu verificar que a salinidade é um dos principais fatores que afetam a comunidade zooplânctonica, além disso os atributos espaciais e sazonais influenciaram na densidade dos grupos taxonômicos estudados para o local da pesquisa. Sazonalmente, o período seco apresentou uma maior densidade de organismos quando comparado ao chuvoso. Parâmetros como clorofila *a* e turbidez também influenciaram essa diferença de densidade entre os períodos. A pesquisa mostrou que na sua maioria as espécies encontradas são comuns de estuários degradados e poluídos. A análise de espécies indicadoras mostrou que os grupos

são na sua maioria de Rotifera e microcrustáceos, confirmando nossa hipótese. Essa indicação demonstrou, através dos taxa indicadores, que o estuário estudado possui em alguns locais variáveis como turbidez e clorofila *a* com valores elevados devido a sua condição poluída. Essa condição é provável estar ligada com o alto grau de degradação do estuário, já que o mesmo está inserido em local urbanizado. O microzooplâncton mostra que tem potencial para valorar a qualidade ambiental de estuários e podem ser utilizados como ferramentas para fazer um diagnóstico ambiental desses locais.

Referências

- Abdul, W.O., Adekoya, E.O., Ademolu, K.O., Omoniyi, I.T., Odulate, D.O., Akindokun, e T.E., Olajide, A.E. (2016). The effects of environmental parameters on zooplankton assemblages in tropical coastal estuary, South-west, Nigeria. *Egypt J Aquat Res* **42**, 281-287.
- Albaina, A.; Villate, e F.; Uriarte, I. (2009). Zooplankton communities in two contrasting Basque estuaries (1999–2001): reporting changes associated with ecosystem health. *Journal of Plankton Research* **31**, 739–752.
- Anjusha, A., Jyothibabu, R., Jagadeesan, L., e Arunpandi, N. (2018). Role of rotifers in microzooplankton community in a large monsoonal estuary (Cochin backwaters) along the west coast of India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 190-295
- Araújo, P.M.H., e Lucas, O.P.A. (2003). Zooplâncton do Estuário do Rio Sergipe: Caracterização e Avaliação da Qualidade Ambiental. Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Biologia, In ‘Anais do Seminário de Pesquisa FAP-SE’, Sergipe.
- Arruda, G.A., Diniz, L.P., Almeida, V.L.S., Neumann-Leitão, S., e Melo Júnior, M. (2017). Rotifer community structure in fish-farming systems associated with a Neotropical semiarid reservoir in north-eastern Brazil. *Aquaculture Research* **48**(1), 4910-4922.
- Atique, P., Costa, K.G., Monteiro, M.C., Pereira, L.C.C., e Costa, R.M. (2017). Copepod assemblages in a highly dynamics equatorial estuary on the Brazilian Amazon Coast, *Marine Ecology* **1**, 1-14.
- Baloch, W. A., Tunio, G. R., Noonari, S., e Noonari, I. B. (2010). Occurrence of zooplankton (Rotifera and Cladocera) in some water bodies near Jamshoro. *Sindh Univ. Res. J. (Sci. Ser.)* **42**(1), 31-34.
- Baumgarten, M.G.Z., ROCHA, J.M.B., e NIENCHESKI, L.F.H. (1996). ‘Manual de análises em Oceanografia Química.’ (Ed. FURG).

- Björnberg, T. K. S. Copepoda. In: D. Boltovskoy, (Ed.). Atlas del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajos con el zooplancton marino. Mar del Plata: UNIDEP, 1981. p.587-679.
- Boltovskoy, D. (1981). 'Atlas del zooplancton el Atlántico sudoccidental y metodos de trabajos con el zooplancton mariño'. Mar del Plata, INIDEP, 936p.
- Boltovskoy, D. (1999) 'South Atlantic Zooplankton'. (Leiden: Backhuys), 1706p.
- Branco, C.W.C., Kozłowsky-Suzuki, B., e Esteves, F.A. (2007). Environmental changes and zooplankton temporal and spatial variation in a disturbed Brazilian coastal lagoon. *Brazilian Journal of Biology* **67**, 251–262.
- Calbet, A., e Landry, M. R. (2004). Phytoplankton growth, micro- zooplankton grazing, and carbon cycling in marine systems. *Limnology Oceanograph* **49**, 51–57.
- Chao, A., Gotelli, N.J., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K., e Ellison, A.M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs* **84**, 45– 67.
- Cloern, J.E., Schraga, T.S., Nejad, E., Martin, C. (2020). Nutrient Status of San Francisco Bay and Its Management Implications. *Estuaries and Coasts* **43**, 1299-1317.
- Costa, B.N.S., Pinheiro, S.C.C., Amado, L.L., e Oliveira Lima, M de. (2016a). Microzooplankton as a bioindicator of environmental degradation in the Amazon. *Ecological Indicators* **61**, 526–545.
- Cutrim, M.V.J., Ferreira, F.S., Santos, A.K.D., Cavalcanti, L.F., Araújo, B.O., Azevedo Cutrim, A.C.G., Furtado, J.A., e Oliveira, A.L.L. (2019). Trophic state of an urban coastal lagoon (northern Brazil), seasonal variation of the phytoplankton community and environmental variables. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **216**, 98–109.
- Dajoz, R. (1983) 'Ecologia geral 3'. (Ed. Petrópolis): vozes, 474p.
- De-Carli, B. P., Albuquerque, F. P., Moschini-Carlos, V., e Pompêo, M. (2018). Comunidade zooplanctônica e sua relação com a qualidade da água em reservatórios do Estado de São Paulo. *Iheringia, Série Zoologia*, **108**, e2018013.
- Derry, A.M., Prepas, E.E., e Hebert, P.D.N. (2003). A comparison of zooplankton communities in saline lakewater with variable anion composition. *Hydrobiologia* **505**, 199-215.
- Drira, Z., Kmiha-Megdiche, S., Sahnoun, H., Tedetti, M., Pagano, M., e Ayadi, H. (2017). Copepod assemblages as a bioindicator of environmental quality in three coastal areas under contrasted anthropogenic inputs (Gulf of Gabes, Tunisia). *J. Mar. Biol. Assoc. U. K* **98**(8), 1889-1905.

- Dufrene, M., e Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, Ithaca **67**(3), 345-366.
- Elmoor-Loureiro, L.M.A. (1997). 'Manual de identificação de cladóceros límnicos do Brasil'. Brasília: Universa, 156p.
- El-Tohamy, W.S., Hopcroft, R.R., e Abdel Aziz, N.E.M. (2018). Environmental determinants of zooplankton community in the Damietta Estuary of the Nile River, Egypt. *Pak J Zool* **50**, p. 1785–1798.
- Eskinazi-Leça, E., Neumann-Leitão, S., e Costa, M.F. (2004). 'Oceanografia um cenário tropical'. Recife, (Ed. Bagaço), 500p.
- Ferdous, Z., e Muktadir, A. K. M. (2009). A Review: Potentiality of Zooplankton as Bioindicator. *American Journal of Applied Sciences* **6**(10), 1815–1819.
- Ferrando. N. S., Nandini. S., Claps. M. C., e Sarma. S. S. S. (2019). Effect of salinity and food concentration on competition between *Brachionus plicatilis* Müller, 1786 and *Brachionus calyciflorus* Pallas, 1776 (Rotifera). *Marine and Freshwater Research* **71**(4), 493-504.
- Gao, Q., Xu, Z.L., e Zhang, P. (2008). The relation between distribution of zooplankton and salinity in the Changjiang Estuary. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* **26**, 178–185.
- Gannon, J. E., e Stemberger, R. S. (1978), Zooplankton (specially crustacean and rotiferan) as indicators of water quality. *Trans. Am. Micr. Soc* **91**, 16-35.
- Glibert, P. M. (2017). Eutrophication, harmful algae and biodiversity: challenging paradigms in a world of complex nutrient changes. *Marine Pollution Bulletin* **2**: 591-606.
- Guenther, M., Durst, R., Felismino, W. S., Pessoa, V.T., e Neumann-Leitão, S. (2015). Feeding ecology of *Apocyclops procerus* (copepoda, cyclopoida) under experimental conditions. *Crustaceana* **88**(3), 283-297.
- Guenther, M., Araújo, M., Noriega, C., Flores-Montes, M., Gonzalez-Rodriguez, E., e Neumann-Leitão, S. (2017a). Plankton carbon metabolism and air–water CO₂ fluxes at a hypereutrophic tropical estuary. *Marine Ecology* **38**(2), 1-12.
- Guenther, M, C., Costa, A. E. S. F., Pessoa-Fidelis, V. T., e Neumann-Leitão, S. (2019). Seasonal variations in plankton trophic structure under highly eutrophic conditions. *Marine and Freshwater Research* **71**(6), 641-652.

- Hemraj, D.A., Hossain, M.A., Ye, Q., Qin, J.G., e Leterme, S.C. (2017) Plankton bioindicators of environmental conditions in coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **184**, 102–114.
- Holt, E.A., e MILLER, S.W. (2011). Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts. *Nature Education Knowledge* **3**(10), 8.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., e Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, **7**(12), 1451–1456.
- Hwang, J.S., Kumar, R., Hsieh, C.W., Kuo, A.Y., Souissi, S., e Hsu, M.H. (2010). Patterns of zooplankton distribution along the marine, estuarine and riverine portions of the Danshuei ecosystem in northern Taiwan. *Zool. Studies* **49**(3), 335-352.
- Idso, S. B., e Gilbert, R. G. (1974). On the universality of the Poole and Atkins Secchi disk-light extinction equation. *J. Appl. Ecol.* **11**, 399–401.
- Jha, B. K., Mohan, S.S., Mol, A. A., Moses, R., e Babu, M. B. (2014). Diversity and Ecological Phytoplankton in Manakudy Estuary Kanyakumari, Tamilnadu, India. *International Journal of Pure and Applied Zoology*, **2**(4), 308-314.
- Jespersen A.M., e Christoffersen, K. (1987). Measurements of chlorophyll a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent. *Archiv für Hydrobiologie*, **109**, 445-454.
- Jones, S., Perissinotto, R., Carrasco, N.K., e Vosloo, A. (2016) Impact of a flood event on the zooplankton of an estuarine lake. *Marine Biology Research* **12**(2), 1–10.
- Kennedy, V.S., Twilley, R.R., Kleypas, J.A., Cowan JR, J.H., e Hare, S.R. (2002). ‘Coastal and Marine Ecosystems and Global Climate Change’. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA, 64 pp.
- Köste, W. (1976). Über die Riidertierbestände (Rotatoria) der oberen und mittleren Hase in den Jahren 1966-1969. *Osnabriicker Naturw. Mitt.* **4**, 191-263.
- Köste, W. (1978). ‘Rotatoria: die Rädertiere Mitteleuropas Ein Bestimmungswerk begründet von Max Voigt’. Berlin: (Gebrüder Borntraeger). 637p
- Lopes, R. M., Vale, R., e Brandini, F. P. (1998). Composição, abundância e distribuição espacial do zooplâncton no complexo estuarino de Paranaguá durante o inverno de 1993 e o verão de 1994. *Rev. Bras. Oceanogr* **46**(2), 195-211.
- López-Abbate, M.C., Barría de Cao, M.S., Pettigrosso, R.E., Guinder, V., Dutto, M.S., Berasategui, A.A., Chazarreta, C.J., Hoffmeyer, M.S., (2016). Seasonal changes in

microzooplankton feeding behavior under varying eutrophication level in the Bahía Blanca estuary (SW Atlantic Ocean). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **481**, 25-33.

Lowe, C. D., Kemp, S. J., Bates, A. D., e Montagnes, D. J. S. (2005). Evidence that the rotifer *Brachionus plicatilis* is not an osmoconformer. *Marine Biology* **146**, 923–929.

Kress, N., Coto, S.L., Brenes, C.L., Brenner, S., e Arroyo, G. (2002). Horizontal transport and seasonal distribution of nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll a in the Gulf of Nicoya, Costa Rica: a tropical estuary. *Cont. Shelf Res.* **22**, 51–66.

Matsumura-Tundisi, T., Tundisi, J. G. (2003). Calanoida (Copepoda) species composition changes in the reservoirs of São Paulo State (Brazil) in the last twenty years. *Hydrobiologia* **504** 215–222.

Marques, S. C., Azeiteiro, U. M., Martinho, F., e Pardal, M. A. (2007). Climate variability and planktonic communities: the effect of an extreme event (severe drought) in a southern European estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **73**, 725–734.

Martins, A. L. P., Lopes, M. J. S., e Melo, O. T. (2006). Zooplâncton como bioindicador da qualidade ambiental no estuário do rio do Anil, São Luis-MA. *Boletim do laboratório de Hidrobiologia* **19**, 51-60.

Melo-Magalhães, E.M., Moura, A.N., Medeiros, P.R.P., Koenig, M.L., (2016). Microphytoplankton biomass and trophic state of the estuarine region of São Francisco River (Northeastern Brazil). *Braz. J. Aquat. Sci. Technol* **20** (2), 51–62.

Minguez, J., Maris, T., Tackx, M., Gers, C., Meire, P., e Legal, L. (2020). Genetics of the estuarine copepod *Eurytemora affinis* with regard to improving water quality. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **246**, 107037.

Modéran, J., Bouvais, P., David, V., Noc, S.L., Bouhet, B.S., Niquil, N., Miramand, P., e Fichet, D. (2010). Zooplankton community structure in a highly turbid environment (Charente estuary, France): spatio-temporal patterns and environmental control. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **88**, 219–232.

Morley, S.A., Toft, J.D., e Hanson, K.M. (2012). Ecological Effects of Shoreline Armoring on Intertidal Habitats of a Puget Sound Urban Estuary. *Estuaries and Coasts* **35**(3), 774-784.

Neumann-Leitão, S., Gusmão, L.M.O., Nascimento-Vieira, D.A., Paranhos, J.D.N. (1994/1995). Zooplâncton da área estuarina do rio Formoso - PE. *Trabalhos Oceanográficos* **23**, 55-64.

- Neumann-Leitão, S. (1995). Resenha Literária Sobre Zooplâncton Estuarino no Brasil. *Trab. Oceanogr.* **23**, 25-53.
- Neumann-Leitão, S., Souza, M.R.M., Porto Neto, F.F., Moura, M.C.O., Silva, A.P. e Gusmão, L.M.O. (1999). Zooplâncton do estuário do rio São Francisco, Nordeste do Brasil. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal do Pernambuco* **27**(1), 33-54.
- Neumann-Leitão, S., Melo, P.A.M.C., Schwamborn, R., Diaz, X.F.G., Figueiredo, L.G.P., Silva, A.P., Campelo, R.P.S., de Melo Júnior, M., Melo, N.F.A.C., Costa, A.E.S.F., Araújo, M., Veleda, D.R.A., Moura, R.L., e Thompson, F. (2018). Zooplankton from a reef system under the influence of the Amazon River plume. *Front. Microbiol.* **9**, 1-15.
- Newell, G. E., e Newell, R. C. (1963). '(Eds.). Marine plankton a practical guide'. London: Hutchinson Educat. Ltd. 221p.
- Nixon, S.W. (1995). Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia.* **41**(1), 199-21.
- Nogueira Júnior, M., Oliveira, V.M. (2017). Strategies of plankton occupation by polychaetes assemblages in a subtropical estuary. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* **97**, 1651–1661.
- Odum, W.E. (1988). Comparative ecology of tidal freshwater and salt marshes. *Annual Review of Ecology and Systematics* **19**, 147–176.
- Paranaguá, M. N., Neumann-Leitão, S., Nogueira-Paranhos, J. D., Silva, T. A., e MatsumuraTundisi, T. (2005). Cladocerans (Branchiopoda) of a tropical estuary in Brazil. *Brazilian Journal of Biology* **65**, 107-115.
- Prasad, M.B.K., Maddox, M.C., Sood, A. e Kaushal, S. (2014). Nutrients, chlorophyll and biotic metrics in the Rappahannock River estuary: Implications of urbanisation in the Chesapeake Bay watershed, USA. *Mar. Freshw. Res* **65**: 475-485.
- Rose, T. H., Tweedley, J. R., Warwick, R. M., e Potter, I. C. (2019). Zooplankton dynamics in a highly eutrophic microtidal estuary. *Marine Pollution Bulletin* **142**, 433-451.
- Rougier, C., Parriot, R., Lam-Hoai, T., Guiral, D. (2005). Ecological patterns of the rotifer communities in the Kaw River Estuary (French Guiana). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **63** (1-2), 83-91.
- Salvador, B., Bersano, J.G.F. (2017). Zooplankton variability in the subtropical estuarine system of Paranaguá Bay, Brazil, in 2012 and 2013. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **199**, 1-13.

Schettini, C.A.F., Paiva, B.P., Batista, R.A.L., Oliveira Filho, J.C., e Truccolo, E.C. (2016b). Observation of an estuarine turbidity maximum in the highly impacted Capibaribe estuary, Brazil. *Braz. J. Oceanogr.* **64**, 185–190.

Scourfield, J. D., e Harding, J. P. (1966). 'A Key to the British Species of Freshwater Cladocera: With Notes on Their Ecology.' (Freshwater Biological Association), 55p.

Serpe, F. R., Adloff, C. T., Crispim, M. C., e De Medeiros Rocha, R. (2010). Comunidade zooplanctônica em um estuário hipersalino no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, **5**(3), 51-73, 2010.

Setubal, R. B., Nascimento, R. A., e Bozelli, R. L. (2020). Zooplankton secondary production: main methods, overview and perspectives from Brazilian studies. *Int Aquat Res* **12**, 85–99.

Sieburth, J.M., Smetacek, V., Lenz, J. (1978). Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology Oceanograph* **23**, 1256-1263.

Silva, J.P.S. (2003) Sedimentologia, batimetria, qualidade da água e vulnerabilidade do rio Capibaribe na cidade do Recife-PE. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Silva, T. A., Paranaguá, M. N., Neumann-Leitão, S., e Nogueira-Paranhos, J. D. (1996). Zooplâncton do estuário do rio Capibaribe - PE (Brasil). *Trab. Oceanog. Univ. Fed. PE*, **24**: 97-102.

Simó, R., Saló, V., Almeda, R., Movilla, J., Trepal, I., Saiz, E., Calbet, A., (2018). The quantitative role of microzooplankton grazing in dimethylsulfide (DMS) production in the NW Mediterranean. *Biogeochemistry* **141**, 125–142.

Sousa-Pereira, P. E., e Camargo, A. F. M. (2004). Efeito da salinidade e do esgoto orgânico sobre a comunidade zooplanctônica, com ênfase nos Copepoda, do estuário do rio Itanhaém, Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, Maringá **26** (1), 9-17.

Sterza, J. M., e L. L. Fernandes, (2006). Zooplankton community of the Vitória Bay estuarine system (Southeastern Brazil). Characterization during a three-year study. *Brazilian Journal of Oceanography* **54**(2/3), 95-105.

- Strom, S.L., Fredrickson, K.A., e Bright, K.J. (2019). Microzooplankton in the coastal Gulf of Alaska: regional, seasonal and interannual variations. *Deep Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography* **165**, 192-202.
- Tomczak, M.T., Heymans, J.J., Yletyinen, J., Niiranen, S., Otto, S.A., e Blenckner, T. (2013). Ecological network indicators of ecosystem status and change in the Baltic sea. *Plos One* **8**(10), 1-11.
- Toumi, N., Ayadi, H., Abid, O., Carrias, J., Sime-Ngando, T., Boukhris, M., e Bouain, A. (2005). Zooplankton distribution in four ponds of different salinity: a seasonal study in the solar salterns of Sfax (Tunisia). *Hydrobiologia* **534**, 1-9.
- Uriarte, I., e Villate, F. (2005). Differences in the abundance and distribution of copepods in two estuaries of the Basque coast (Bay of Biscay) in relation to pollution. *Journal of Plankton Research* **27**(9), 863-874.
- Vezi, M., Downs, C.T., Wepener, V., O'Brien, G. (2019). Response of zooplankton communities to altered water quality and seasonal flow changes in selected river dominated estuaries in KwaZulu-Natal, South Africa. *Ecohydrology and Hydrobiology* **19**(3), 393-406
- Vieira, L. R., Guilhermino, L., e Morgado, F. (2015). Zooplankton structure and dynamics in two estuaries from the Atlantic coast in relation to multi-stressors exposure. *Estuar. Coast. Shelf Sci* **167**, 347-367.
- Wei, N., e Xu, R. (2014). Distinct difference of littoral rotifer community structure in two mangrove wetlands of Qi'ao Island, Pearl River estuary, China. *Zoological Studies*, **53**, 30.
- Wintermans JF, de Mots A. (1965). Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their pheophytins in ethanol. *Biochim Biophys Acta* **109**(2), 448-453.
- Zanardi-Lamardo, E., Nobrega, A.S.C., Santos, R.H.A., e Maciel, D.C. (2016). Fontes e níveis de contaminação do sistema estuarino do rio Capibaribe (Pernambuco/Brasil). *Trop. Oceanogr.* **44**, 118-131.