

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

INGRID ELLISSA KASPRZAK

OCORRÊNCIA E VARIAÇÃO TEMPORAL DO COPÉPODE *TEMORA TURBINATA*
(DANA, 1849) NAS PROXIMIDADES DA ILHA DAS PEÇAS - COMPLEXO
ESTUARINO DE PARANAGUÁ – PR.

PONTAL DO PARANÁ

2022

INGRID ELLISSA KASPRZAK

OCORRÊNCIA E VARIAÇÃO TEMPORAL DO COPÉPODE *TEMORA TURBINATA*
(DANA, 1849) NAS PROXIMIDADES DA ILHA DAS PEÇAS - COMPLEXO
ESTUARINO DE PARANAGUÁ – PR.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Oceanografia, Campus Pontal do Paraná – Centro de Estudos do Mar, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. José Guilherme Bersano Filho

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Andrielli Maryan Medeiros

PONTAL DO PARANÁ

2022

Ingrid Ellissa Kasprzak

OCORRÊNCIA E VARIAÇÃO TEMPORAL DO COPÉPODE *Temora turbinata* (DANA, 1849) NAS PROXIMIDADES DA ILHA DAS PEÇAS - COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ – PR./ Ingrid Ellissa Kasprzak. – Pontal do Paraná, 2022-

50 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. José Guilherme Bersano Filho

Monografia – Universidade Federal do Paraná, 2022.

1. *Temora turbinata*; Bioinvasor; CEP

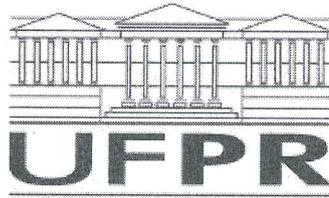
I. Orientador: Prof. Dr. José Guilherme Bersano Filho.

II. Universidade Federal do Paraná

III.

IV. OCORRÊNCIA E VARIAÇÃO TEMPORAL DO COPÉPODE *Temora turbinata* (DANA, 1849) NAS PROXIMIDADES DA ILHA DAS PEÇAS - COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ – PR.

CDU 02:141:005.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE OCEANOGRAFIA
Avenida Deputado Aníbal Khury, 2033, - Bairro Balneário Pontal do Sul, Pontal do Paraná/PR, CEP 83255-976
Telefone: (41) 3511-8626 - <http://www.ufpr.br/>

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

Ingrid Ellissa Kasprzak

“OCORRÊNCIA E VARIAÇÃO TEMPORAL DO COPÉPODE *Temora turbinata* (DANA, 1849) NAS PROXIMIDADES DA ILHA DAS PEÇAS - COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ - PR”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Prof. Dr. José Guilherme Bersano Filho
Prof. Orientador - Centro de Estudos do Mar (CPP-CEM) - UFPR

Profa. Dra. Andrielli Maryan Medeiros
Coorientadora - Universidade Regional de Joinville (Univille)

Prof. Dr. Luiz Laurenno Mafra Júnior
Centro de Estudos do Mar (CPP-CEM) - UFPR

Me. Bianca Salvador
Pesquisadora na Fundação Espírito-Santense de Tecnologia (FEST)

Pontal do Paraná, 16 de setembro de 2022

Ao capitão do navio que estava determinado a chegar na Noruega.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão à minha família. Aos meus pais, Shirlei e Luiz, e ao meu irmão, Niko, por estarem sempre ao meu lado, com apoio incondicional em todos os momentos.

Aos meus queridos amigos de faculdade, Sabrina, Lavínia, Laís, Paloma, Luiz, Karol e Gabi, pelos incontáveis almoços no RU, pelas madrugadas compartilhadas entre surtos e trabalhos, e pela amizade sincera que tornou a experiência em Pontal muito mais leve e suportável.

Às minhas amigas da escola, Mili, Bru, e principalmente Thai, por estarem sempre dispostas a sair e garantir boas risadas. A amizade de vocês é um refúgio leve e cheio de alegria.

Ao Núcleo Educacional de Tecnologia, que me proporcionou oportunidades durante a pandemia, e ao grupo "Oceano, o quê?" que me conectou ao mar em tempos tão incertos. Vocês abriram portas e mantiveram viva minha paixão pelo oceano.

Aos meus orientadores e a todos os professores do CEM que, ao longo da minha jornada, ensinaram e apoiaram de maneiras fundamentais.

Por fim, ao Caio, que desde o início me deseja bom dia e me atura com uma paciência inexplicável. Agradeço por toda a ajuda e companheirismo durante este percurso.

E, com saudade, agradeço àquele de quem sinto mais falta: Kowalsky, que nos deixou, mas permanece em minha memória. Olhar pela janela traz o desejo de te chamar, na esperança de te ver olhando de volta para mim.

*"Sometimes I'll start a sentence, and I don't even know where it's going.
I just hope I find it along the way.
Like an improv conversation.
An improvisation."
- Michael Scott, The Office, T5S1*

RESUMO

Os estuários são ecossistemas de grande importância ecológica, servindo como berçários naturais para diversas espécies e sendo considerados um dos ambientes mais produtivos do planeta. O zooplâncton, especialmente os copépodes, desempenha um papel crucial nesses ambientes, representando a base alimentar para larvas e juvenis de peixes e invertebrados. No Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), no sul do Brasil, a espécie invasora *Temora turbinata* tem se tornado cada vez mais recorrente, destacando-se pela sua alta abundância. Este estudo teve como objetivo descrever a ocorrência, abundância e variação temporal de *T. turbinata* nas proximidades da Ilha das Peças, identificando os fatores ambientais e meteorológicos que contribuem para sua distribuição. Foram realizadas expedições embarcadas entre novembro de 2016 e janeiro de 2018, totalizando 74 arrastos, sendo 35 de superfície e 39 de fundo. As amostras de zooplâncton foram coletadas com uma rede cilíndrica-cônica (malha de 300 μm , diâmetro de boca de 0,5 m), preservadas em solução de formaldeído tamponado a 4% , e analisadas em laboratório. Dados ambientais, como temperatura, salinidade e clorofila-a, foram medidos com o auxílio de um CTD (*JFE ALEC Compact-CTD*) antes dos arrastos. Os resultados mostraram uma variação sazonal na temperatura da água (20-29 °C), sem grandes diferenças entre as temperaturas de superfície e fundo. Salinidades mais elevadas (máximo de 32) e concentrações de clorofila-a foram registradas no fundo, sugerindo a intrusão de água marinha. A estratificação térmica foi mínima, com média de $0,07 \pm 0,05$ °C, enquanto a estratificação salina apresentou uma média de $0,46 \pm 0,30$. Os ventos predominantes vieram do Sul-Sudeste, e a precipitação variou entre períodos de seca e chuva, influenciando as condições hidrológicas do estuário. A maior densidade de *T. turbinata* foi observada em períodos de menor precipitação, quando a salinidade era mais alta. A espécie foi mais abundante no fundo, onde alcançou um pico de $4142,34 \text{ ind.m}^{-3}$ em setembro de 2017. Os resultados indicaram que a precipitação e a salinidade foram os principais fatores que influenciaram a densidade de *T. turbinata* no fundo, enquanto a salinidade foi determinante na superfície. Esses achados sugerem que *T. turbinata* é uma espécie euhalina, bem adaptada a ambientes com salinidade elevada e temperaturas amenas. Embora a causa exata da introdução da espécie no CEP permaneça desconhecida, os resultados indicam que ela tem se adaptado com sucesso ao estuário.

Palavras-chaves: *Temora turbinata*; Bioinvasor; CEP

ABSTRACT

Estuaries are ecologically significant ecosystems, serving as natural nurseries for various species and are considered among the most productive environments on the planet. Zooplankton, especially copepods, play a crucial role in these environments, representing the primary food source for larvae and juveniles of fish and invertebrates. In the Paranaguá Estuarine Complex (PEC) in southern Brazil, the invasive species *Temora turbinata* has become increasingly recurrent, standing out due to its high abundance. This study aimed to describe the occurrence, abundance, and temporal variation of *T. turbinata* around Ilha das Peças, identifying the environmental and meteorological factors contributing to its distribution. Field expeditions were conducted between November 2016 and January 2018, totaling 74 hauls, with 35 surface hauls and 39 bottom hauls. Zooplankton samples were collected using a cylindrical-conical net (300 μm mesh, 0.5 m mouth diameter), preserved in 4% buffered formaldehyde, and analyzed in the laboratory. Environmental data, such as temperature, salinity, and chlorophyll-a, were measured with the help of a CTD (JFE ALEC Compact-CTD) before each haul. The results showed seasonal variation in water temperature (20-29 $^{\circ}\text{C}$), with no significant differences between surface and bottom temperatures. Higher salinities (maximum of 32) and chlorophyll-a concentrations were recorded at the bottom, suggesting the intrusion of marine waters. Thermal stratification was minimal, with a mean of $0.07 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$, while salinity stratification had a mean of 0.46 ± 0.30 . Predominant winds came from the South-Southeast, and precipitation varied between dry and rainy periods, influencing the estuary's hydrological conditions. The highest density of *T. turbinata* was observed during periods of low precipitation, when salinity was higher. The species was more abundant at the bottom, peaking at $4142.34 \text{ ind.m}^{-3}$ in September 2017. The results indicated that precipitation and salinity were the main factors influencing *T. turbinata* density at the bottom, while salinity was the key factor at the surface. These findings suggest that *T. turbinata* is a euryhaline species, well-adapted to environments with high salinity and mild temperatures. Although the exact cause of the species' introduction into the PEC remains unknown, the results indicate that it has successfully adapted to the estuary.

Key-words: *Temora turbinata*; Bioinvasive; CEP

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - PONTO FIXO NA ILHA DAS PEÇAS.	21
FIGURA 2 – DENSIDADE DA <i>TEMORA TURBINATA</i> EM UM PONTO FIXO DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ PRÓXIMO À ILHA DAS PEÇAS, DURANTE O PERÍODO DE NOVEMBRO DE 2016 A JANEIRO DE 2018.	27
FIGURA 3 – GRÁFICO DE RELAÇÃO COM A ALTURA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO COM A TEMPERATURA DO AR.	28
FIGURA 4 – ROSAS DOS VENTOS MENSAIS PARA O PERÍODO DE JANEIRO DE 2017 A DEZEMBRO DE 2017 PARA A ESTAÇÃO ILHA DO MEL	29
FIGURA 5 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 21 DE FEVEREIRO DE 2017.	30
FIGURA 6 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 03 DE MARÇO DE 2017.	31
FIGURA 9 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 29 DE SETEMBRO DE 2017.	31
FIGURA 7 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 14 DE JUNHO DE 2017.	32
FIGURA 8 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 04 DE ABRIL DE 2017.	33
FIGURA 10 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 27 DE JANEIRO DE 2017.	34
FIGURA 11 – VALORES MÉDIOS DE CLOROFILA-A DO MAR DOS DIAS DE COLETA REGISTRADOS NO PONTO PRÓXIMO À ILHA DAS PEÇAS, DURANTE O PERÍODO DE NOVEMBRO DE 2016 A JANEIRO DE 2018.	35
FIGURA 12 – EFEITOS DAS VARIÁVEIS SELECIONADAS PELO MODELO ADITIVO GENERALIZADO ANALISANDO A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE FUNDO ONDE (A) PRECIPITAÇÃO E (B) MÉDIA DA SALINIDADE DE FUNDO.	36
FIGURA 13 – EFEITO DA VARIÁVEL SELECIONADA PELO MODELO ADITIVO GENERALIZADO ANALISANDO A INFLUÊNCIA DA SALINIDADE DE SUPERFÍCIE COM A DENSIDADE DO COPÉPODE <i>T. TURBINATA</i>	37

FIGURA 14 – RELAÇÃO DA DENSIDADE DE FUNDO DE <i>T. TURBINATA</i> COM AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE FUNDO, SALINIDADE DE TEMPERATURA.	37
FIGURA 15 – RELAÇÃO DA DENSIDADE DE SUPERFÍCIE DE <i>T. TURBINATA</i> COM AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE FUNDO, SALINIDADE DE TEMPERATURA.	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DATAS DE COLETAS COM A FASE DA LUA, QUANTIDADE DE ARRASTO, MARÉ E TEMPO MÉDIO DE ARRASTO.	23
TABELA 2 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E MÁXIMOS E MÍNIMOS DAS DENSIDADES DOS PARÂMETROS ABIÓTICOS DA COLUNA D'ÁGUA E DE FUNDO.	28
TABELA 3 – INDICATIVO DAS VARIÁVEIS ACEITAS PARA O MODELO ADITIVO GENERALIZADO, PARA SUPERFÍCIE E PARA O FUNDO COM O <i>p-value</i> e <i>Deviance explained</i> (DE).	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVO GERAL	15
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2	ÁREA DE ESTUDO	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	AMOSTRAGEM DE ZOOPLÂNCTON	22
3.2	ANÁLISE E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS	23
3.3	DADOS AMBIENTAIS	23
3.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	25
4	RESULTADOS	27
4.1	ZOOPLÂNCTON E VARIÁVEIS AMBIENTAIS	27
4.1.1	INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA OCORRÊNCIA E VARI- AÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DE <i>T. TURBINATA</i>	33
5	DISCUSSÃO	39
5.1	ZOOPLÂNCTON E VARIÁVEIS AMBIENTAIS	39
6	CONCLUSÕES	43
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Os estuários encontram-se na interface entre o oceano e a terra, formando pontos de encontro e interação contínua entre a água salgada do mar e o fluxo de água doce proveniente da descarga dos principais rios (SCHUMANN et al., 1999). A hidrodinâmica estuarina é fortemente influenciada pela estrutura do canal, transporte de sedimentos, bem como por fatores como o vento, ondas, entradas antropogênicas e processos bióticos (SCHUMANN et al., 1999). Além de sua complexa dinâmica física, os estuários são reconhecidos como berçários naturais cruciais e um dos ecossistemas mais produtivos do planeta (KENNISH, 2003; HOBBS et al., 2006).

A variabilidade espacial e temporal das populações e comunidades estuarinas é amplamente condicionada por fatores como o clima, regimes de escoamento e dinâmica oceânica, que influenciam mudanças nos nutrientes, produção primária e sedimentos (MALLIN et al., 1993; HEIP et al., 1995). Alterações sazonais, incluindo as causadas pelo fluxo de água doce, intensidade do vento e ondas, têm um impacto substancial na circulação estuarina (SCHUMANN et al., 1999).

Dentro desses ecossistemas, o zooplâncton desempenha um papel vital como principal consumidor primário. Definido como um conjunto de protistas e animais não fotossintéticos (metazoários), o zooplâncton é um grupo taxonomicamente diverso, variando de formas unicelulares a pequenos vertebrados (GASCA et al., 1996; LENZ, 2000; BONECKER et al., 2002). Esses organismos podem ser classificados de acordo com o tempo de vida no plâncton: os holoplanctônicos têm um ciclo de vida permanentemente planctônico, enquanto os meroplanctônicos passam apenas parte da vida na comunidade planctônica.

O papel ecológico do zooplâncton nos estuários é essencial, pois eles ocupam uma posição-chave na teia trófica, transferindo energia dos produtores primários para consumidores de níveis tróficos superiores (LENZ, 2000; AVILA et al., 2009). Além disso, o zooplâncton é fundamental para os ciclos biogeoquímicos e contribui significativamente para a alimentação de larvas de peixes, auxiliando na manutenção de estoques pesqueiros (RICHARDSON, 2008; LENZ, 2000).

Entre os zooplânctons, os copépodes representam mais de 70% da abundância do mesozooplâncton (BRADFORD-GRIEVE et al., 1999), especialmente os da ordem Calanoida, conhecidos por sua biomassa significativa em ambientes marinhos (MAUCLINE, 1998). Devido à sua alta abundância e ciclo de vida curto, os copépodes são frequentemente utilizados como indicadores em estudos ecológicos e de monitoramento ambiental (LIN et al., 2011).

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) é um dos principais ecossistemas costeiros da região sul-sudeste do Brasil, com importância econômica ligada às atividades pesqueiras, urbanas, turísticas e industriais (MARTINS et al., 2010). No CEP, o zooplâncton, dominado por copépodes da ordem Calanoida (MONTÚ; CORDEIRO, 1988; LOPES et al., 1998; SALVADOR; BERSANO, 2017), ainda é pouco estudado.

Entre os copépodes, a espécie *Temora turbinata* (Dana, 1849) é amplamente distribuída em águas tropicais, subtropicais e temperadas, sendo um componente comum das comunidades mesozooplanctônicas superficiais (ARA K, 2002; HWANG et al., 2004). *T. turbinata* é predominantemente encontrada em várias regiões do mundo, incluindo as águas costeiras brasileiras (SANT'ANNA, 2013). No entanto, no Complexo Estuarino de Paranaguá, a *T. turbinata* é considerada uma espécie invasora, tendo seu primeiro registro na região em 1980 (ARAÚJO; MONTÚ, 1993). O mecanismo de bioinvasão proposto para *T. turbinata* no CEP pode incluir transporte por correntes marítimas ou introdução antropogênica através de águas de lastro.

Além de sua distribuição, *T. turbinata* apresenta características fisiológicas e comportamentais particulares, incluindo um ciclo de vida relativamente curto e uma capacidade significativa de migração vertical diária, que influencia diretamente a densidade de suas populações em diferentes estratos da coluna d'água, especialmente em contextos estuarinos com variações de salinidade e temperatura. Esta migração vertical é essencial para entender sua dinâmica populacional e sua interação com outros componentes bióticos e abióticos no estuário, influenciando os resultados de densidade observados por estrato da coluna d'água discutidos posteriormente.

Essas características tornam a *T. turbinata* uma espécie de interesse tanto do ponto de vista ecológico quanto do monitoramento ambiental, dada sua capacidade de adaptação e potencial impacto sobre as comunidades nativas e os processos ecológicos estuarinos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Até a década de 1980, não havia nenhum registro do copépode *Temora turbinata* no Brasil. Até então, a única espécie conhecida nas águas brasileiras era a *Temora stylifera*. A partir de amostras coletadas nos anos de 1985 e 1986, Araújo e Montú (1993) observaram *T. turbinata* pela primeira vez em estuários do estado de Sergipe, marcando o início de sua dispersão ao longo da plataforma continental brasileira. Desde então, registros de sua presença têm se tornado cada vez mais frequentes, sugerindo um processo contínuo de estabelecimento dessa espécie ao longo da costa.

Segundo o *The World Conservation Union-IUCN*. . . (2000), espécies exóticas são aquelas que estão fora de sua área de distribuição natural e têm potencial de

se estabelecer em novas regiões, onde não ocorreriam sem intervenção humana direta ou indireta. Essas espécies introduzidas podem ou não se tornar invasoras, dependendo de sua interação com o novo ambiente. Espécies exóticas invasoras são preocupantes por sua capacidade de ameaçar a diversidade biológica nativa (IUCN. . . , 2000). Globalmente, as espécies invasoras estão entre as principais causas de perda de biodiversidade e podem provocar mudanças substanciais na estrutura e função dos ecossistemas (CARLTON, 1996; RUIZ et al., 1999; MACK et al., 2000; HOLLEBONE; HAY, 2008).

A introdução de *T. turbinata* na costa brasileira é frequentemente atribuída ao transporte por água de lastro de navios mercantes (ORSI et al., 1983). A rápida disseminação da espécie pode ser explicada tanto pela adaptação às condições físico-químicas similares às de sua região de origem em águas tropicais e subtropicais quanto por possíveis mudanças nas comunidades nativas que poderiam favorecer a nova espécie (GONZÁLEZ; BOWMAN, 1965; BRADFORD, 1977).

Embora atualmente *T. turbinata* seja considerada uma espécie estabelecida na costa brasileira, existem poucas informações sobre sua distribuição e variação temporal em diferentes ecossistemas estuarinos, como o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). Entender a dinâmica populacional e a variação temporal desta espécie é crucial para prever suas possíveis implicações ecológicas e para a gestão dos recursos estuarinos.

A hipótese central deste estudo é que a ocorrência e a variação temporal de *T. turbinata* no CEP estão associadas a fatores ambientais específicos, como variações sazonais de temperatura, salinidade e disponibilidade de nutrientes, que influenciam a densidade e distribuição da espécie. Este estudo visa fornecer uma compreensão detalhada sobre a presença e os padrões de variação temporal de *T. turbinata* no CEP, contribuindo para uma base de conhecimento necessária para monitorar possíveis mudanças na composição das comunidades zooplânctônicas e para a conservação dos ecossistemas locais.

Este trabalho é justificado pela falta de dados atualizados e abrangentes sobre a presença e flutuação temporal de *T. turbinata* no CEP, o que é fundamental para entender seu papel ecológico e para desenvolver estratégias de manejo que previnam impactos negativos potenciais decorrentes de sua presença.

1.2 OBJETIVO GERAL

Investigar a dinâmica temporal e espacial do copépode planctônico *Temora turbinata* (Dana, 1849) nas proximidades da Ilha das Peças, no Complexo Estuarino de Paranaguá – PR.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a variabilidade temporal e vertical de *T. turbinata* em um ponto fixo nas proximidades da Ilha das Peças, Guaraqueçaba – PR, relacionando-a com as variações sazonais de salinidade e temperatura ao longo de um ciclo anual.
- Avaliar a influência de fatores meteorológicos sobre os padrões de abundância de *T. turbinata* durante o período de estudo.
- Analisar a relação entre as concentrações de clorofila-a e a distribuição vertical e temporal de *T. turbinata*.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A distribuição, composição e abundância do zooplâncton em ecossistemas aquáticos são influenciadas por uma variedade de fatores hidrológicos e biológicos. Esses organismos são sensíveis às mudanças ambientais, o que os torna bons indicadores da qualidade do ambiente (GASCA et al., 1996). Em estuários, a salinidade e a temperatura são fatores determinantes que afetam a distribuição espacial e vertical do zooplâncton, incluindo copépodes, além de outros fatores como disponibilidade de alimentos, turbidez, profundidade da água e estado trófico da área (SOETAERT; VAN RIJSWIJK, 1993; LENZ, 2000).

Os padrões de distribuição espacial e vertical dos copépodes, em particular, são altamente sensíveis às variações de maré, salinidade e temperatura, bem como à disponibilidade de alimento, que podem variar significativamente ao longo de um ciclo diário ou sazonal (DEVREKER et al., 2004; BERASATEGUI et al., 2005). Estudos demonstram que, em ambientes estuarinos, esses fatores interagem para criar uma dinâmica complexa que pode influenciar a estrutura das comunidades de copépodes. Por exemplo, flutuações de salinidade e temperatura ao longo de um estuário podem criar gradientes ambientais que resultam em zonas de alta ou baixa abundância de certas espécies de copépodes (CHIBA; SAINO, 2003; MARQUES et al., 2007). Além disso, a turbidez, os níveis de oxigênio dissolvido e o fluxo de nutrientes são componentes cruciais que influenciam a abundância e distribuição dos copépodes, especialmente em estuários onde esses fatores podem variar consideravelmente devido a mudanças sazonais, eventos climáticos extremos e atividades humanas (MARQUES et al., 2007).

Estudos recentes têm investigado a estrutura e a função das comunidades de copépodes sob diferentes influências oceanográficas e impactos antropogênicos. Por exemplo, um estudo realizado na plataforma continental do sudoeste do Atlântico examinou como a estrutura da comunidade de copépodes é influenciada por fatores como a largura da plataforma continental e os impactos humanos, destacando a

resiliência dessas comunidades frente às mudanças ambientais (CONCEIÇÃO et al., 2021). Este estudo mostra que a variação na composição das espécies de copépodes pode ser um indicador útil de mudanças na saúde ecológica dos ecossistemas marinhos e costeiros.

Adicionalmente, um estudo sobre a heterogeneidade da comunidade de zooplâncton e as interações tróficas no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, na margem equatorial brasileira, revelou que a variabilidade temporal e espacial no zooplâncton é fortemente influenciada por fatores ambientais como marés e a disponibilidade de nutrientes. Este estudo ressaltou que, em estuários mesotidais, as interações entre fatores físicos e biológicos são fundamentais para a dinâmica das comunidades zooplanctônicas (SANTOS et al., 2024).

Além disso, um estudo que utilizou técnicas de *metabarcoding* para identificar espécies de zooplâncton no Golfo Árabe, utilizando dois marcadores genéticos diferentes, destacou a complexidade das comunidades de copépodes e a importância de métodos avançados de sequenciamento para uma compreensão mais detalhada da diversidade zooplanctônica (THOMAS et al., 2023). A *metabarcoding* é uma técnica molecular utilizada para identificar e catalogar múltiplas espécies presentes em uma amostra ambiental, como água, solo ou sedimentos, de maneira rápida e eficiente. Essa metodologia combina a análise de DNA com o sequenciamento de nova geração (*Next-Generation Sequencing, NGS*) para permitir a identificação simultânea de uma grande diversidade de organismos a partir de uma única amostra. Este tipo de abordagem permite a identificação de espécies que são difíceis de detectar por métodos tradicionais, oferecendo uma visão mais abrangente sobre a composição e estrutura das comunidades zooplanctônicas.

No Brasil, o copépode *Temora turbinata* foi registrado pela primeira vez na década de 1980, com amostras coletadas em 1985 e 1986 em um estuário no estado de Sergipe (ARAÚJO; MONTÚ, 1993). Desde então, *T. turbinata* tem mostrado uma tendência de dispersão ao longo da plataforma continental brasileira, sendo encontrada em diversos estudos realizados em diferentes regiões. A introdução de *T. turbinata* na costa brasileira é frequentemente atribuída ao transporte por água de lastro de navios mercantes (ORSI et al., 1983). Os copépodes, incluindo *T. turbinata*, são frequentemente utilizados como indicadores ecológicos devido à sua sensibilidade às mudanças ambientais, o que destaca a importância de monitorar sua presença em diferentes ecossistemas (LIN et al., 2011).

No estado do Paraná, as informações sobre a comunidade zooplanctônica ainda são limitadas. O primeiro estudo significativo sobre a comunidade zooplanctônica no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) foi realizado por Montú e Cordeiro (1988), que coletaram amostras quinzenais de zooplâncton entre outubro de 1980 e setembro

de 1981. No entanto, *T. turbinata* não foi mencionada neste estudo, sugerindo que a espécie ainda não havia colonizado o estuário ou estava presente em densidades muito baixas para ser detectada.

Estudos subsequentes no CEP, como o de Lopes et al. (1998), realizado durante o inverno de 1993 e o verão de 1994, mostraram que os copépodes, especialmente *T. turbinata*, já estavam presentes em densidades significativas, superando até mesmo a espécie local *T. stylifera* em abundância. Este aumento na presença de *T. turbinata* pode indicar um processo de estabelecimento da espécie, possivelmente facilitado por condições ambientais favoráveis ou pela ausência de competidores eficazes.

Mais recentemente, Salvador e Bersano (2017) relataram *T. turbinata* como uma das quatro espécies de copépodes mais importantes no CEP, sendo registrada consistentemente em todo o estuário durante os anos de 2012 e 2013. Eles observaram que a espécie era particularmente abundante no inverno, período caracterizado por salinidades mais elevadas, sugerindo uma preferência de *T. turbinata* por condições mais salinas. Esse padrão de distribuição pode refletir uma adaptação da espécie a ambientes estuarinos com características físico-químicas variáveis.

Em um levantamento realizado em 2005 sobre espécies exóticas na costa brasileira, *T. turbinata* foi classificada como uma espécie estabelecida, o que implica sua presença recorrente sem impactos ecológicos aparentes. No entanto, a falta de estudos de longo prazo e monitoramento contínuo dificulta a avaliação completa dos efeitos ecológicos potenciais desta espécie em ambientes estuarinos como o CEP. Além disso, apesar de *T. turbinata* não ser atualmente considerada uma ameaça direta à biodiversidade nativa, a introdução de espécies exóticas pode provocar mudanças na composição das comunidades locais e nos ciclos biogeoquímicos, afetando a estrutura e função dos ecossistemas (CARLTON, 1996; RUIZ et al., 1999; MACK et al., 2000; HOLLEBONE; HAY, 2008).

Estudos comparativos sobre bioinvasões em outros estuários e regiões costeiras mostram que a introdução de espécies exóticas pode levar a mudanças significativas nos ecossistemas, desde a competição com espécies nativas até a alteração dos ciclos de nutrientes e da estrutura das teias alimentares. A presença de *T. turbinata* em estuários brasileiros destaca a necessidade de compreender como essas espécies exóticas podem interagir com as espécies nativas e com os fatores abióticos para moldar as comunidades zooplanctônicas locais.

Além disso, pesquisas em outros estuários e regiões, como as realizadas no Atlântico Norte e no Pacífico, demonstram que *T. turbinata* pode influenciar significativamente as dinâmicas populacionais locais devido à sua capacidade de se adaptar rapidamente a diferentes condições ambientais e de competir por recursos. A compreensão desses padrões e suas implicações para a gestão de recursos estuarinos é

fundamental, especialmente considerando o valor econômico e ecológico dos estuários para as comunidades costeiras (MÁRQUEZ-ROJAS et al., 2024).

Essas informações são essenciais para a formulação de políticas de manejo e conservação dos ecossistemas estuarinos, especialmente no contexto das mudanças climáticas e do aumento da atividade humana nas regiões costeiras. Monitorar a presença e as flutuações de espécies como *T. turbinata* é crucial para prever e mitigar possíveis impactos ecológicos a longo prazo, garantindo a sustentabilidade desses ecossistemas ricos e diversos.

2 ÁREA DE ESTUDO

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) está localizado no litoral norte do estado do Paraná (48°25'W, 25°30'S), cobrindo uma área de 612 km² e com um volume de água de aproximadamente 14×10^9 m³ (LANA et al., 2001). O CEP é parte de um extenso sistema estuarino subtropical interligado, composto por dois eixos principais: a Baía das Laranjeiras, que se estende no sentido norte-sul, e a Baía de Paranaguá, que se estende no sentido leste-oeste (LANA et al., 2001; NOERNBERG et al., 2006). O estuário é caracterizado por uma grande biodiversidade e uma profundidade que varia entre 4,7 m e um máximo de 28 m (LANA et al., 2001).

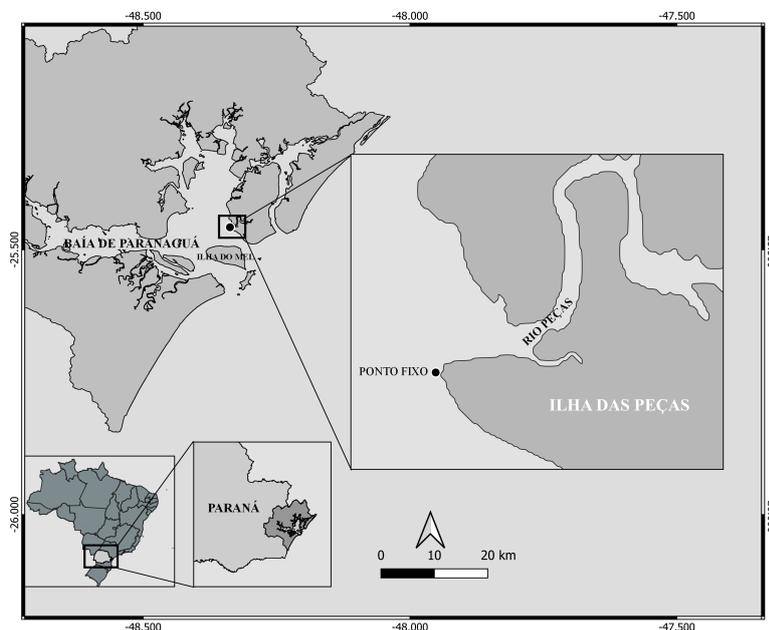
O regime de marés do CEP é semi-diurno, com a maré de enchente apresentando maior velocidade, permitindo a formação de até seis marés altas e baixas por dia (LANA et al., 2001; MARONE et al., 2005). O tempo de residência da água no estuário é de aproximadamente 3,5 dias, o que influencia significativamente a dinâmica de mistura e renovação das águas estuarinas (LANA et al., 2001).

Em termos climáticos, o CEP apresenta uma sazonalidade bem marcada em relação à precipitação e à temperatura da água. Durante os períodos de verão e primavera, que são mais chuvosos, a precipitação média mensal pode variar de 200 a 300 mm, enquanto nos períodos de outono e inverno, considerados menos chuvosos, a precipitação média mensal é de aproximadamente 80 a 150 mm (MARONE et al., 2005). A temperatura da água também varia sazonalmente, com valores entre 23°C e 30°C no verão e entre 18°C e 25°C no inverno (MARONE et al., 2005). Essas variações sazonais influenciam diretamente o gradiente horizontal médio de salinidade, que varia de 12 a 29 PSU durante as estações chuvosas e de 20 a 34 PSU nas estações secas.

A dinâmica do fitoplâncton na região é outro fator relevante para o estudo do CEP. A biomassa fitoplanctônica é influenciada por fatores abióticos como luz, nutrientes e circulação das massas de água. As concentrações de clorofila-a, medida pelo fluorímetro do CTD como um proxy para a abundância total de fitoplâncton, refletem essa dinâmica e são indicadores importantes da produtividade primária do estuário. Flutuações nas concentrações de clorofila-a são esperadas devido à variabilidade sazonal das condições ambientais, que afetam tanto a produção primária quanto a distribuição de nutrientes (MANTOVANELLI et al., 2004).

A circulação no CEP é influenciada principalmente por marés, ventos e precipitação, criando condições distintas de salinidade na coluna d'água que podem ser bem misturadas ou parcialmente estratificadas. Isso, por sua vez, afeta a distribuição da fauna e flora local, incluindo a dinâmica das comunidades zooplanctônicas e

FIGURA 1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - PONTO FIXO NA ILHA DAS PEÇAS.



Fonte: Autor(2022).

fitoplanctônicas (LANA et al., 2001; MARONE et al., 2005; SALVADOR; BERSANO, 2017).

A área de estudo escolhida para esta pesquisa está localizada próxima à Ilha das Peças (25°27'36.07"S, 48°20'26.45"O), perto do Rio Peças, no município de Guaraqueçaba, na desembocadura norte do CEP (Figura 1). A escolha desta área específica foi motivada pela disponibilidade de dados coletados em uma campanha de 2017, realizada para detectar saltos da raia manta (*Mobula birostris*), conduzida por Medeiros (2020). Durante essa campanha, o local foi delimitado como ponto de coleta devido à sua eficácia na detecção de saltos e, conseqüentemente, pela maior ocorrência da espécie na área (MEDEIROS, 2020). Como as águas da região são turvas, resultando em baixa visibilidade e dificultando a detecção subaquática, os registros foram baseados principalmente em avistamentos de comportamentos de superfície, como os saltos (MEDEIROS et al., 2015).

A escolha do ponto fixo próximo à Ilha das Peças não apenas aproveita a infraestrutura e os dados existentes da campanha de 2017, mas também permite um estudo detalhado da interação entre o rio e o estuário. Essa localização é ideal para capturar a variabilidade das condições ambientais e a resposta das comunidades biológicas a essas variações, sendo particularmente relevante para entender a influência dos processos estuarinos sobre a distribuição e abundância de *Temora turbinata*, uma espécie de copépode planctônico de interesse para este estudo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 AMOSTRAGEM DE ZOOPLÂNCTON

Foram realizadas expedições embarcadas em novembro de 2016 e entre janeiro de 2017 e fevereiro de 2018, totalizando 74 arrastos. As amostras de zooplâncton foram coletadas por arrastos de fundo e superfície com uma rede cilíndrica-cônica de 2 m de comprimento (malha: 300 μm ; diâmetro da boca: 0,5 m) equipada com fluxômetro *General Oceanics*. As amostras de zooplâncton foram preservadas em solução de formaldeído tamponado a 4% .

As coletas de zooplâncton foram realizadas durante expedições embarcadas, ocorridas em novembro de 2016 e entre janeiro de 2017 e fevereiro de 2018, totalizando 74 arrastos. As amostras de zooplâncton foram coletadas por arrastos de fundo e superfície com uma rede cilíndrica-cônica de 2 m de comprimento (malha: 300 μm ; diâmetro da boca: 0,5 m) equipada com fluxômetro *General Oceanics*. As amostras de zooplâncton foram preservadas em solução de formaldeído tamponado a 4% .

Os pontos de coleta foram escolhidos estrategicamente próximo ao Rio Peças, na Ilha das Peças (25°27'36.07"S, 48°20'26.45"O) (Figura 1), por ser uma área com alta frequência de saltos da raia manta *Mobula birostris*. As águas turvas da região dificultam a observação subaquática, impossibilitando a detecção de comportamentos na coluna d'água ((MEDEIROS et al., 2015). As coletas de zooplâncton foram realizadas logo após a detecção de um salto da raia manta, aproveitando a oportunidade para realizar arrastos na superfície e no fundo.

As expedições foram conduzidas em dias que atendiam às melhores condições para observar os saltos. Esses critérios incluíam direção do vento nos quadrantes leste e nordeste, fase da lua crescente ou minguante e porcentagem de iluminação lunar em torno de 60% . A maré variava entre vazante e enchente, e essa variação não foi padronizada, sendo registrada conforme a observação dos saltos. A Tabela 1 indica a frequência de ocorrência, fase da lua, quantidade de arrasto, maré e tempo médio de arrasto.

Entre janeiro de 2017 e fevereiro de 2018, as coletas ocorreram com uma frequência variável, sem um padrão mensal rígido, mas adaptando-se às condições ambientais favoráveis para a observação dos saltos. Durante cada expedição, foram realizados arrastos de superfície e de fundo, com média de dois arrastos para cada nível da coluna d'água (superfície e fundo), totalizando em média quatro arrastos por campanha.

TABELA 1 – DATAS DE COLETAS COM A FASE DA LUA, QUANTIDADE DE ARRASTO, MARÉ E TEMPO MÉDIO DE ARRASTO.

Data	Lua	Arrasto	Maré	Minutos
21/11/2016	Minguante	2	Enchente	5
27/01/2017	Nova	3	Enchente	5
09/02/2017	Cheia	4	Enchente	5
21/02/2017	Minguante	10	Enchente	5
23/02/2017	Nova	1	Enchente	5
03/03/2017	Crescente	6	Enchente/Vazante	4
27/03/2017	Nova	4	Enchente	4
04/04/2017	Crescente	8	Enchente	5
18/04/2017	Minguante	6	Vazante	4
03/05/2017	Crescente	6	Vazante	5
14/06/2017	Minguante	2	Vazante/Enchente	5
01/08/2017	Crescente	2	Vazante/Enchente	5
29/08/2017	Crescente	2	Vazante/Enchente	5
27/09/2017	Crescente	2	Vazante/Enchente	5
26/10/2017	Crescente	2	Vazante	5
27/11/2017	Crescente	4	Vazante	5
12/12/2017	Minguante	4	Enchente/Vazante	5
24/01/2017	Crescente	6	Vazante/Enchente	5

A velocidade média da embarcação durante os arrastos variou entre 5,8 e 6,4 km/h, com um tempo médio de arrasto de 4 a 5 minutos, a profundidade média de dos arrastos eram entorno de 12m. A coleta foi realizada após a aproximação da área onde o salto da raia manta havia sido detectado.

3.2 ANÁLISE E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

Todo o volume das amostras de zooplâncton foi analisado para a contagem e identificação dos organismos, focando na espécie-alvo. As amostras foram separadas por espécie e analisadas utilizando câmaras de Bogorov sob estereomicroscópio com ampliação de 1,5x. A identificação dos organismos seguiu guias taxonômicos especializados (BOLTOVSKOY et al., 1999; JOHNSON; ALLEN, 2012). As densidades de zooplâncton foram expressas em número de indivíduos por metro cúbico. Para a determinação da biomassa, subamostras foram secas a 60°C por 24 horas, e a biomassa total foi calculada pela relação entre o peso seco (mg) e o volume filtrado (m³).

3.3 DADOS AMBIENTAIS

Para cada arrasto realizado, foram coletados dados ambientais através de perfis verticais de toda a coluna d'água utilizando um CTD (*Conductivity Temperature*

and Depth) JFE® modelo ALEC Compact – ASTD. O CTD estava equipado com sensores para medir salinidade, temperatura e concentração de clorofila-a, utilizando um sensor de fluorescência acoplado. A aquisição de dados pelo CTD foi feita em intervalos contínuos ao longo da coluna de água, permitindo um perfil detalhado das variáveis ambientais.

Os dados coletados pelo CTD foram agrupados em duas camadas principais: superfície e fundo. O valor de 3 metros de profundidade foi escolhido para representar a camada superficial, considerando-se a mistura dinâmica das águas costeiras na região. A camada de fundo foi definida como a profundidade máxima menos 5 metros, considerando a batimetria da área de estudo e a possível influência da camada bentônica.

Essa divisão foi adotada para simplificar a análise e capturar as principais diferenças nas condições ambientais entre as camadas superiores e inferiores da coluna de água, respeitando o comportamento estratificado das variáveis de salinidade e temperatura no ambiente estuarino.

A escolha de delimitar a superfície como os primeiros 3 metros da coluna d'água foi baseada em estudos anteriores que indicam que, em ambientes estuarinos com forte estratificação, essa camada representa de maneira eficaz as condições influenciadas pela interface ar-água, sendo mais suscetível a variações rápidas devido à troca de calor, precipitação e vento (FALKENBERG, 2009). No entanto, essa escolha pode suavizar algumas diferenças observadas na coluna d'água, especialmente em ambientes onde a estratificação é significativa.

Foram gerados valores médios de salinidade e temperatura para a superfície e o fundo, com o objetivo de fornecer uma visão simplificada das condições ambientais durante as coletas. Ainda que o cálculo de médias possa suavizar as diferenças verticais, especialmente para índices de estratificação, esta abordagem foi escolhida pela alta variabilidade ambiental presente na região seguindo o trabalho da tese (MEDEIROS, 2020). Vale ressaltar que as diferenças de temperatura e salinidade ao longo da coluna foram consideradas ao calcular a estratificação, utilizando os valores de salinidade e temperatura de cada camada (superfície e fundo).

O sensor de fluorescência acoplado ao CTD foi utilizado para medir a concentração de clorofila-a, uma variável indicativa da biomassa fitoplanctônica presente na água. Este sensor forneceu estimativas de fluorescência em $\mu\text{g/L}$, e os valores registrados foram utilizados para monitorar a produtividade primária nas diferentes camadas da coluna d'água (superfície e fundo).

Os dados mensais de precipitação foram obtidos através da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (AGUASPARANÁ – Instituto das Águas

do Paraná), coletados na estação meteorológica de Rio Guaraqueçaba, localizada a aproximadamente 15 km do ponto de observação. A velocidade e a direção do vento, assim como a média da temperatura mensal, foram obtidas a partir dos registros do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo os dados de vento originários da estação da Ilha do Mel (janeiro a dezembro de 2017) devido à sua maior completude. Os padrões de vento de vento influenciam a hidrodinâmica, a intrusão marinha e os processos ecológicos no CEP, essa relação será explicada melhor na discussão.

A estratificação salina da coluna de água foi calculada a partir da fórmula a seguir:

$$\frac{\Delta S}{z} \quad (3.1)$$

Onde ΔS é variação da salinidade entre fundo e superfície e z a profundidade, o mesmo foi feito para a estratificação térmica, considerando os valores de temperatura da coluna d'água. Quanto maior o valor da estratificação salina ou térmica, maior o gradiente de salinidade ou temperatura.

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para a sistematização dos dados de vento, foi necessário construir uma rosa dos ventos utilizando o programa Python com o pacote *Windrose*, que foi desenvolvido para tratar dados de vento e plotar rosas dos ventos.

Para avaliar e analisar a resposta da biomassa da *T. turbinata* em relação aos fatores da coluna d'água (temperatura média da água, salinidade média, clorofila-a média, estratificação salina, estratificação térmica) de fundo e de superfície e aos fatores meteorológicos, precipitação e direção do vento foi feita a aplicação de Modelos Aditivos Generalizados (GAM) (HASTIE; TIBSHIRANI, 1990). GAM é uma extensão não paramétrica do Modelo Linear Generalizado (GLM) em que parte do preditor linear é especificada em termos de uma soma de covariáveis de função suave (WOOD, 2017). O modelo pode ser escrito da seguinte forma:

$$g([E(Y)]) = \beta_0 + f_1(X_1) + \dots + f_i(X_i) \quad (3.2)$$

Onde g é a uma função de ligação, $E(Y)$ é a variável resposta, β_0 representa a interceptação e f_1 é a função de suavização da variável preditora X_j .

Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória da distribuição dos dados para verificar a normalidade, correlações entre variáveis e selecionar a família dos modelos. Foi utilizado a família binominal negativa, sendo mais estruturada estatisticamente, pois os dados apresentavam sobredispersão. As variáveis independentes

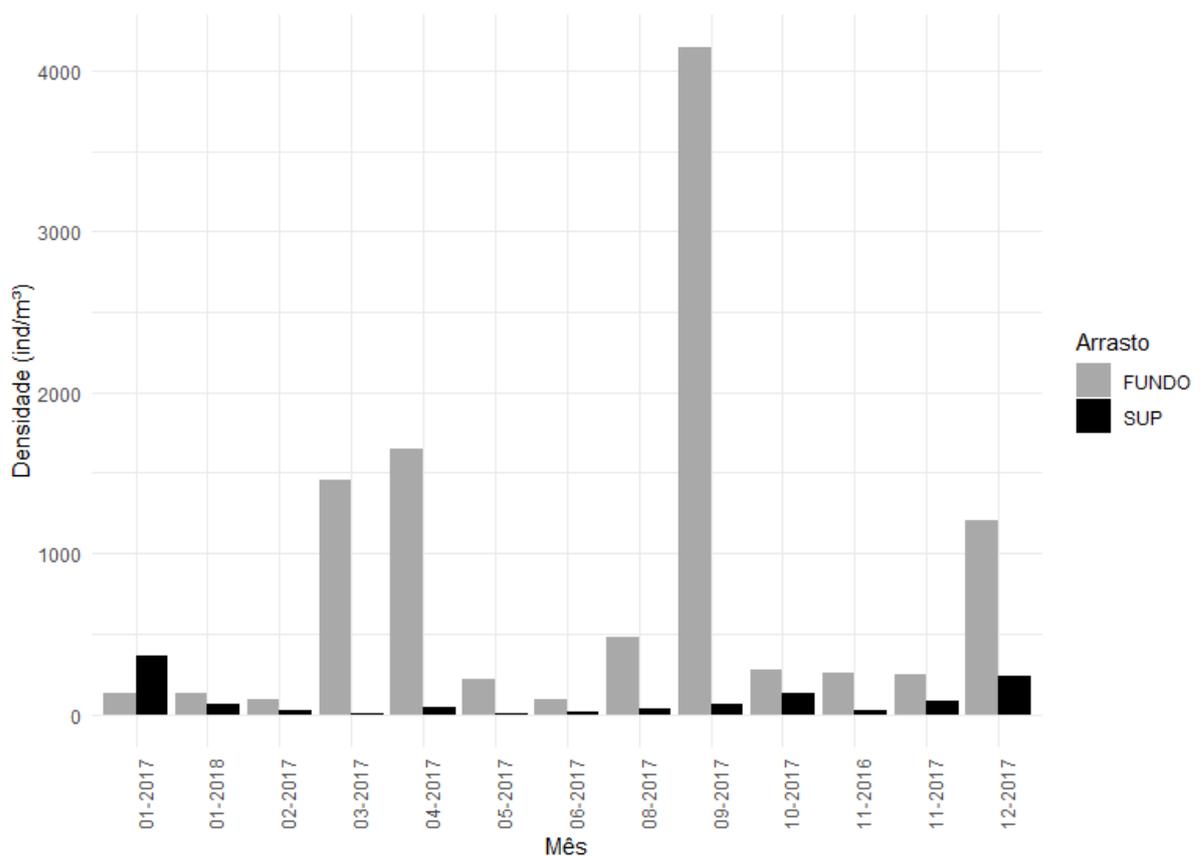
consideradas para a análise das possíveis variáveis relacionadas a densidade de fundo foram a salinidade de fundo e precipitação mensal, média da temperatura da coluna d'água (devido a variação baixa da temperatura no extrato da coluna d'água), estratificação salina (Equação 3.1) da coluna d'água e direção do vento predominante mensal. Para a análise das variáveis relacionadas a densidade de superfície foram utilizadas as mesmas variáveis, exceto a salinidade de fundo que foi substituída pela salinidade de superfície. As variáveis foram selecionadas a partir do modelo global com a função do pacote 'MuMIn' (BARTON, 2009), que tem como ideia principal, avaliar os modelos com todas as combinações possíveis com as variáveis utilizando o Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc) e o valor de delta do AIC (ΔAIC). Com isso, os modelos que apresentaram o valor de ΔAIC menor que 2, são indicados como os melhores modelos potenciais (BURNHAM; ANDERSON, 2004). Os modelos foram executados no R (TEAM, 2013) versão 3.6.1, utilizando o pacote 'mgcv'.

4 RESULTADOS

4.1 ZOOPLÂNCTON E VARIÁVEIS AMBIENTAIS

A densidade de *Temora turbinata* atingiu seu pico no fundo no início da primavera, com 4100 ind.m^{-3} . A média e o desvio padrão da densidade no fundo durante o período de estudo foram de $525 \pm 935 \text{ ind.m}^{-3}$. Na superfície, o maior valor foi registrado em janeiro, no verão, com 363 ind.m^{-3} e uma média de $496 \pm 84 \text{ ind.m}^{-3}$ (Tabela 2). Conforme mostrado na Figura 2, os valores de densidade de *T. turbinata* são consistentemente maiores no fundo em comparação à superfície.

FIGURA 2 – DENSIDADE DA *TEMORA TURBINATA* EM UM PONTO FIXO DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ PRÓXIMO À ILHA DAS PEÇAS, DURANTE O PERÍODO DE NOVEMBRO DE 2016 A JANEIRO DE 2018.



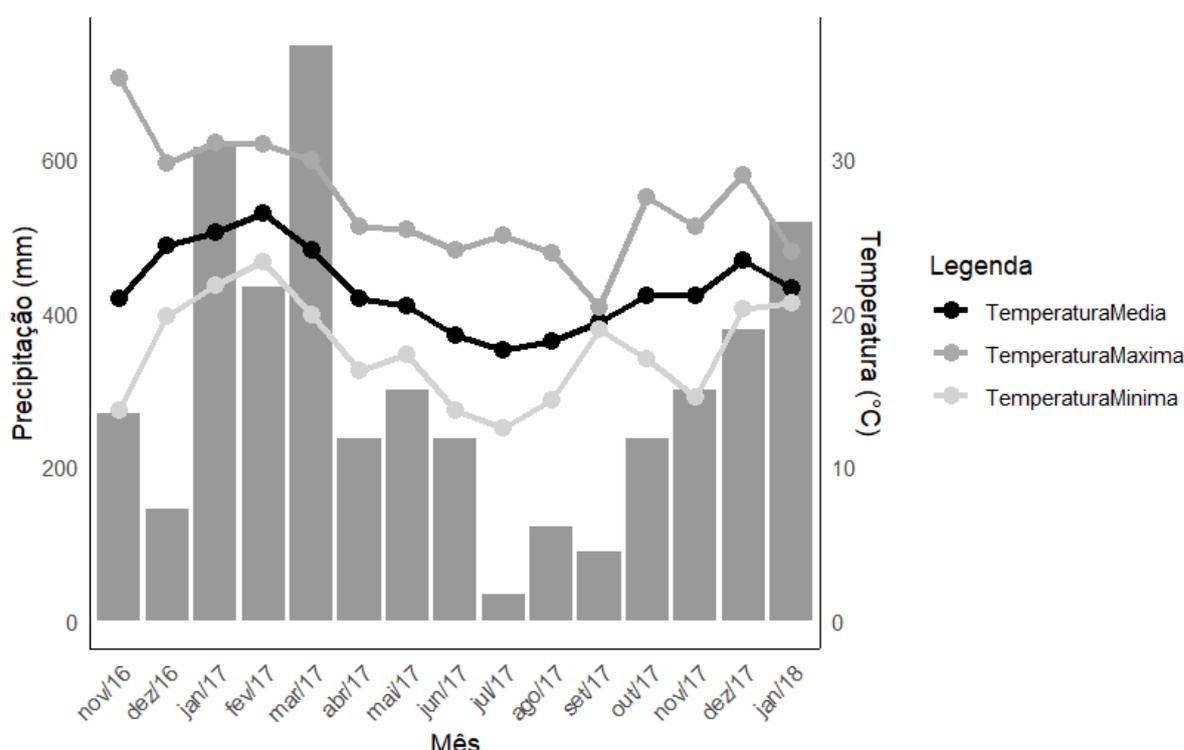
Fonte: Autor (2022).

Em relação à precipitação, o valor máximo foi observado em março de 2017, no final do verão, com uma altura mensal de 747,2 mm. O valor mínimo ocorreu em julho de 2017, durante o inverno, com uma precipitação de 33,5 mm, seguindo os padrões climáticos típicos de estação seca para a região. Para a temperatura do ar, a máxima

TABELA 2 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E MÁXIMOS E MÍNIMOS DAS DENSIDADES DOS PARÂMETROS ABIÓTICOS DA COLUNA D'ÁGUA E DE FUNDO.

Fatores	Superfície			Fundo		
	Média ± DP	Mínimo (Data)	Máximo (Data)	Média ± DP	Mínimo (Data)	Máximo (Data)
Densidade (ind.m ⁻³)	49 ± 84	0 (-)	363 (27/09)	525 ± 935	0 (-)	4142 (27/09)
Temperatura (°C)	26,1 ± 2,5	20,33 (14/06)	30,14 (21/02)	26,02 ± 2,4	20,59 (14/06)	29,32 (23/02)
Salinidade	24 ± 2	19,09 (04/04)	30,61 (27/09)	29 ± 2	23,84 (27/01)	32,51 (12/12)
Clorofila-a	3 ± 1	1,57 (23/02)	7,30 (27/03)	5 ± 2	3,96 (23/02)	11,59 (27/03)
Estratificação da Temp.	0,07 ± 0,05	-	-	0,07 ± 0,05	-	-
Estratificação da Salinidade	0,46 ± 0,30	-	-	0,48 ± 0,31	-	-

FIGURA 3 – GRÁFICO DE RELAÇÃO COM A ALTURA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO COM A TEMPERATURA DO AR.



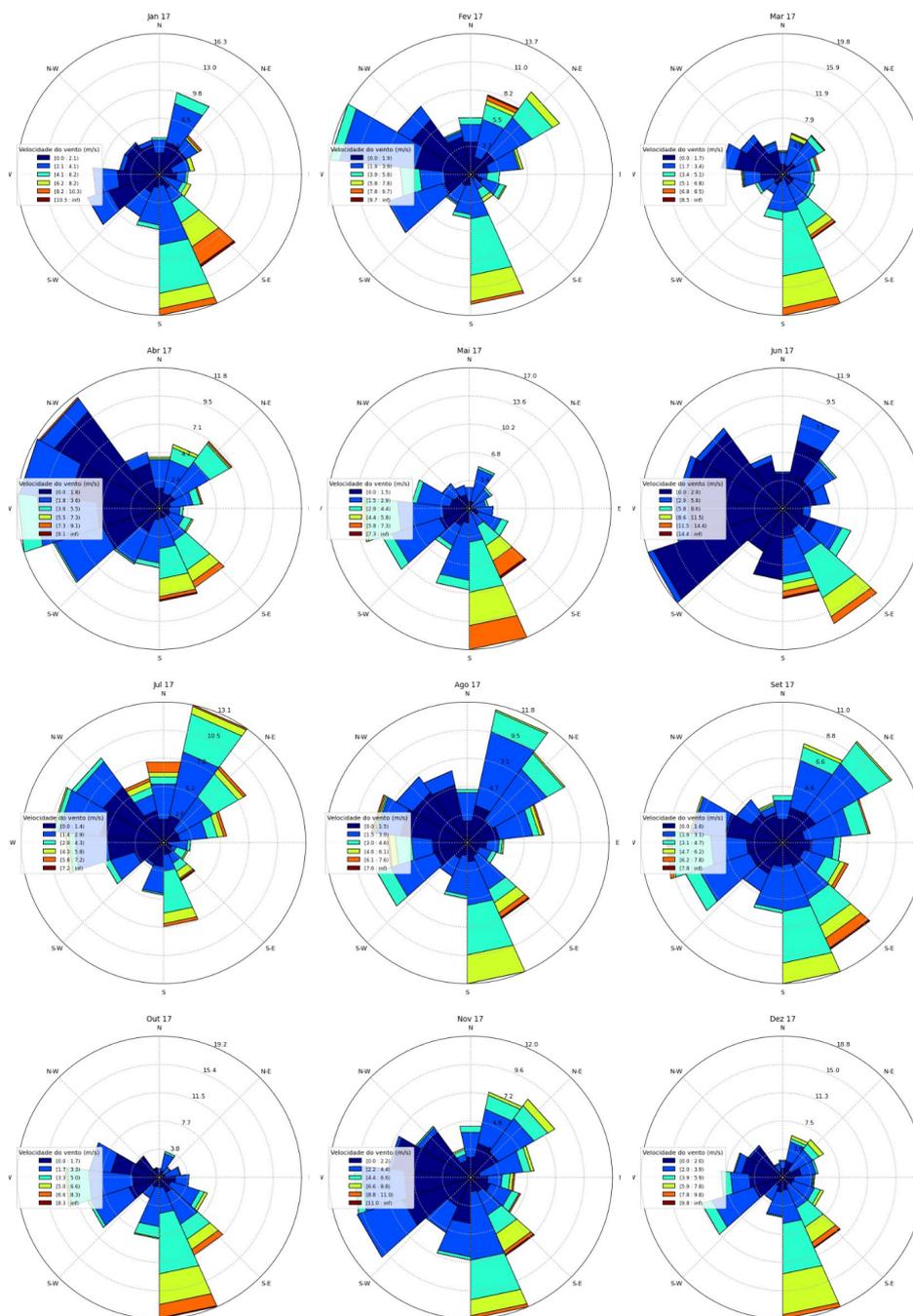
Fonte: AGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná; Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

foi registrada em novembro de 2016, no final da primavera, com 35,3°C, enquanto a mínima foi observada em julho de 2017, no meio do inverno, com 12,5°C (Figura 3).

Com o auxílio do programa Python, foram calculadas as direções, velocidades e frequências do vento ao longo de um ano, conforme mostrado pela rosa dos ventos na Figura 4. A direção predominante do vento foi Sul-Sudeste (SSE), com o mês de março apresentando a maior frequência de vento dessa direção (19,8%), coincidindo com a maior precipitação registrada no mesmo período. Os meses de outubro e dezembro também apresentaram frequências elevadas de ventos SSE, com 19,2% e 18,2%, respectivamente. Em junho, no início do inverno, registrou-se a maior velocidade de

vento, com aproximadamente 8% do tempo tendo ventos SSE a uma velocidade de 14,4 m/s.

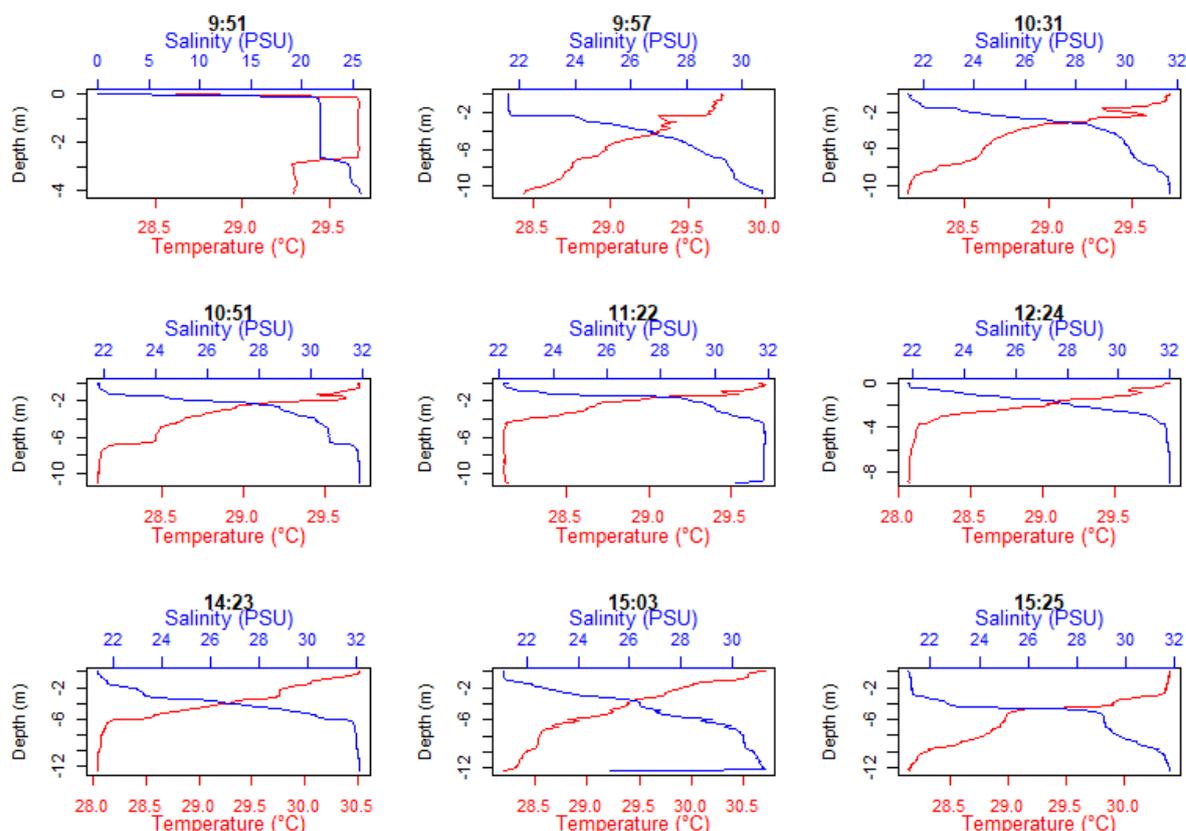
FIGURA 4 – ROSAS DOS VENTOS MENSAIS PARA O PERÍODO DE JANEIRO DE 2017 A DEZEMBRO DE 2017 PARA A ESTAÇÃO ILHA DO MEL



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

A temperatura média da água não apresentou variações significativas entre a superfície e o fundo durante os dias de coleta no período de estudo. O valor máximo da temperatura na superfície foi de 29,6°C, registrado em 21 de fevereiro (Figura 5), enquanto no fundo o valor máximo foi de 28,8°C, registrado em 03 de março (Figura 6).

FIGURA 5 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 21 DE FEVEREIRO DE 2017.

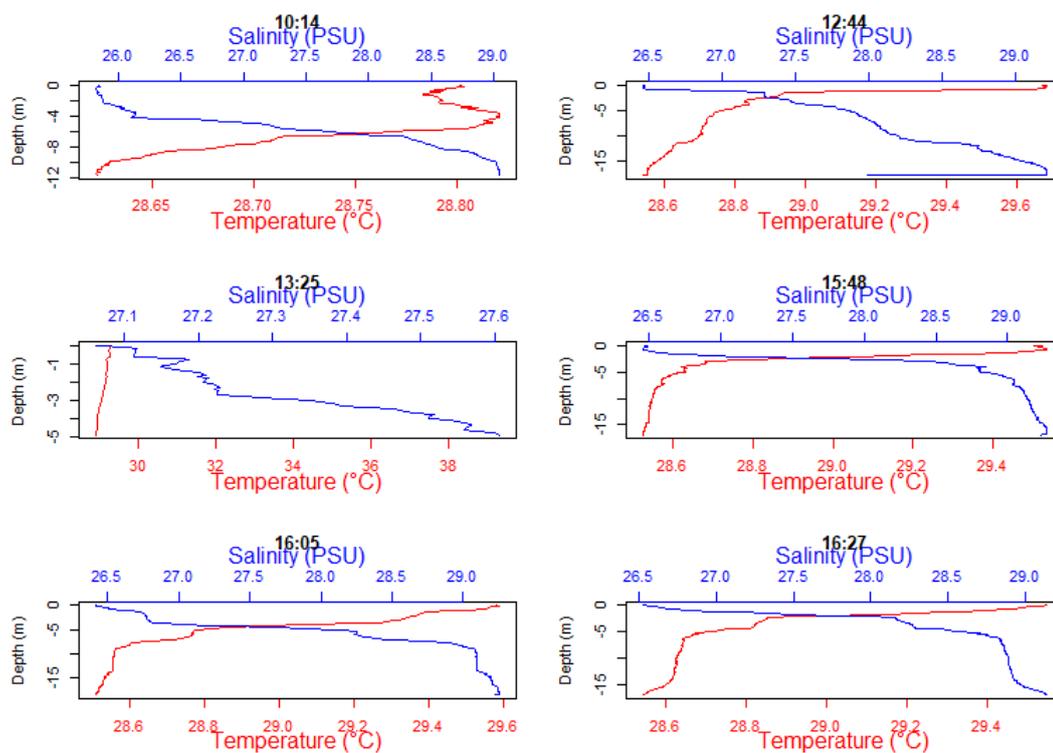


Fonte: Autor (2022).

Os valores mínimos de temperatura foram registrados em 14 de junho (Figura 7), com 20,3°C na superfície e 20,6°C no fundo. A Tabela 2 confirma a ausência de variação significativa, mostrando uma temperatura média geral de $26,14 \pm 2,53$ °C na superfície e $26,02 \pm 2,41$ °C no fundo. A estratificação térmica foi mínima, com uma média de apenas $0,07 \pm 0,05$ °C entre superfície e fundo.

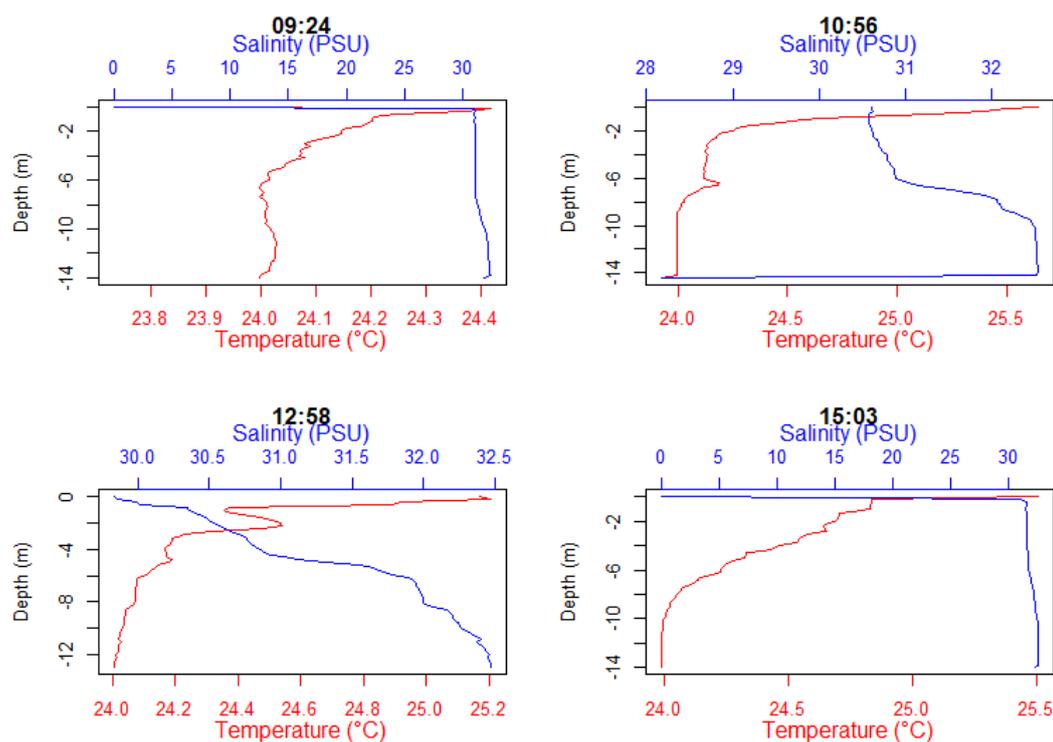
Os valores de salinidade, conforme apresentados nas Figuras 5, 6 e 7, mostraram uma distinção clara entre a superfície e o fundo. A salinidade superficial variou entre 20 e 30, com o menor valor observado em 04 de abril (Figura 8) e o maior em setembro (Figura 9). No fundo, a salinidade variou entre 24 e 32, com o menor valor em janeiro (Figura 10) e o maior também em setembro (Figura 9). A média geral da salinidade superficial foi de $24,74 \pm 2,80$, enquanto a do fundo foi de $29,06 \pm 2,43$. A estratificação salina média na coluna d'água foi de $0,46 \pm 0,30$ (Tabela 2).

FIGURA 6 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 03 DE MARÇO DE 2017.



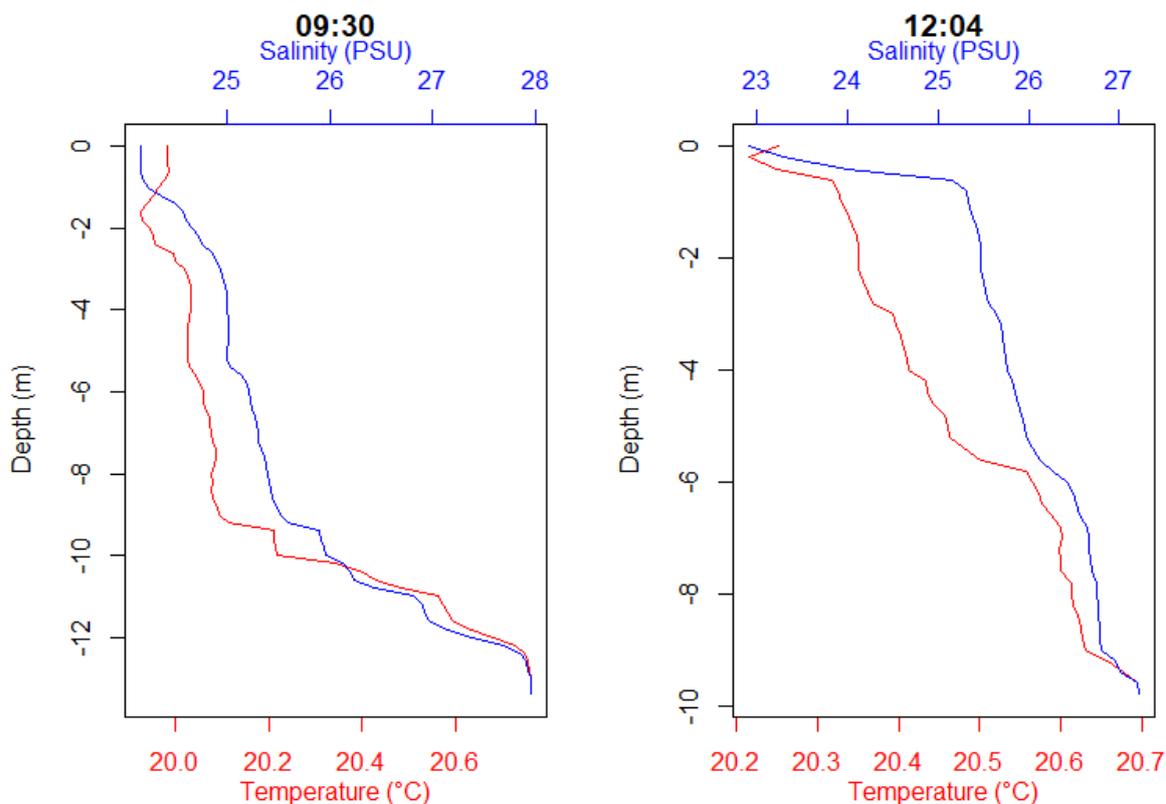
Fonte: Autor (2022).

FIGURA 9 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 29 DE SETEMBRO DE 2017.



Fonte: Autor (2022).

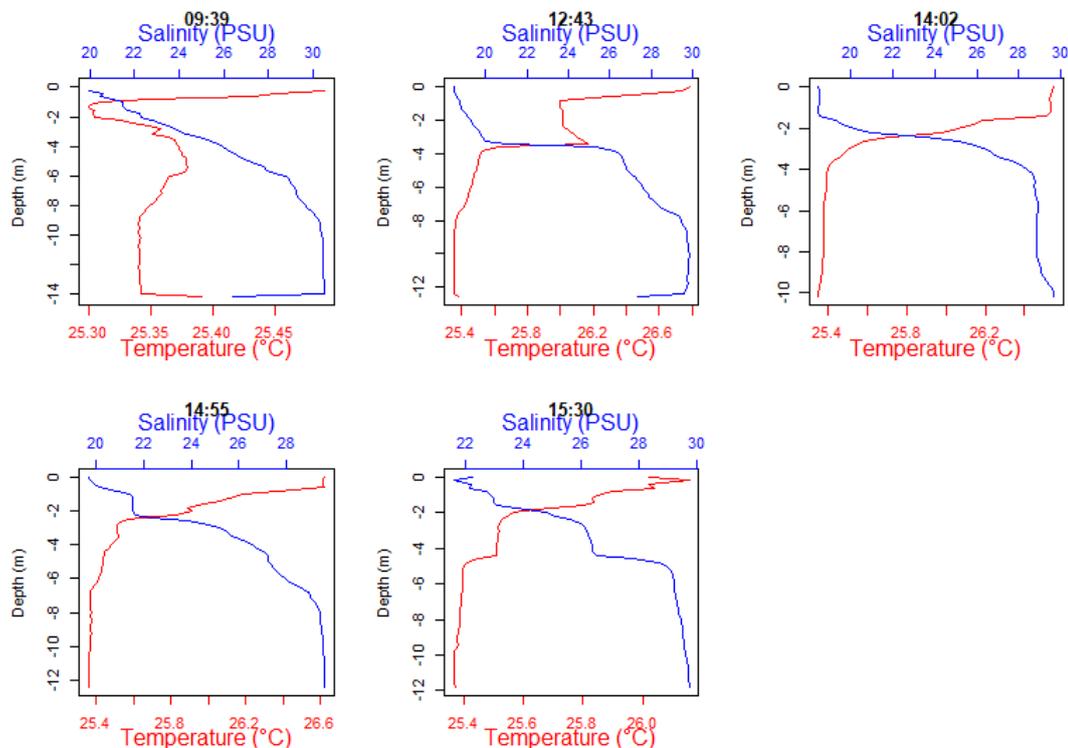
FIGURA 7 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 14 DE JUNHO DE 2017.



Fonte: Autor (2022).

Os valores de clorofila-a foram consistentemente maiores no fundo, com uma variação entre um máximo de 7,88 $\mu\text{g/L}$ em março e um mínimo de 2,77 $\mu\text{g/L}$ em junho. Na superfície, o valor máximo de clorofila-a foi de 6,53 $\mu\text{g/L}$ em março, enquanto o menor valor foi registrado em dezembro, com 1,83 $\mu\text{g/L}$ (Figura 11). A média geral da clorofila-a na superfície foi de $3,45 \pm 1,44 \mu\text{g/L}$ e, no fundo, de $5,48 \pm 2,43 \mu\text{g/L}$ (Tabela 2).

FIGURA 8 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 04 DE ABRIL DE 2017.



Fonte: Autor (2022).

4.1.1 INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA OCORRÊNCIA E VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DE *T. TURBINATA*

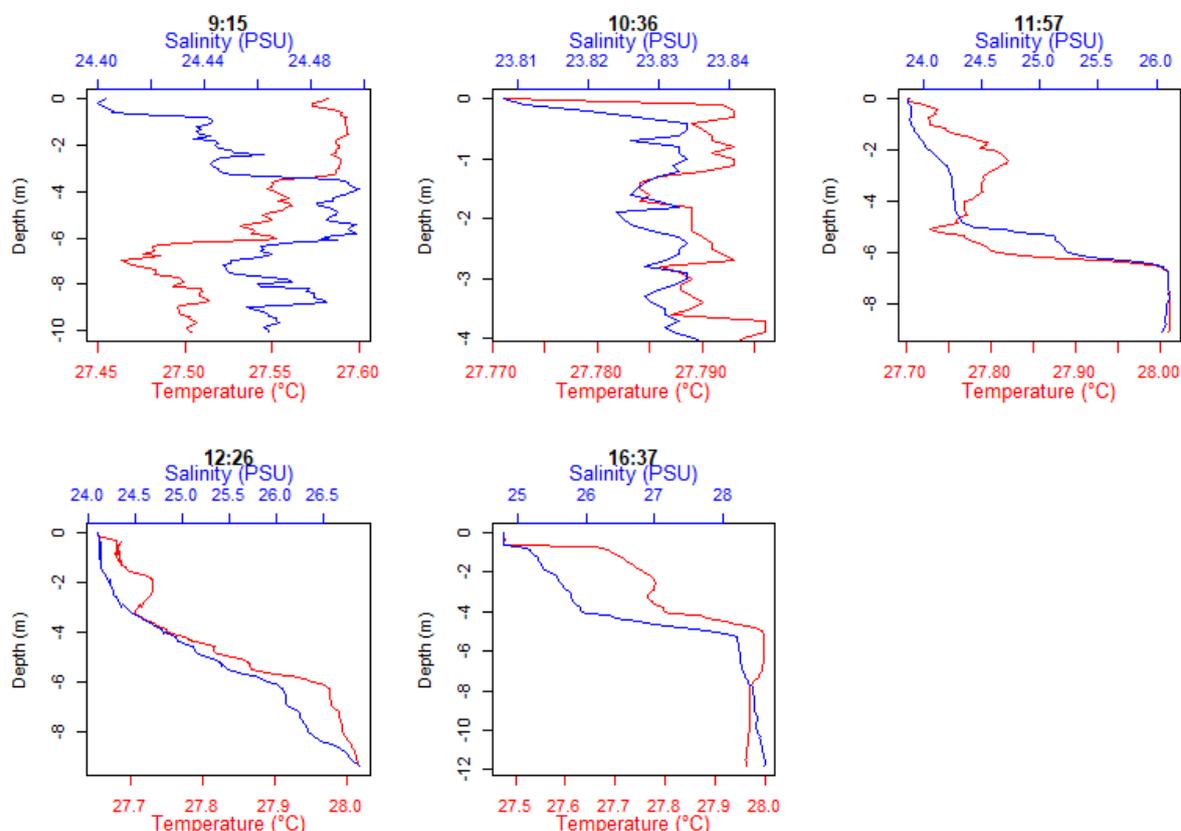
Os resultados da análise GAM indicaram uma correlação significativa entre temperatura e precipitação ($r^2 = 0,7$), o que levou à exclusão da temperatura em favor da pluviosidade, visto que a salinidade é diretamente influenciada pela precipitação. Como a salinidade de superfície e de fundo tiveram um impacto significativo na densidade de *T. turbinata*, optou-se por manter essas variáveis no modelo ao invés de utilizar a pluviosidade como variável principal, dada a forte relação entre pluviosidade e salinidade.

A altura da maré não foi padronizada, o que pode ter interferido nos resultados e deve ser considerada em futuras análises para refinar as conclusões.

Conforme mostrado na Tabela 3, o *p-value* de cada variável e o valor de *Deviance explained* (DE) indicam que tanto a salinidade de fundo quanto a salinidade de superfície influenciaram significativamente a densidade de *T. turbinata*. Essa distinção entre os dois níveis de salinidade ao longo da coluna d'água sugere que variações no gradiente salino são fatores importantes na distribuição da espécie.

No caso das variáveis relacionadas ao fundo, os resultados indicam que me-

FIGURA 10 – PERFIS VERTICAIS DA TEMPERATURA E SALINIDADE NO DIA 27 DE JANEIRO DE 2017.



Fonte: Autor (2022).

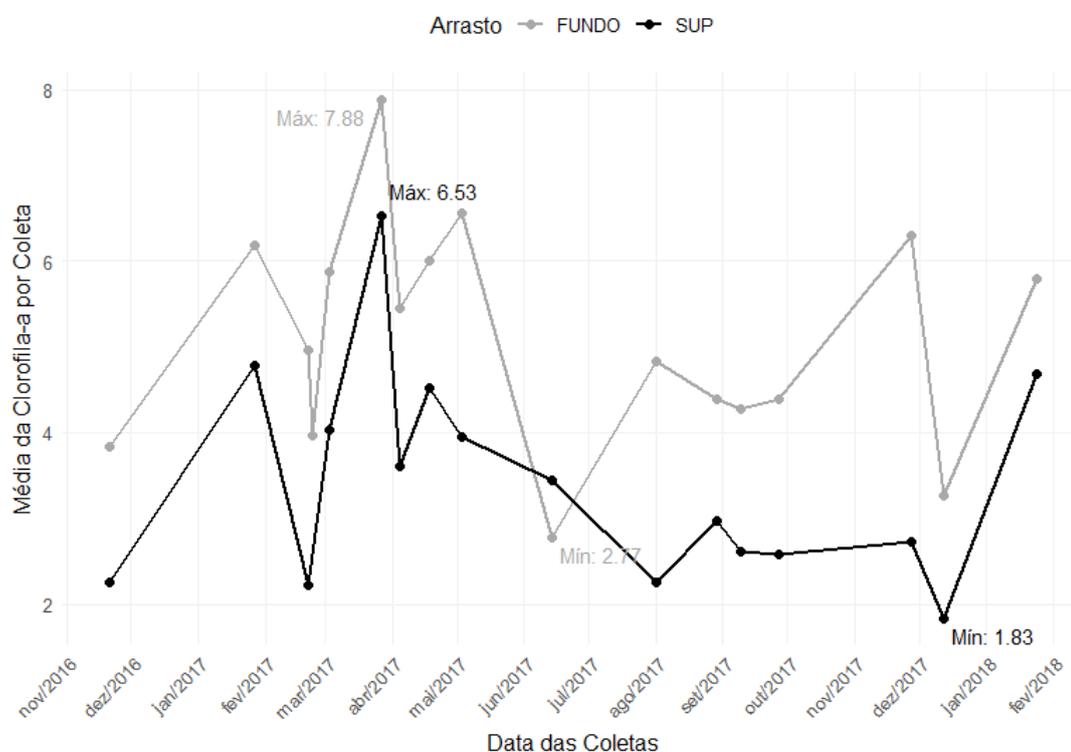
TABELA 3 – INDICATIVO DAS VARIÁVEIS ACEITAS PARA O MODELO ADITIVO GENERALIZADO, PARA SUPERFÍCIE E PARA O FUNDO COM O p -value e Deviance explained (DE).

	Fundo		Superfície
	Precipitação	Salinidade de fundo	Salinidade de superfície
p - value	0,0015	0,00341	0.0377
DE		50,50%	37,90%

nores taxas de precipitação resultam em maiores densidades de *T. turbinata* (Figura 12A). Para a salinidade, observa-se que a densidade do copépode é maior quando a salinidade de fundo está em torno de 28 (Figura 12B). Já para a superfície, apenas a salinidade de superfície foi selecionada como variável significativa, indicando um aumento gradual na densidade da espécie em níveis de salinidade acima de 27 (13).

Os modelos GAM ajustados para explicar a distribuição de *Temora turbinata* incluíram a salinidade e a precipitação como fatores com efeitos estatisticamente significativos. No entanto, a precipitação influencia indiretamente a distribuição da

FIGURA 11 – VALORES MÉDIOS DE CLOROFILA-A DO MAR DOS DIAS DE COLETA REGISTRADOS NO PONTO PRÓXIMO À ILHA DAS PEÇAS, DURANTE O PERÍODO DE NOVEMBRO DE 2016 A JANEIRO DE 2018.



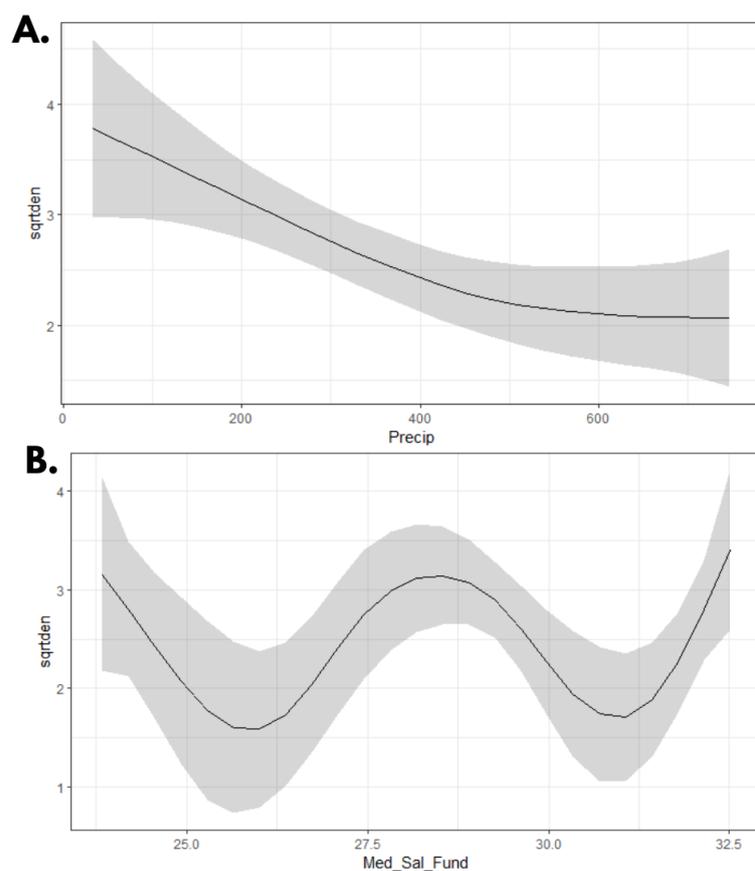
Os valores de clorofila do mês de outubro apresentaram erros por parte do CTD.

Fonte: Autor (2022).

espécie por meio de sua relação com a salinidade. Assim, a salinidade, tanto de fundo quanto de superfície, foi identificada como a variável chave para explicar a variação na densidade de *T. turbinata*.

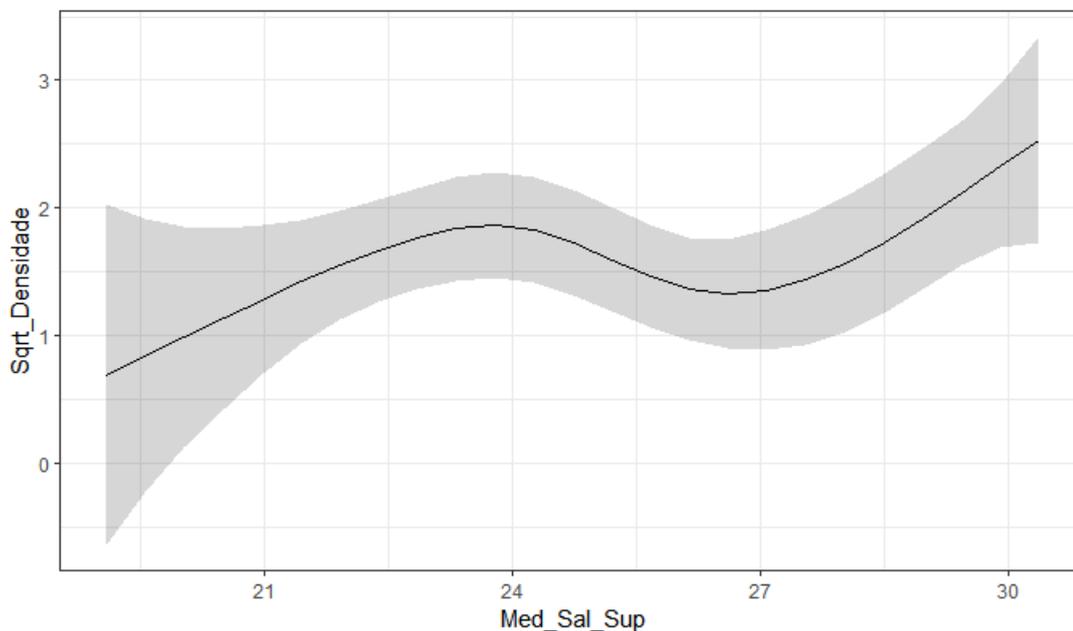
Nas Figuras 14 e 15, observa-se a relação entre a densidade de *Temora turbinata* e as variáveis ambientais ao longo do tempo. Os picos de densidade no fundo e na superfície ocorrem em épocas distintas, sugerindo uma variação sazonal na distribuição vertical da espécie. A maior densidade de copépodes na superfície, especialmente durante a primavera e o verão, pode estar associada à estratificação térmica e à maior disponibilidade de nutrientes nessas estações. Esses fatores, em conjunto com a salinidade, influenciam diretamente a distribuição espacial e temporal de *T. turbinata*.

FIGURA 12 – EFEITOS DAS VARIÁVEIS SELECIONADAS PELO MODELO ADITIVO GENERALIZADO ANALISANDO A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE FUNDO ONDE (A) PRECIPITAÇÃO E (B) MÉDIA DA SALINIDADE DE FUNDO.



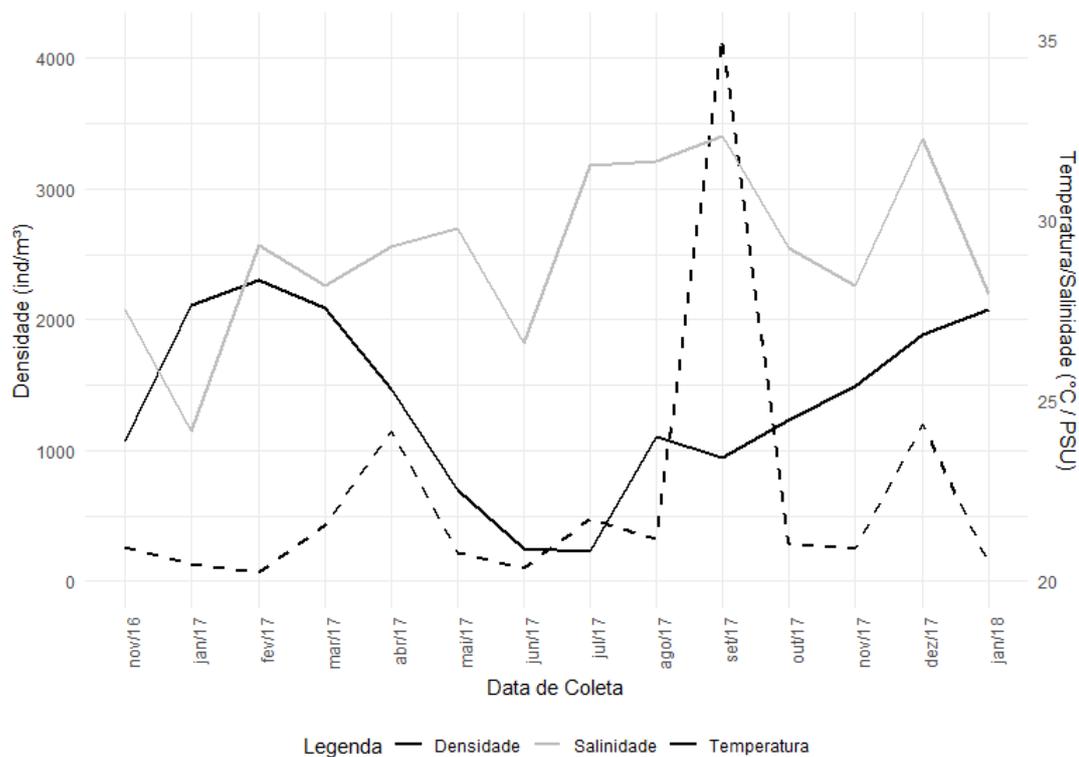
Fonte: Autor (2022).

FIGURA 13 – EFEITO DA VARIÁVEL SELECIONADA PELO MODELO ADITIVO GENERALIZADO ANALISANDO A INFLUÊNCIA DA SALINIDADE DE SUPERFÍCIE COM A DENSIDADE DO COPÉPODE *T. TURBINATA*.



Fonte: Autor (2022).

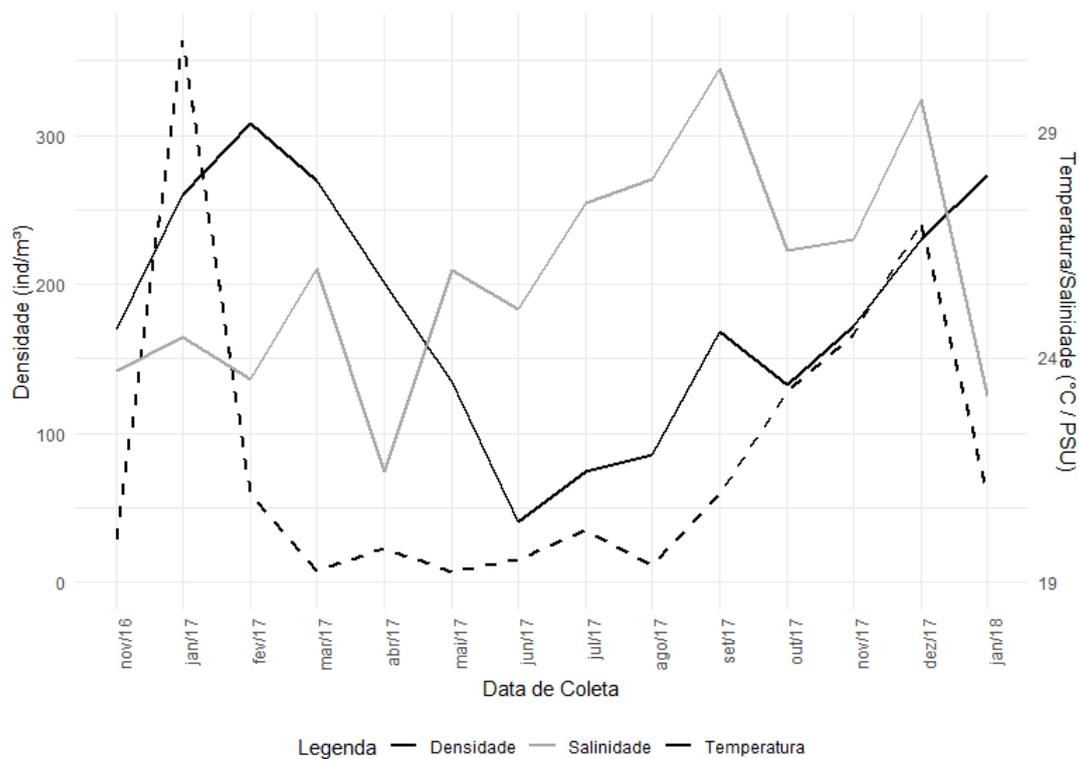
FIGURA 14 – RELAÇÃO DA DENSIDADE DE FUNDO DE *T. TURBINATA* COM AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE FUNDO, SALINIDADE DE TEMPERATURA.



Legenda — Densidade — Salinidade — Temperatura

Fonte: Autor (2022).

FIGURA 15 – RELAÇÃO DA DENSIDADE DE SUPERFÍCIE DE *T. TURBINATA* COM AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE FUNDO, SALINIDADE DE TEMPERATURA.



Fonte: Autor (2022).

5 DISCUSSÃO

5.1 ZOOPLÂNCTON E VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Estudos recentes apontam que a espécie *Temora turbinata* se estabeleceu como invasora no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), substituindo gradualmente a espécie nativa *Temora stylifera*. Embora o estudo não tenha focado diretamente na substituição de uma espécie pela outra, diversos trabalhos já documentaram essa dinâmica em outros estuários ao redor do mundo (ARA, 2001; ARA K, 2002; STERZA; FERNANDES, 2006; ARAUJO et al., 2008; KAMINSKI, 2009). A presença crescente de *T. turbinata* no CEP reflete a capacidade dessa espécie de colonizar áreas estuarinas, adaptando-se às condições locais, muitas vezes em detrimento de espécies nativas.

No entanto, ao invés de dizer que a *Temora turbinata* "prefere" salinidades elevadas, é mais apropriado afirmar que a espécie está associada a essas condições. A presença do copépode em áreas de maior salinidade está intimamente relacionada à intrusão de massas de água mais salinas no estuário, um fenômeno que está diretamente ligado à dinâmica da maré e à descarga fluvial. Assim, o gradiente salino, particularmente a estratificação vertical da salinidade, desempenha um papel crucial na distribuição da espécie (SALVADOR; BERSANO, 2017).. *T. turbinata* é um excelente indicador de águas mais salinas, sendo frequentemente encontrada em regiões de desembocaduras e áreas onde a intrusão de água oceânica é significativa.

Estudos em outros estuários, como o de Cananéia, também confirmam essa correlação. Ara K (2002) demonstrou que a densidade da *Temora turbinata* é maior em ambientes com salinidade elevada, especialmente em períodos de baixa precipitação e variações de temperatura e salinidade. No CEP, os resultados deste estudo confirmam essa tendência: a densidade da *T. turbinata* foi maior em períodos de menor precipitação e salinidade elevada, com temperaturas da água em torno de 27,5 °C. Esse padrão sugere que a espécie se beneficia das condições associadas à intrusão de água oceânica mais salina, especialmente nas camadas mais profundas da coluna d'água.

A intrusão de água marinha no estuário é um fator determinante na hidrodinâmica do CEP e influencia diretamente a distribuição de salinidade, temperatura e nutrientes ao longo da coluna d'água. Essa intrusão ocorre principalmente durante as marés enchentes, quando massas de água oceânica mais salina penetram no estuário, criando um gradiente de salinidade que afeta a estratificação e, por consequência, a distribuição de *T. turbinata*. Durante os períodos de seca, quando a descarga fluvial é menor, a intrusão de água salgada se intensifica, o que foi refletido pelos maiores valores de salinidade no fundo observados em nosso estudo.

Além da maré, o vento desempenha um papel fundamental na hidrodinâmica estuarina. Ventos vindos dos quadrantes leste e sudeste, predominantes na região, podem aumentar a mistura vertical na coluna d'água ao gerar correntes de superfície que facilitam o transporte de água oceânica para o interior do estuário. Esses ventos também podem intensificar a ressurgência de águas mais profundas, trazendo nutrientes para a superfície e estimulando a produtividade primária. Assim, a interação entre os ventos e as correntes de maré pode modificar o padrão de estratificação e favorecer a presença de *T. turbinata* em áreas com maior intrusão salina e maior disponibilidade de alimento.

No CEP, a combinação entre marés e ventos influencia a intrusão de água oceânica, o que, por sua vez, modula a estratificação da coluna d'água e afeta a distribuição de *T. turbinata*. Durante ventos mais fortes, é possível que a mistura vertical reduza a estratificação, resultando em uma distribuição mais uniforme da salinidade e, conseqüentemente, da espécie ao longo da coluna d'água. Por outro lado, ventos fracos podem permitir que a estratificação se intensifique, concentrando a espécie nas camadas mais profundas, onde a salinidade é maior e os nutrientes são mais abundantes.

No presente estudo, a *T. turbinata* apresentou uma forte relação com a precipitação, sua densidade era maior em períodos não chuvosos e conseqüentemente, ambientes mais salinos, em temperaturas da água em torno de 27,5°C. O copépode teve uma maior abundância no fundo, possivelmente pelo fato de que, a salinidade de fundo foi maior do que a superfície.

Além disso, a densidade populacional do copépode foi maior no fundo do estuário, o que pode estar relacionado às condições mais estáveis de salinidade nas camadas profundas, onde a influência da cunha salina é mais pronunciada. Salvador e Bersano (2017) observaram que a *Temora turbinata* era uma das espécies de copépodes mais abundantes no CEP, com abundância relativa maior no inverno (10,3%) em comparação com o verão (2,8%). Esses resultados são condizentes com os dados encontrados, onde o pico de densidade foi registrado na primavera, atingindo 4142 ind.m⁻³ no fundo. Outros estudos em diferentes regiões do mundo, como o estuário do rio Yangtze (ZHANG et al., 2010) e o Mar do Sudeste da China Oriental (WANG et al., 2021), também encontraram padrões semelhantes, com a *T. turbinata* associada a salinidades elevadas.

Apesar desses padrões observados, é necessário aprofundar o entendimento sobre como a *Temora turbinata* responde às condições ambientais do CEP. Como uma espécie invasora, ela parece se adaptar bem a períodos de seca e a temperaturas acima de 25 °C, o que foi observado no início da primavera de 2017 no CEP. No entanto, não é possível afirmar com segurança que a espécie "responde bem às

alterações climáticas"sem mais estudos sobre os efeitos dessas mudanças no longo prazo. Em vez disso, é mais apropriado dizer que a *T. turbinata* está bem adaptada às condições estuarinas atuais, com maior abundância em períodos de baixa precipitação e temperaturas elevadas.

A precipitação durante o período de estudo variou de 33,5 mm a 747,2 mm, com os maiores valores registrados no verão, conforme esperado para a região (MARONE et al., 2005). Os dados de precipitação afetam diretamente a salinidade do CEP, dado que o estuário é fortemente influenciado tanto pela maré quanto pela descarga fluvial (LANA et al., 2001; NOERNBERG et al., 2006). Durante os períodos de maior precipitação, a intrusão de água doce reduz a salinidade, especialmente nas camadas superficiais, enquanto em períodos de seca, a intrusão de água oceânica aumenta a salinidade, especialmente no fundo do estuário. Essa dinâmica de intrusão salina foi observada no estudo, onde a salinidade de fundo variou entre 24 e 32, com os maiores valores registrados no inverno, período de menor precipitação.

Em relação às temperaturas da água, as variações entre a superfície e o fundo foram mínimas, provavelmente devido à baixa profundidade da região estudada, o que facilita a mistura da coluna d'água. As temperaturas observadas durante o estudo (29,65 °C a 20,33 °C na superfície e 28,83 °C a 20,59 °C no fundo) estão dentro do intervalo esperado para a região, de acordo com (LANA et al., 2001). A falta de variação significativa entre as temperaturas de superfície e fundo sugere uma mistura vertical eficaz no CEP, influenciada pelas correntes de maré e pelo vento.

Os valores de clorofila-a registrados neste estudo foram maiores no fundo, variando de 9,23 a 2,77 µg/L, enquanto na superfície os valores variaram de 6,53 a 1,83 µg/L. A clorofila-a, como proxy da abundância de fitoplâncton, é uma variável importante para entender a disponibilidade de alimento para *Temora turbinata*. A maior concentração de clorofila no fundo pode indicar uma maior produtividade fitoplanctônica nessas camadas, especialmente em períodos de baixa precipitação, quando a estratificação da coluna d'água favorece a retenção de nutrientes nas camadas mais profundas. Esse padrão pode explicar, em parte, a maior abundância de *T. turbinata* no fundo, onde há maior disponibilidade de alimento.

Esse comportamento de migração vertical é uma estratégia comum em várias espécies de zooplâncton para otimizar a alimentação e evitar predadores. Em ambientes com estratificação bem definida, como o CEP durante o inverno e a primavera, a presença de um gradiente salino e de temperatura pode intensificar essa migração, com o zooplâncton se concentrando nas camadas mais profundas durante o dia e ascendendo à superfície durante a noite para se alimentar.

Estudos anteriores (REBELLO; BRANDINI, 1990) sugerem que a variação na concentração de clorofila-a está fortemente associada ao regime de chuvas. Assim,

futuras análises que integrem a dinâmica do fitoplâncton, representada pela clorofila-a, podem ajudar a esclarecer melhor como esses fatores interagem para influenciar a distribuição temporal e espacial de *Temora turbinata* no CEP.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo forneceu novas ideias sobre a distribuição e os fatores que influenciam a abundância de *Temora turbinata* no Complexo Estuarino da Paranaguá (CEP). As principais conclusões são:

- *Temora turbinata* foi uma espécie dominante e frequente ao longo do período de estudo, com picos de densidade distintos entre a superfície e o fundo, evidenciando variações sazonais e verticais na distribuição. O maior pico de densidade no fundo ocorreu em setembro de 2017, no início da primavera, atingindo 4142 ind.m⁻³, enquanto na superfície o pico foi registrado em janeiro de 2017, durante o verão.
- A salinidade foi um dos fatores-chave na explicação da variação na densidade da *T. turbinata*, refletindo a forte relação da espécie com a intrusão de águas marinhas mais salinas no estuário. No fundo, *T. turbinata* foi mais abundante em períodos de baixa precipitação, quando as condições salinas eram mais elevadas, reforçando seu caráter euhalino. Na superfície, a densidade da espécie aumentou gradualmente à medida que a salinidade superava 27, demonstrando a influência desse fator em diferentes profundidades da coluna d'água.
- A pequena variação de temperatura entre a superfície e o fundo indica uma coluna d'água relativamente bem misturada, especialmente em períodos de menor estratificação. No entanto, a estratificação salina, mais acentuada durante o inverno e a primavera, contribuiu para a maior concentração de *T. turbinata* no fundo, associada a maiores concentrações de clorofila-a e, portanto, maior disponibilidade de alimento.
- A concentração de clorofila-a, como *proxy* para a produtividade primária, foi maior no fundo, refletindo uma maior disponibilidade de fitoplâncton nessas camadas, o que pode ter favorecido a migração vertical de *T. turbinata* em busca de alimento. A variação sazonal da clorofila-a, ligada ao regime de chuvas e à intrusão marinha, influenciou diretamente a dinâmica populacional da espécie.
- Embora a causa da introdução de *T. turbinata* no CEP ainda não seja completamente concluída, os resultados indicam que a espécie está bem adaptada ao ambiente estuarino. Sua presença crescente e capacidade de se associar a condições de alta salinidade e produtividade primária sugerem que ela pode ter um papel cada vez mais relevante na estruturação da comunidade zooplanctônica do estuário.

Essas conclusões destacam a complexa interação entre variáveis ambientais e a dinâmica populacional de *Temora turbinata*, sugerindo que a espécie é influenciada por múltiplos fatores, como a salinidade, a produtividade primária e a hidrodinâmica estuarina. Estudos futuros devem focar na interação entre esses fatores e como mudanças climáticas e hidrológicas podem impactar a distribuição e a abundância de espécies invasoras como *T. turbinata* no CEP.

Além disso, ressalta-se a importância de manter registros de campo detalhados e bem organizados, para garantir a acessibilidade futura. Durante este estudo, alguns dados estavam incompletos ou confusos devido à falta de clareza na planilha fornecida. A falta de organização e padronização dos registros pode levar à perda de informações importantes, o que reforça a necessidade de um gerenciamento cuidadoso e estruturado de dados de campo.

REFERÊNCIAS

- ARA K, K. Temporal variability and production of *Temora turbinata* (Copepoda: Calanoida) in the Cananéia Lagoon estuarine system, São Paulo, Brazil. **Scientia Marina**, v. 66, n. 4, p. 399–406, 2002.
- ARA, K. Length-weight relationships and chemical content of the planktonic copepods in the Cananéia Lagoon estuarine system, São Paulo, Brazil. **Plankton Biology and Ecology**, v. 48, n. 2, p. 121–127, 2001.
- ARAÚJO, H.; MONTÚ, M. Novo registro de *Temora turbinata* (Dana, 1949)(Copepoda, Crustacea) para águas atlânticas. **Nauplius**, v. 1, n. 89-90, 1993.
- ARAUJO, H.; NASCIMENTO-VIEIRA, D.; NEUMANN-LEITÃO, S.; SCHWAMBORN, R.; LUCAS, A.; ALVES, J. Zooplankton community dynamics in relation to the seasonal cycle and nutrient inputs in an urban tropical estuary in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, SciELO Brasil, v. 68, p. 751–762, 2008.
- AVILA, T. R.; PEDROZO, C. S.; BERSANO, J. G. F. Temporal variation of the zooplankton from Tramandai Beach, RS, southern Brazil, with emphasis on Copepoda. **Iheringia. Série Zoologia**, SciELO Brasil, v. 99, p. 18–26, 2009.
- BARTON, K. MuMIn: multi-model inference. R package version 1. 0. 0. <http://r-forge.r-project.org/projects/mumin/>, 2009.
- BERASATEGUI, A. D.; RAMIREZ, F.; SCHIARITI, A. Patterns in diversity and community structure of epipelagic copepods from the Brazil–Malvinas Confluence area, south-western Atlantic. **Journal of Marine Systems**, Elsevier, v. 56, n. 3-4, p. 309–316, 2005.
- BOLTOVSKOY, D.; GIBBONS, M. J.; HUTCHINGS, L.; BINET, D. General biological features of the South Atlantic. **South Atlantic zooplankton**, Backhuys Publishers Leiden, v. 1, p. 1–42, 1999.
- BONECKER, A.; BONECKER, S.; BASSANI, C. Plâncton marinho. **Biologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciência**, p. 103–125, 2002.
- BRADFORD-GRIEVE, J.; MARKHASEVA, E.; ROCHA, C.; ABIAHY, B. In: **In South Atlantic Zooplankton**. Edição: Demetrio Boltovskoy. Leiden: Editora Backhuys Publishers, 1999. P. 869–876.
- BRADFORD, J. M. Distribution of the pelagic copepod *temora turbinata* in New Zealand coastal waters, and possible trans-tasman population continuity. **New Zealand journal of marine and freshwater research**, Taylor & Francis, v. 11, n. 1, p. 131–144, 1977.

- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. **Sociological methods & research**, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 33, n. 2, p. 261–304, 2004.
- CARLTON, J. T. Marine bioinvasions: the alteration of marine ecosystems by nonindigenous species. **Oceanography**, JSTOR, v. 9, n. 1, p. 36–43, 1996.
- CHIBA, S.; SAINO, T. Variation in mesozooplankton community structure in the Japan/East Sea (1991–1999) with possible influence of the ENSO scale climatic variability. **Progress in Oceanography**, Elsevier, v. 57, n. 3-4, p. 317–339, 2003.
- CONCEIÇÃO, L. R. da; SOUZA, C. S.; JUNIOR, P. d. O. M.; SCHWAMBORN, R.; NEUMANN-LEITÃO, S. Copepods community structure and function under oceanographic influences and anthropic impacts from the narrowest continental shelf of Southwestern Atlantic. **Regional Studies in Marine Science**, Elsevier, v. 47, p. 101931, 2021.
- DEVREKER, D.; SOUISSI, S.; SEURONT, L. Development and mortality of the first naupliar stages of *Eurytemora affinis* (Copepoda, Calanoida) under different conditions of salinity and temperature. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, Elsevier, v. 303, n. 1, p. 31–46, 2004.
- FALKENBERG, A. V. **Estudo da dispersão, mistura e qualidade da água do Complexo Estuarino de Paranaguá com uso de modelagem numérica**. 2009. Tese (Doutorado) – PhD thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- GASCA, R.; SEGURA, L.; SUÁREZ, E. El zooplancton marino. **Introducción al Estudio del Zooplancton Marino. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)/CONACYT. México, DF México**, p. 1–35, 1996.
- GONZÁLEZ, J. G.; BOWMAN, T. E. Planktonic copepods from Bahía Fosforescente, Puerto Rico, and adjacent waters. **Proceedings of the United States National Museum**, 1965.
- HASTIE, T. J.; TIBSHIRANI, R. J. Generalized additive models, volume 43 of. **Monographs on statistics and applied probability**, v. 15, 1990.
- HEIP, C.; GOOSEN, N.; HERMAN, P.; KROMKAMP, J.; MIDDELBURG, J.; SOETAERT, K. Production and consumption of biological particles in temperate tidal estuaries. **Oceanography and Marine Biology: an annual review**, 1995.
- HOBBS, J.; BENNETT, W.; BURTON, J. Assessing nursery habitat quality for native smelts (Osmeridae) in the low-salinity zone of the San Francisco estuary. **Journal of Fish Biology**, Wiley Online Library, v. 69, n. 3, p. 907–922, 2006.
- HOLLEBONE, A. L.; HAY, M. E. An invasive crab alters interaction webs in a marine community. **Biological Invasions**, Springer, v. 10, n. 3, p. 347–358, 2008.

HWANG, J.-S.; TU, Y.-Y.; TSENG, L.-C.; FANG, L.-S.; SOUISSI, S.; FANG, T.-H.; LO, W.-T.; TWAN, W.-H.; HSIAO, S.-H.; WU, C.-H. et al. Taxonomic composition and seasonal distribution of copepod assemblages from waters adjacent to nuclear power plant I and II in northern Taiwan. **Journal of Marine Science and Technology**, v. 12, n. 5, p. 4, 2004.

IUCN: The World Conservation Union: Guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss Caused by Alien Invasive Species. [S.l.: s.n.], 2000. <http://www.iucn.org/>. Acesso em 20/07/2022.

JOHNSON, W. S.; ALLEN, D. M. **Zooplankton of the Atlantic and Gulf coasts: a guide to their identification and ecology**. [S.l.]: JHU Press, 2012.

KAMINSKI, S. Mesozooplâncton do Estuário da Lagoa dos Patos e Zona Costeira Adjacente com Ênfase para os Copépodes *Acartia tonsa*, *Pseudodiaptomus richardi* e *Notodiaptomus incompositus* (2000–2005), 139 p. **Doctoral Thesis**, Institute of Oceanography Rio Grande, 2009.

KENNISH, M. J. **Estuarine research, monitoring, and resource protection**. [S.l.]: CRC Press, 2003.

LANA, P.; MARONE, E.; LOPES, R.; MACHADO, E. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: COASTAL marine ecosystems of Latin America. [S.l.]: Springer, 2001. P. 131–145.

LENZ, J. Chapter 1. In: HARRIS, R.; WIEBE, P.; LENZ, J.; SKJOLDAL, H. R.; HUNTLEY, M. (Ed.). **ICES Zooplankton Methodology Manual**. London: Academic Press, 2000. P. 1–32. ISBN 978-0-12-327645-2.

LIN, D.; LI, X.; FANG, H.; DONG, Y.; HUANG, Z.; CHEN, J. Calanoid copepods assemblages in Pearl River Estuary of China in summer: Relationships between species distribution and environmental variables. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 93, n. 3, p. 259–267, 2011. Dynamics of Chinese Muddy Coasts and Estuaries. ISSN 0272-7714.

LOPES, R. M.; VALE, R. d.; BRANDINI, F. P. Composição, abundância e distribuição espacial do zooplâncton no complexo estuarino de Paranaguá durante o inverno de 1993 e o verão de 1994. **Revista Brasileira de Oceanografia**, SciELO Brasil, v. 46, p. 195–211, 1998.

MACK, R. N.; SIMBERLOFF, D.; MARK LONSDALE, W.; EVANS, H.; CLOUT, M.; BAZZAZ, F. A. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. **Ecological applications**, Wiley Online Library, v. 10, n. 3, p. 689–710, 2000.

MALLIN, M.; PAERL, H.; RUDEK, J.; BATES, P. Regulation of estuarine primary production by watershed rainfall and river flow. **Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER**, v. 93, p. 199–203, jan. 1993. DOI: 10.3354/meps093199.

MANTOVANELLI, A.; MARONE, E.; DA SILVA, E.; LAUTERT, L.; KLINGENFUSS, M.; PRATA JR, V.; NOERNBERG, M.; KNOPPERS, B.; ANGULO, R. Combined tidal velocity and duration asymmetries as a determinant of water transport and residual flow in Paranaguá Bay estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Elsevier, v. 59, n. 4, p. 523–537, 2004.

MARONE, E.; MACHADO, E. C.; LOPES, R. M.; SILVA, E. T. d. Land-ocean fluxes in the Paranaguá Bay estuarine system, southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, SciELO Brasil, v. 53, p. 169–181, 2005.

MARQUES, S. C.; PARDAL, M.; PEREIRA, M.; GONÇALVES, F.; MARQUES, J.; AZEITEIRO, U. Zooplankton distribution and dynamics in a temperate shallow estuary. **Hydrobiologia**, Springer, v. 587, n. 1, p. 213–223, 2007.

MÁRQUEZ-ROJAS, B.; COLINA-ROMERO, H.; TROCCOLI, T. Temporal and spatial changes of the family Temoridae (Copepoda, Calanoida) in northeastern Venezuela (southeast Caribbean Sea). **Revista Acta Oceanográfica del Pacífico**, v. 6, n. 2, 2024.

MARTINS, C. C.; BRAUN, J. A.; SEYFFERT, B. H.; MACHADO, E. C.; FILLMANN, G. Anthropogenic organic matter inputs indicated by sedimentary fecal steroids in a large South American tropical estuary (Paranaguá estuarine system, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, Elsevier, v. 60, n. 11, p. 2137–2143, 2010.

1. Introduction. In: MAUCLINE, J. (Ed.). **The Biology of Calanoid Copepods**. [S.l.]: Academic Press, 1998. v. 33. (Advances in Marine Biology). P. 1–13.

MEDEIROS, A. M.; LUIZ, O.; DOMIT, C. Occurrence and use of an estuarine habitat by giant manta ray *Manta birostris*. **Journal of fish biology**, Wiley Online Library, v. 86, n. 6, p. 1830–1838, 2015.

MEDEIROS, A. M. **Assembleia de elasmobrânquios do Complexo Estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil: Abundância relativa, composição, ocupação espaço-temporal e padrões de comportamento**. 2020. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

MONTÚ, M.; CORDEIRO, T. A. Zooplankton del complejo estuarial de la Bahía de Paranaguá. I. Composición, dinámica de las especies, ritmos reproductivos y acción de los factores ambientales sobre la comunidad. **Revista Neritica**, v. 3, n. 1, p. 61–83, 1988.

NOERNBERG, M. A.; LAUTERT, L.; ARAÚJO, A. D.; MARONE, E.; ANGELOTTI, R.; NETTO JR, J.; KRUG, L. A. Remote sensing and GIS integration for modelling the Paranaguá estuarine complex-Brazil. **Journal of Coastal Research**, JSTOR, p. 1627–1631, 2006.

ORSI, J. J.; BOWMAN, T. E.; MARELLI, D. C.; HUTCHINSON, A. Recent introduction of the planktonic calanoid copepod *Sinocalanns doerrii* (Centropagidae) from mainland China to the Sacramento-San Joaquin Estuary of California. **Journal of Plankton Research**, Oxford University Press, v. 5, n. 3, p. 357–375, 1983.

REBELLO, J.; BRANDINI, F. P. Variação temporal de parâmetros hidrográficos e material particulado em suspensão em dois pontos fixos da Baía de Paranaguá, Paraná (junho/87-fevereiro/88). **Revista Neritica**, v. 5, n. 1, p. 95–111, 1990.

RICHARDSON, A. J. In hot water: zooplankton and climate change. **ICES Journal of Marine Science**, v. 65, n. 3, p. 279–295, mar. 2008. ISSN 1054-3139.

RUIZ, G. M.; FOFONOFF, P.; HINES, A. H.; GROSHOLZ, E. D. Non-indigenous species as stressors in estuarine and marine communities: assessing invasion impacts and interactions. **Limnology and oceanography**, Wiley Online Library, v. 44, 3part2, p. 950–972, 1999.

SALVADOR, B.; BERSANO, J. G. F. Zooplankton variability in the subtropical estuarine system of Paranaguá Bay, Brazil, in 2012 and 2013. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 199, p. 1–13, dez. 2017.

SANT'ANNA, E. E. Remains of the protozoan *sticholonche zanclea* in the faecal pellets of *Paracalanus quasimodo*, *Parvocalanus crassirostris*, *Temora stylifera* and *Temora turbinata* (copepoda, calanoida) in Brazilian coastal waters. **Brazilian Journal of Oceanography**, SciELO Brasil, v. 61, p. 73–76, 2013.

SANTOS, T. P.; CUTRIM, M. V. J.; CRUZ, Q. S. da; CAVALCANTI-LIMA, L. F.; SANTOS SÁ, A. K. D. dos; AZEVEDO-CUTRIM, A. C. G. de. Zooplankton community heterogeneity and trophic interactions in response to environmental drivers in a mesotidal estuary on the Brazilian equatorial margin—Lençóis Maranhenses National Park. **Freshwater Biology**, Wiley Online Library, 2024.

SCHUMANN, E.; LARGIER, J.; SLINGER, J. **Estuarine Hydrodynamics**. [S.l.: s.n.], abr. 1999. P. 27–52. ISBN 0521584108 (hb).

SOETAERT, K.; VAN RIJSWIJK, P. Spatial and temporal patterns of the zooplankton in the Westerschelde estuary. **Marine Ecology Progress Series**, v. 97, 1993.

STERZA, J. M.; FERNANDES, L. L. Zooplankton community of the Vitória Bay estuarine system (Southeastern Brazil): Characterization during a three-year study. **Brazilian Journal of Oceanography**, SciELO Brasil, v. 54, p. 95–105, 2006.

TEAM, R. C. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [http://www. R-project. org/](http://www.R-project.org/), 2013.

THOMAS, B. K.; MANIKANDAN, K.; QURBAN, M.; CLARDY, T. R.; SUNDARAMANICKAM, A.; KHALIL, A. B.; GOPALAN, J. Metabarcoding the zooplankton species of the Saudi Arabian Gulf: A study employing mock communities and two gene markers. **The Egyptian Journal of Aquatic Research**, Elsevier, v. 49, n. 3, p. 319–325, 2023.

WANG, Y.-G.; TSENG, L.-C.; XING, B.-P.; SUN, R.-X.; CHEN, X.-Y.; WANG, C.-G.; HWANG, J.-S. Seasonal Population Structure of the Copepod *Temora turbinata* (Dana, 1849) in the Kuroshio Current Edge, Southeastern East China Sea. **Applied Sciences**, MDPI, v. 11, n. 16, p. 7545, 2021.

WOOD, S. **Generalized Additive Models An Introduction with R, 2nd Edn., Chapman Hall/CRC, ISBN 9781315370279**. [S.l.: s.n.], 2017.

ZHANG, G.-T.; SUN, S.; XU, Z.-L.; ZHANG, Q.-L. et al. Unexpected dominance of the subtropical copepod *Temora turbinata* in the temperate Changjiang River Estuary and its possible causes. **Zoological Studies**, v. 49, n. 4, p. 492–503, 2010.