

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Renan Deschamps Westphal

**Avaliação do potencial de filtração do poliqueta *Ficopomatus enigmaticus* em
laboratório**

Florianópolis

2022

Renan Deschamps Westphal

**Avaliação do potencial de filtração do poliqueta *Ficopomatus enigmaticus* em
laboratório**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia
Orientador: Prof. Paulo Roberto Pagliosa Alves, Dr.
Coorientadora: Kalina Manabe Brauko, Dra.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Westphal, Renan Deschamps
Avaliação do potencial de filtração do poliqueta
Ficopomatus enigmaticus em laboratório / Renan Deschamps
Westphal ; orientador, Paulo Roberto Pagliosa Alves,
coorientadora, Kalina Manabe Brauko, 2022.
30 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia,
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Espécie invasora. 3. Alimentação. 4.
Microalgas. I. Alves, Paulo Roberto Pagliosa. II. Brauko,
Kalina Manabe. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Renan Deschamps Westphal

**Avaliação do potencial de filtração do poliqueta *Ficopomatus enigmaticus* em
laboratório**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Oceanografia” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Oceanografia

Florianópolis, 01 de dezembro de 2022.

Profa. Alessandra Larissa D’Oliveira Fonseca, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Paulo Roberto Pagliosa Alves, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Joseane Aparecida Marques, Dra.
Avaliadora
Ben-Gurion University of the Negev

Prof. Paulo Antunes Horta Júnior, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus queridos pais, que sempre estiveram ao meu lado e me incentivaram a realizar os meus sonhos. Ao meu falecido avô Osvaldo Deschamps, que me ensinou os bons valores que hoje carrego comigo. Aos meus irmãos, que foram os meus maiores exemplos durante o meu crescimento. Ao meu grande amigo de infância Leonardo, que vivenciou comigo tantas boas histórias. À minha namorada Letícia, pelo companheirismo, pelas risadas e palavras de conforto e carinho nos momentos mais difíceis. Aos meus amigos que me acompanham desde o início da graduação: Lucas, Henrique, Vitor, Letícia, Juliana e Khauany. Vocês certamente tornaram essa jornada muito mais leve e divertida.

Aos meus orientadores Paulo e Kalina, que alavancaram minha evolução acadêmica. Tenho sorte de ter aprendido tanto com cientistas tão brilhantes. Aos meus colegas e amigos que o laboratório me proporcionou: Dairana, Sofi, Julia e Leandro, que me ajudaram sem medir esforços no desenvolvimento do meu trabalho. Aos demais integrantes do NEMAR: Simão, Tião, Paulo, Eduardo e Gisela, que contribuíram com materiais, espaços físicos e valiosos conhecimentos. Por fim, aos integrantes do laboratório que sempre se mostra um fiel parceiro, o LAFIC. Em especial ao Cadu e Diego, grandes cientistas que me ensinaram muito e que sempre estiveram dispostos a me ajudar.

RESUMO

Um experimento foi conduzido para avaliar o potencial de filtração do poliqueta *Ficopomatus enigmaticus* frente a florações de microalgas simuladas em laboratório. Duas concentrações de um cultivo da microalga *Phaeodactylum tricornutum* foram utilizadas para medir taxas de filtração em diferentes intervalos de tempo dentro de um período de 120 minutos: uma alta (inicialmente a 15,2 mg/L) e outra baixa (inicialmente a 5,06 mg/L). Para calcular as taxas de filtração, foram medidos dois parâmetros ao longo do experimento: fluorescência e turbidez. As taxas de filtração não diferiram estatisticamente durante os três primeiros intervalos de medição (0-45; 45-70; 70-95 minutos, ANOVA $p > 0,05$). No entanto, foi encontrada uma taxa de filtração maior (1,99 ml/h) para o tratamento contendo a alta concentração de microalgas no último intervalo de tempo (95-120 minutos). A diferença nas taxas de filtração durante o último intervalo de tempo pode estar relacionada com uma capacidade de filtração limitada do poliqueta *Ficopomatus enigmaticus* em uma situação de baixa disponibilidade de alimento.

Palavras-chave: Espécie invasora. Alimentação. Microalgas.

ABSTRACT

An experiment was conducted in laboratory to evaluate the filtration potential of *Ficopomatus enigmaticus* against microalgae blooms simulated in laboratory. Two concentrations of a *Phaeodactylum tricornutum* microalgae culture were used to measure filtration rates at different time intervals within a period of 120 minutes: one high (initially at 15.2 mg/L) and the other low (initially at 5.06 mg/L). To calculate the filtration rates, two parameters were measured throughout the experiment: fluorescence and turbidity. Filtration rates did not differ statistically during the first three measurement intervals (0-45; 45-70; 70-95 minutes). However, a higher filtration rate (1,99 ml/h) was found for the treatment containing a high concentration of microalgae in the last time interval (95-120 minutes). The difference in filtration rates during the last time interval may be related to a limited filtration capacity of the polychaete *Ficopomatus enigmaticus* in a situation of low food availability.

Keywords: Invasive species. Feeding. Microalgae.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Agregados do <i>Ficopomatus enigmaticus</i> ocupando estruturas de marinas (a) e costões rochosos (b), na região central da Lagoa da Conceição	12
Figura 2 – Mapa da Lagoa da Conceição contendo o ponto de coleta dos agregados do <i>Ficopomatus enigmaticus</i>	15
Figura 3 – Estrutura preparada para o experimento. Mesa construída para controlar parâmetros como temperatura, salinidade e incidência de luz (a). Agregados posicionados dentro de caixas plásticas vazadas (b). Na parte inferior dos aquários, foram posicionados os circuladores de água e os termômetros, ambos conectados a um painel na parte superior.	16
Figura 4 – Esquema do experimento para avaliar as taxas de filtração do <i>Ficopomatus enigmaticus</i> em duas concentrações da microalga <i>Phaeodactylum tricorutum</i>	17
Figura 5 – Decaimento da fluorescência durante a alimentação do poliqueta <i>Ficopomatus enigmaticus</i> em duas concentrações diferentes da microalga <i>Phaeodactylum tricorutum</i> . A linha azul representa o decaimento da concentração alta adicionada (inicialmente a 15,2 mg/L), enquanto a linha laranja representa o decaimento da concentração baixa adicionada (inicialmente a 5,06 mg/L). As barras verticais indicam o desvio padrão	20
Figura 6 – Gráfico em barras dos controles mostrando as médias da fluorescência com desvio padrão para o início (tempo 0) e para o final do experimento (tempo 120). CA indica o controle da concentração alta; CB o controle da concentração baixa; e CP o controle contendo somente os poliquetas	21
Figura 7 – Gráfico em barras das médias das taxas de filtração (ml/h) das duas concentrações (Alta e Baixa) em diferentes intervalos de tempo (0-45; 45-70; 70-95; 95-120 minutos). As barras verticais indicam o erro padrão	22
Figura 8 – Curva de calibração usada para aferir a concentração do cultivo da <i>Phaeodactylum tricorutum</i> em mg/L através de uma medição direta de turbidez. No canto superior esquerdo, se encontra a equação da reta e o valor de R-quadrado	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sumário da Análise de Variância das taxas de filtração para as duas concentrações (Alta e Baixa) em diferentes intervalos de tempo. Em negrito indica $p < 0,05$	22
Tabela 2 – Dados de turbidez (FTU) obtidos para avaliar a taxa de filtração do <i>Ficopomatus enigmaticus</i> em um período de 120 minutos. CA indica o controle da concentração alta; CB o controle da concentração baixa; CP o controle contendo somente os poliquetas; PA o tratamento com poliquetas em concentração alta; PB o tratamento com poliquetas em concentração baixa; NA não se aplica	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
2.1	COLETA E DESENHO EXPERIMENTAL	15
2.2	MEDIÇÃO DA TAXA DE FILTRAÇÃO	17
2.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	18
3	RESULTADOS	19
3.1	FLUORESCÊNCIA E TURBIDEZ	19
3.2	CONTROLES.....	20
3.3	TAXAS DE FILTRAÇÃO.....	21
4	DISCUSSÃO	23
5	CONCLUSÃO.....	25
	REFERÊNCIAS.....	26
	APÊNDICE A – Preparação do cultivo de microalgas	29
	APÊNDICE B – Dados de turbidez.....	30

1 INTRODUÇÃO

Animais bentônicos filtradores como bivalves, poliquetas e briozoários possuem um papel importante na manutenção da qualidade da água de ambientes costeiros, sendo responsáveis pela redução do fitoplâncton e aumento da transparência na coluna d'água (BRUSCHETTI *et al.*, 2008; WILKINSON *et al.*, 1996). Alguns organismos possuem uma eficiência de filtração tão alta, que são capazes de filtrar todo o volume de um corpo de água dentro de 1-2 dias (OSTROUMOV, 2005). Dentro da classe Polychaeta, estão os Sabellidae e Serpulidae, que são anelídeos sésseis e eficientes filtradores. Estes organismos filtram com seus penachos branquiais, que movimentam a água circunjacente e levam partículas em suspensão até a boca (AMARAL; NONATO, 1996). O *Ficopomatus enigmaticus* pertence à família Serpulidae, que abrange os poliquetas filtradores que vivem em tubos calcários. Seus tubos formam recifes que podem variar de poucos centímetros até metros de diâmetro, com uma densidade que pode atingir 180000 ind/m² (ALIANI *et al.*, 1995; DITTMANN *et al.*, 2009).

O *Ficopomatus enigmaticus* foi amplamente estudado desde a sua primeira descrição na França, por Fauvel (1923). É um anelídeo com distribuição cosmopolita em regiões temperadas (TEN HOVE; WEERDENBURG, 1978), conhecido por causar distúrbios ecológicos nos locais onde se instala, podendo se tornar uma espécie invasora devido à sua eficiência reprodutiva e resistência a ambientes impactados (DITTMANN *et al.*, 2009). Na laguna Mar Chiquita, na Argentina, a espécie foi registrada na década de 1970 e, hoje, ocupa cerca de 80% da área, formando recifes com mais de 4 metros de diâmetro, sendo considerado um engenheiro ecossistêmico (OBENAT; PEZZANI, 1994; ORENSANZ; ESTIVARIZ, 1971; SCHWINDT; IRIBARNE, 2000). Estes recifes alteram a estrutura física do ambiente, a hidrodinâmica local, assim como o transporte de sedimentos (SCHWINDT; IRIBARNE; ISLA, 2004).

Em grandes densidades, o *Ficopomatus enigmaticus* também altera a produção primária e a turbidez em corpos de água semi-fechados. Na laguna Mar Chiquita, a espécie é capaz de reduzir a concentração de partículas em suspensão em até 50% durante a estação mais quente (BRUSCHETTI *et al.*, 2008). A sua taxa de filtração em uma concentração de 5,27 mg/L é de 8,59 ml/mg·h (DAVIES; STUART; DE VILLIERS, 1989). A espécie se alimenta preferencialmente de partículas entre 2-12 µm e a sua taxa de filtração aumenta com

a concentração de partículas, sem sinal de ponto de saturação (DAVIES; STUART; DE VILLIERS, 1989).

Em 2021, o *Ficopomatus enigmaticus* foi registrado pela primeira vez na Lagoa da Conceição, em Florianópolis. A espécie foi observada ocupando substratos consolidados, como árvores, cascos de embarcações, costões rochosos e trapiches de marinas (Figura 1). A Lagoa da Conceição é um local de grande importância socioeconômica para a região, onde ocorrem atividades de pesca, recreação e turismo (MIGUEZ, 2017). Porém, é um ambiente que se torna cada vez mais degradado, devido ao acelerado crescimento urbano em seu entorno. Nos últimos 15 anos, a Lagoa da Conceição apresentou frequentemente condições de eutrofização, devido à elevada carga de matéria orgânica oriunda de efluentes domésticos, principalmente na sua porção central e sul (SILVA *et al.*, 2017). Em consequência à eutrofização, ambientes aquáticos podem apresentar distúrbios ecológicos e perda de biodiversidade, o que favorece a instalação de espécies oportunistas, como o *Ficopomatus enigmaticus* (TOMAŠOVÝCH *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2021).

Figura 1 – Agregados do *Ficopomatus enigmaticus* ocupando estruturas de marinas (a) e costões rochosos (b), na região central da Lagoa da Conceição.



Fonte: Dairana Misturini (a) e Autor (b) (2021).

Desde 1989, a Lagoa da Conceição está conectada com um Sistema de Esgotamento Sanitário do tipo Lagoa de Evapoinfiltração. Essa tecnologia utilizada tem capacidade de tratamento limitada, o que resulta na descarga de uma elevada carga de nutrientes no sistema, como nitrogênio e fósforo (SANTOS, 2018). O excesso de nutrientes contribui para o processo de eutrofização, um dos principais responsáveis pelas florações de microalgas nocivas ao ambiente. No dia 25 de janeiro de 2021, durante um intenso período de chuvas na região de Florianópolis, a barragem da Lagoa de Evapoinfiltração, que acumulava há décadas

efluentes do respectivo Sistema de Esgotamento Sanitário, rompeu, resultando em uma grande descarga de efluentes domésticos no sistema lagunar, causando abruptas e profundas mudanças bioquímicas e a mortandade de organismos (PES, 2021).

A Lagoa da Conceição atualmente apresenta características que favorecem o *Ficopomatus enigmaticus*, como elevada concentração de nutrientes, baixa hidrodinâmica e águas salobras (DITTMANN *et al.*, 2009; SILVA, 2013; SILVA *et al.*, 2017). Logo, o presente trabalho propõe dar o primeiro passo no entendimento do impacto dessa espécie exótica na Lagoa da Conceição, focando principalmente no seu potencial de filtração.

É comum encontrar trabalhos relacionados ao potencial de filtração de organismos sésseis, como bivalves (OSTROUMOV, 2005), mas ainda são escassos os trabalhos que buscam entender o mesmo processo em poliquetas. Neste sentido, o presente trabalho visa avaliar o potencial de filtração do *Ficopomatus enigmaticus* frente a florações de microalgas simuladas em laboratório. Para isso, serão avaliadas taxas de filtração alimentando o *Ficopomatus enigmaticus* com diferentes concentrações de um cultivo de microalga. Será testada a sua atividade de filtração em uma condição de alta disponibilidade de alimento, simulando uma floração, e em uma condição de baixa disponibilidade de alimento. Pela alta capacidade de filtração da espécie sobre o fitoplâncton (BRUSCHETTI *et al.*, 2008), espera-se encontrar taxas de filtração maiores em uma concentração alta.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de filtração do poliqueta *Ficopomatus enigmaticus* frente a florações de microalgas simuladas em laboratório.

1.1.2 Objetivos Específicos

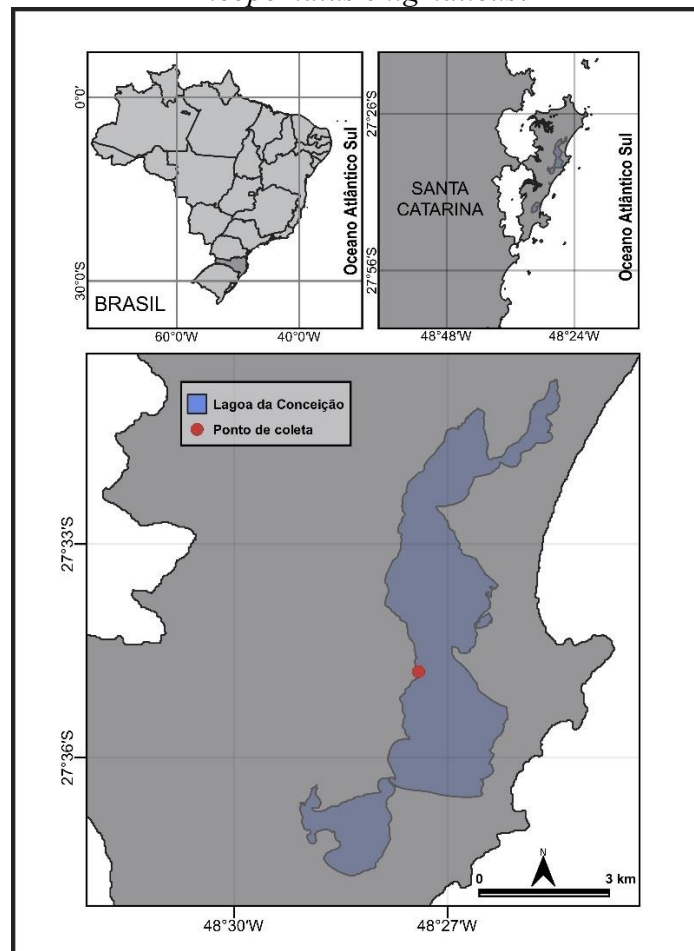
- a) Medir as taxas de filtração do poliqueta *Ficopomatus enigmaticus* em diferentes intervalos de tempo utilizando um cultivo da microalga *Phaeodactylum tricorutum*;
- b) Comparar as taxas de filtração do poliqueta *Ficopomatus enigmaticus* em duas concentrações diferentes (uma baixa e outra alta) de um cultivo da microalga *Phaeodactylum tricorutum*.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 COLETA E DESENHO EXPERIMENTAL

Os agregados do *Ficopomatus enigmaticus* foram coletados em costões rochosos na região central da Lagoa da Conceição (Figura 2) com uso de formão e martelo, sendo selecionados agregados de aproximadamente 10x10 cm. Em laboratório, a fauna associada foi removida com pinça e os agregados foram colocados em um cultivo contendo água filtrada (0,45 µm) previamente preparada a uma salinidade de 24 ppm. Além disso, o aquário contava com um sistema de recirculação e aeração. Os organismos foram aclimatados durante um período de 30 dias em uma sala com luz controlada, sendo a água do aquário renovada uma vez por semana e os organismos alimentados diariamente com um cultivo da microalga *Phaeodactylum tricorutum*.

Figura 2– Mapa da Lagoa da Conceição contendo o ponto de coleta dos agregados do *Ficopomatus enigmaticus*.



Fonte: Juliana Hayden (2022)

O experimento consistiu em 25 aquários divididos em 5 tratamentos com 5 réplicas cada, sendo: água com microalga a uma concentração alta (15,20 mg/L) e com poliqueta; água com microalga a uma concentração baixa (5,06 mg/L) e com poliqueta; água com microalga a uma concentração alta e sem poliqueta (controle); água com microalga a uma concentração baixa e sem poliqueta (controle); e água sem microalga e com poliqueta (controle). No dia do experimento, cada agregado foi posicionado dentro de pequenas caixas vazadas em um aquário de 10x10 cm de largura e 30 cm de altura, contendo 1,5 L de água salgada (24 ppm) e filtrada (0,45 µm) a uma temperatura de 25 °C (Figura 3). Para cada aquário, foi utilizado um circulador de água para evitar a sedimentação do material em suspensão e um termostato para controlar a temperatura durante o período do experimento. Além disso, a incidência de luz foi controlada para simular a luz do dia (fotoperíodo de 12 horas). Os organismos foram aclimatados nestas condições durante um período de 4 horas antes de o experimento ser realizado.

Figura 3 – Estrutura preparada para o experimento. Mesa construída para controlar parâmetros como temperatura, salinidade e incidência de luz (a). Agregados posicionados dentro de caixas plásticas vazadas (b). Na parte inferior dos aquários, foram posicionados os circuladores de água e os termômetros, ambos conectados a um painel na parte superior.



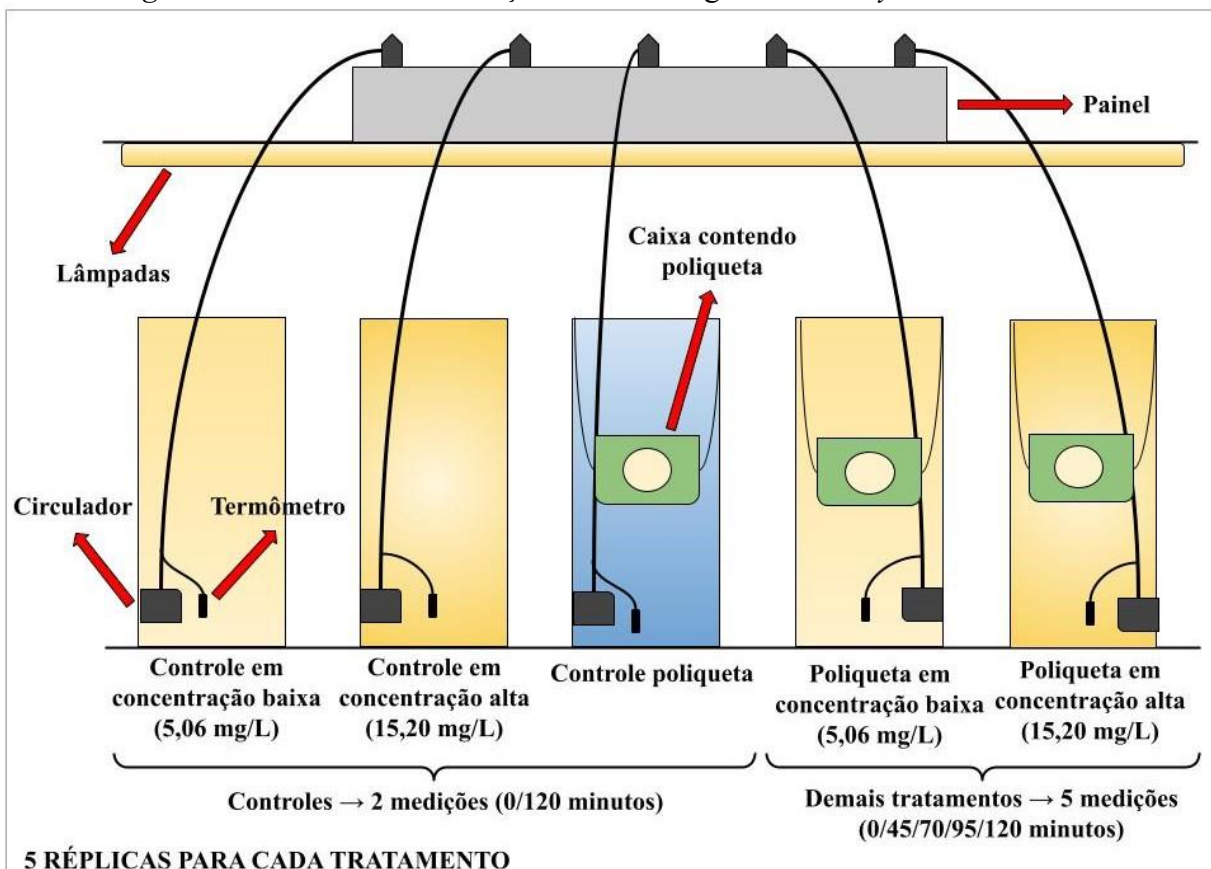
Fonte: autor (a) e Dairana Misturini (b) (2022)

2.2 MEDIÇÃO DA TAXA DE FILTRAÇÃO

As taxas de filtração em cada aquário foram inferidas e calculadas a partir do monitoramento de dois parâmetros: clorofila *a* e turbidez. A clorofila *a* foi medida diretamente com um fluorímetro (modelo AquaFluor Turner Designs), que gera um resultado em RFU (unidade relativa de fluorescência). Já a turbidez foi avaliada com um espectrofotômetro (modelo HACH DR/2000; faixa de detecção de 0 a 450 FTU).

Para os controles, foram feitas duas medições dos parâmetros: uma inicial, 15 minutos após a adição das microalgas (representa o tempo 0), e outra final, 120 minutos após a primeira medição. Já para os tratamentos incluindo os poliquetas e as microalgas em concentração baixa e alta, foram feitas cinco medições em intervalos de 25 minutos ao longo do experimento, exceto a segunda medição, que foi realizada 45 minutos após o tempo 0 (Figura 4).

Figura 4 – Esquema do experimento para avaliar as taxas de filtração do *Ficopomatus enigmaticus* em duas concentrações da microalga *Phaeodactylum tricornutum*.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

As medições foram feitas removendo alíquotas de 30 ml com o uso de pequenos béqueres. As amostras foram armazenadas em falcons de 50 ml, sendo que 25 ml eram destinados para medir turbidez e 5 ml eram destinados para medir fluorescência. As amostras usadas para medir fluorescência tiveram que ser diluídas dez vezes por conta de uma limitação de detecção do equipamento. Antes de uma nova coleta em cada aquário, os béqueres e os falcons eram limpos utilizando água destilada.

Para medir a taxa de filtração, foi necessário estimar o número de organismos presentes nos agregados. Para isso, foram capturadas imagens de uma vista superior dos agregados utilizando uma câmera fotográfica. Os organismos foram contados com o auxílio do programa Microsoft Paint. A taxa de filtração foi calculada utilizando a seguinte equação apresentada no trabalho de Coughlan (1969):

$$m = \frac{M}{n \times t} \times \log_e \frac{\text{conc0}}{\text{conct}}$$

Onde “*m*” é a taxa de filtração, que resultou no volume de água filtrado por um único indivíduo do agregado durante o período do experimento; “*M*” é o volume de suspensão; “*n*” é o número de organismos presente no agregado; “*t*” é a duração do experimento; “*conc0*” e “*conct*” são a concentração inicial e final, respectivamente. As concentrações utilizadas na fórmula foram os resultados de fluorescência. As taxas de filtração foram calculadas em cada intervalo de medição para obter um resultado gráfico para as duas concentrações ao longo do tempo.

Além disso, uma estimativa da biomassa dos organismos presentes nos agregados foi feita após o experimento. Essa medida foi realizada para calcular as taxas de filtração em ml/mg·h, de acordo com Davies, Stuart e Villiers (1989). Para isso, 15 organismos de cada agregado foram separados quebrando a estrutura de carbonato de cálcio. Os organismos então foram fixados em álcool 70% e pesados em uma balança de precisão. Em seguida, foram colocados em uma estufa a 70 °C durante um período de 24 horas e pesados novamente.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Uma Análise de Variância (ANOVA) foi utilizada para verificar se houve diferença significativa entre as taxas de filtração nas duas concentrações em diferentes intervalos de

tempo. Os dados foram previamente testados quanto a homoscedasticidade das variâncias com o teste de Cochran. Os testes estatísticos foram realizados com o programa R (R CORE TEAM, 2022), usando GAD (SANDRINI-NETO; CAMARGO, 2022).

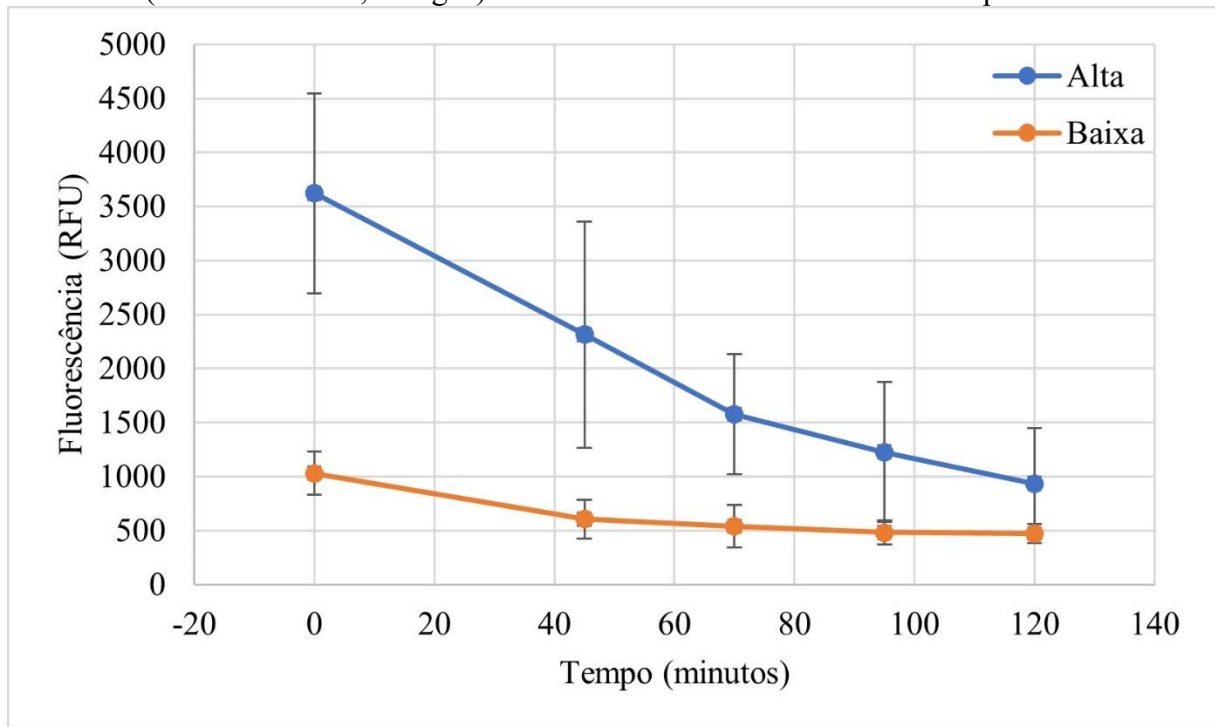
3 RESULTADOS

3.1 FLUORESCÊNCIA E TURBIDEZ

A Figura 5 mostra o decaimento da fluorescência durante o período de alimentação do *Ficopomatus enigmaticus* nos dois tratamentos: concentração alta (inicialmente a 15,20 mg/L) e concentração baixa (inicialmente a 5,06 mg/L). É possível observar uma inclinação maior das duas curvas nos primeiros 70 minutos, principalmente no tratamento da concentração alta. Após os primeiros 70 minutos, a curva passou a estabilizar, principalmente no tratamento da concentração baixa.

Durante o experimento, houve uma limitação do uso da turbidez como parâmetro para acompanhar a taxa de filtração do *Ficopomatus enigmaticus*. O método apresentou-se pouco sensível em relação à fluorescência, a qual gerou resultados mais robustos. Desta forma, o uso da turbidez foi descartado durante a análise de dados (APÊNDICE B).

Figura 5 – Decaimento da fluorescência durante a alimentação do poliqueta *Ficopomatus enigmaticus* em duas concentrações diferentes da microalga *Phaeodactylum tricorutum*. A linha azul representa o decaimento da concentração alta adicionada (inicialmente a 15,2 mg/L), enquanto a linha laranja representa o decaimento da concentração baixa adicionada (inicialmente a 5,06 mg/L). As barras verticais indicam o desvio padrão.



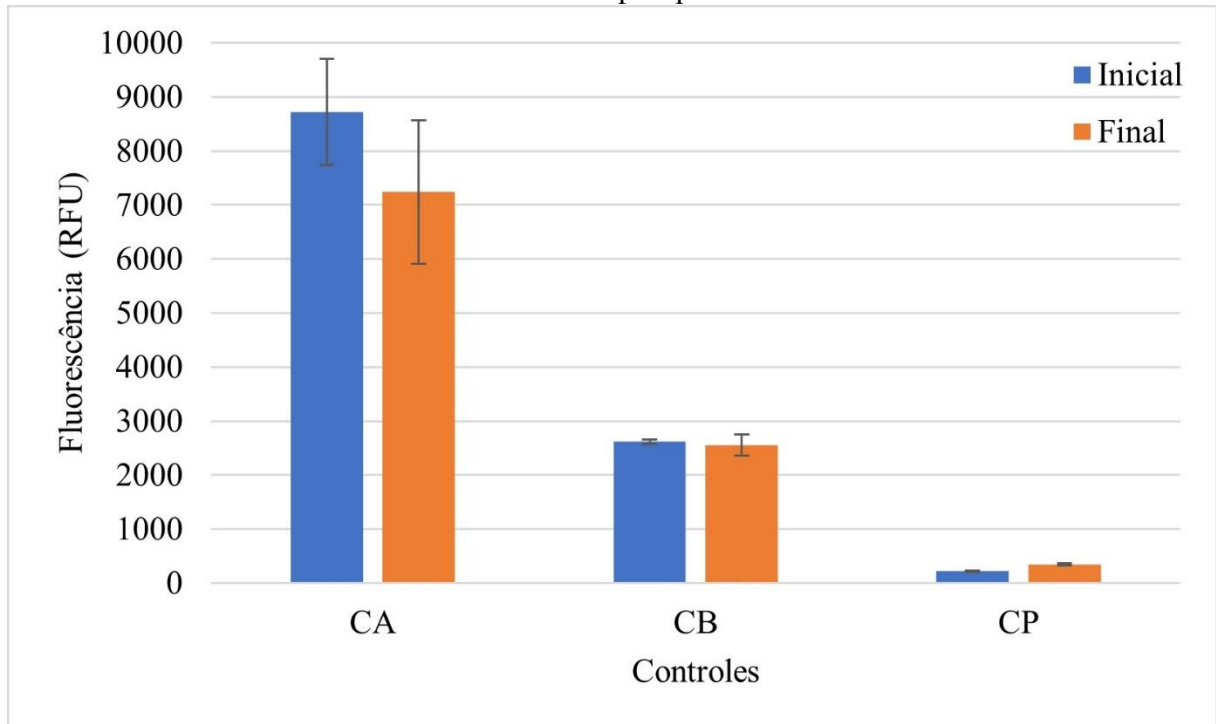
Fonte: elaborado pelo autor (2022)

3.2 CONTROLES

Os controles contendo somente as microalgas apresentaram uma medida inicial (tempo 0) de fluorescência consideravelmente maior que os tratamentos contendo os agregados do *Ficopomatus enigmaticus* (Figura 6). A fluorescência inicial para o controle da concentração alta (com desvio padrão) foi de 8725 ± 978 RFU e para a concentração baixa 2622 ± 42 RFU. Já para o tratamento contendo poliquetas em concentração alta foi de 3621 ± 925 RFU e para a concentração baixa foi de 1031 ± 202 RFU.

Nos dois controles contendo somente as algas, a fluorescência reduziu discretamente do início para o final do experimento. A fluorescência no controle da concentração alta reduziu de 8725 ± 978 RFU para 7240 ± 1323 , enquanto no controle da concentração baixa reduziu de 2622 ± 42 para 2559 ± 200 . O controle contendo somente os poliquetas apresentou uma fluorescência baixa em relação aos outros controles, como era esperado. A fluorescência inicial foi de 220 ± 10 RFU, enquanto a fluorescência final foi de 343 ± 18 RFU.

Figura 6 – Gráfico em barras dos controles mostrando as médias da fluorescência com desvio padrão para o início (tempo 0) e para o final do experimento (tempo 120). CA indica o controle da concentração alta; CB o controle da concentração baixa; e CP o controle contendo somente os poliquetas.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

3.3 TAXAS DE FILTRAÇÃO

Nos três primeiros intervalos (0-45, 45-70 e 70-95 minutos), as taxas de filtração não foram consideradas estatisticamente diferentes (ANOVA $p > 0,05$). Porém, foram estatisticamente diferentes no último intervalo (95-120 minutos), onde a taxa de filtração da concentração alta foi maior que a taxa de filtração da concentração baixa (Tabela 1).

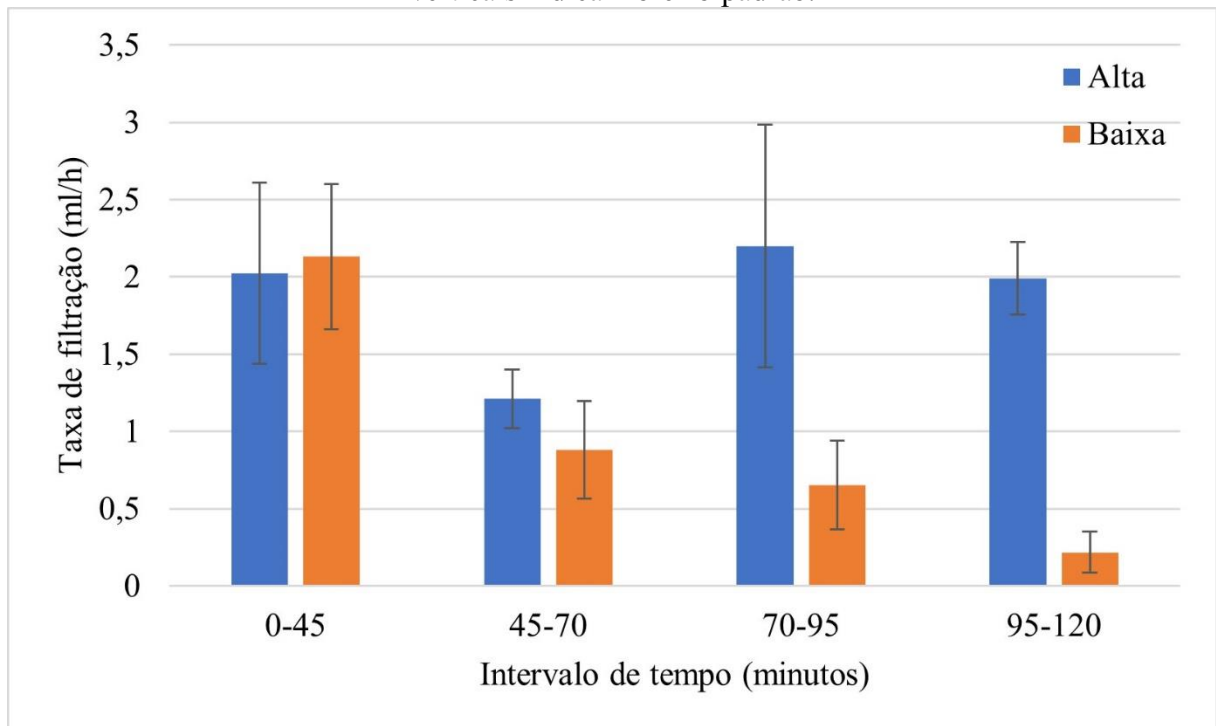
Tabela 1 – Sumário da Análise de Variância das taxas de filtração para as duas concentrações (Alta e Baixa) em diferentes intervalos de tempo. Em negrito indica $p < 0,05$.

Intervalo (minutos)		Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor-F	Valor-P
0-45	Concentração	1	0,0292	0,0292	0,0207	0,8892
	Resíduo	8	11,2698	1,4087		
45-70	Concentração	1	0,2723	0,2723	0,8110	0,3941
	Resíduo	8	2,6856	0,3357		
70-95	Concentração	1	5,9908	5,9908	3,4201	0,1016
	Resíduo	8	14,0129	1,7516		
95-120	Concentração	1	7,8677	7,8677	42,8480	0,0002
	Resíduo	8	1,4690	0,1836		

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A Figura 7 mostra graficamente os resultados obtidos para as taxas de filtração nas duas concentrações em diferentes intervalos de tempo. É possível observar que as taxas de filtração para a concentração alta se mantiveram estáveis (com exceção do intervalo 45-70 minutos), enquanto as taxas de filtração na concentração baixa tenderam a diminuir. Apesar desta tendência ser observada graficamente, as taxas de filtração só se apresentaram estatisticamente diferentes no último intervalo (95-120 minutos).

Figura 7 – Gráfico em barras das taxas de filtração (ml/h) das duas concentrações (Alta e Baixa) em diferentes intervalos de tempo (0-45; 45-70; 70-95; 95-120 minutos). As barras verticais indicam o erro padrão.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A taxa de filtração utilizando a massa seca dos organismos foi calculada usando a média das taxas de filtração dos três primeiros intervalos (0-45; 45-70; 70-95 minutos), onde não houve diferença significativa entre concentrações. A taxa de filtração encontrada (com desvio padrão) foi de $0,91 \pm 0,69$ ml/mg·h.

4 DISCUSSÃO

As taxas de filtração foram diferentes entre as duas concentrações somente no último intervalo (95-120 minutos), onde a taxa de filtração no tratamento da concentração alta foi maior que na baixa. Este resultado mostra que pode ter ocorrido uma redução do potencial de filtração do *Ficopomatus enigmaticus* em uma situação de baixa disponibilidade de alimento. Outros invertebrados filtradores apresentam este comportamento, como os bivalves *Cardium edule*, *Mytilus edulis* e *Mya arenaria*, que filtram microalgas em uma capacidade máxima até a concentração atingir um nível crítico (RIISGÅRD; KITTNER; SEERUP, 2003). Durante o experimento, é provável que um nível crítico de concentração de microalgas tenha sido atingido no último intervalo de tempo no tratamento com a concentração baixa contendo o *Ficopomatus enigmaticus*.

A diferença observada entre a fluorescência na primeira medida (tempo 0) dos controles contendo somente microalgas em relação aos tratamentos contendo poliquetas e as microalgas pode indicar que os organismos filtraram uma grande quantidade de alimento durante os 15 minutos de espera antes da primeira medição dos parâmetros. Logo, pode ter ocorrido uma subestimação do potencial de filtração do *Ficopomatus enigmaticus*, que aparentemente iniciou a filtração logo após a adição do alimento.

Davies, Stuart e De Villiers (1989) calcularam a taxa de filtração do *Ficopomatus enigmaticus* utilizando a biomassa dos organismos. A taxa encontrada pelos autores foi de 8,59 ml/mg·h em uma concentração média de 5,27 mg/L de partículas em suspensão. No presente trabalho, a taxa de filtração encontrada foi de $0,91 \pm 0,69$ ml/mg·h, um valor aproximadamente nove vezes menor. A grande diferença entre as taxas de filtração encontradas nos dois trabalhos pode estar relacionada às diferenças entre as metodologias empregadas.

A *Phaeodactylum tricornutum* apresenta dimensão menor (15-20 µm de comprimento e 4 µm de largura) que as principais diatomáceas encontradas na Lagoa da Conceição, dentre elas estão: *Cyclotella stlorum* (diâmetro de 30-40 µm), *Entomoneis alata*

(eixo apical de 100 μm), *Entomoneis pulchra* (eixo apical de 200-270 μm), *Navicula pennata* (eixo apical de 50-100 μm), *Plagiotropis lepidoptera* (eixo apical de 90-120 μm) e *Rhopalodia musculus* (eixo apical de 30-80 μm) (DE SOUZA-MOSIMANN *et al.*, 2011). Entretanto, a *Phaeodactylum tricornutum* apresenta dimensão similar a uma outra microalga reportada na Lagoa da Conceição, que está incluída na Lista de Referências Taxonômicas de Microalgas Nocivas da COI-UNESCO: *Fibrocapsa japonica*, da classe Raphidophyceae, com tamanho que varia de 15-20x20-30 μm , caracterizando um potencial alimento para o *Ficopomatus enigmaticus*.

Em fevereiro de 2021, após o rompimento da Lagoa de Evapoinfiltração, foi reportado o primeiro caso de floração da *Fibrocapsa japonica* em Santa Catarina (PES, 2021). A *Fibrocapsa japonica* é conhecida por causar florações nocivas, levando a mortandade de organismos marinhos (NÚÑEZ-VÁZQUEZ, 2011; PEZZOLESI, 2010). Durante a floração que ocorreu em 2021 na Lagoa da Conceição, milhares de organismos como peixes, crustáceos, bivalves, gastrópodes e até mesmo poliquetas foram encontrados mortos na região do Saquinho, situada na parte norte da Lagoa da Conceição (PES, 2021). O potencial de filtração observado alimentando-se o *Ficopomatus enigmaticus* com a microalga *Phaeodactylum tricornutum* durante o experimento pode indicar que este organismo é capaz de beneficiar da ocorrência da *Fibrocapsa japonica*, que possui dimensão similar, podendo reduzir ou até mesmo eliminar as chances de novas florações. Porém, mais estudos são necessários para confirmar esta hipótese, já que não existem trabalhos relacionando a alimentação do *Ficopomatus enigmaticus* com esta ou outra espécie de microalga nociva.

O *Ficopomatus enigmaticus* possivelmente se beneficiou da grande descarga de matéria orgânica e nutrientes após o rompimento da Lagoa de Evapoinfiltração, já que este organismo é conhecido por tolerar locais eutrofizados (DITTMANN *et al.*, 2009). Durante saídas de campo realizadas entre 2021 e 2022, foi possível acompanhar o rápido crescimento e a permanência do *Ficopomatus enigmaticus* ao longo de um ano. A espécie passou a ocupar grandes áreas em costões rochosos, trapiches e outros locais que apresentam substrato consolidado. Isso pode indicar que está ocorrendo um processo de estabelecimento desta espécie no ambiente, como já ocorreu em outros locais do mundo. Dessa forma, o *Ficopomatus enigmaticus* pode se tornar uma espécie invasora e elemento chave na Lagoa da Conceição, alterando características bióticas e abióticas do sistema.

5 CONCLUSÃO

O *Ficopomatus enigmaticus* se mostrou um eficiente filtrador e apresentou uma taxa de filtração maior em uma concentração alta de microalgas. Neste tratamento, observou-se uma rápida alteração na transparência da água. Em grandes densidades, estes organismos poderiam causar o mesmo efeito na Lagoa da Conceição, principalmente em um cenário de mudanças climáticas, já que o *Ficopomatus enigmaticus* aumenta o seu potencial de filtração com o aumento de temperatura (EWELS-BEZUIDENHOUT, 2021). Assim, recomenda-se que sejam realizadas estimativas em campo da densidade do *Ficopomatus enigmaticus* acompanhadas de monitoramentos de parâmetros físico-químicos, como temperatura, salinidade e pH. Dessa forma, será possível compreender melhor o seu impacto na concentração de materiais em suspensão na Lagoa da Conceição.

Quando foram comparadas as taxas de filtração do poliqueta *Ficopomatus enigmaticus* em diferentes concentrações da microalga *Phaeodactylum tricornutum*, encontrou-se uma diferença significativa somente quando a concentração de partículas no tratamento da concentração baixa atingiu um nível crítico de disponibilidade de alimento. Para trabalhos futuros envolvendo a atividade de filtração do *Ficopomatus enigmaticus*, recomenda-se que seja realizado um acompanhamento do seu comportamento durante o período de alimentação, já que, em situações de baixa disponibilidade de alimento, estes organismos reduzem a sua taxa de filtração, provavelmente recolhendo as coroas branquiais. Uma alternativa viável para confirmar esta hipótese é utilizar uma câmera de vídeo durante o experimento.

Por fim, sugere-se que sejam testadas outras formas de alimentação para experimentos que avaliem a atividade de filtração do *Ficopomatus enigmaticus*, incluindo algas nocivas causadoras de florações, como a *Fibrocapsa japonica*. Dessa forma, será possível testar o seu papel na biorremediação do sistema.

REFERÊNCIAS

- ALIANI, Stefano *et al.* Scanning electron microscope observations on the tube of the reef-forming serpulid *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel)(Annelida, Polychaeta). **Italian Journal of Zoology**, v. 62, n. 4, p. 363-367, 1995.
- AMARAL, A. Cecília Z.; NONATO, Edmundo F. **Annelida Polychaeta: características, glossário e chaves para famílias e gêneros da costa brasileira**. Editora da UNICAMP, 1996.
- BAUMGARTEN, Maria da Graça Zepka; DE BARROS ROCHA, Jusseli Maria; NIENCHESKI, Luis Felipe Hax. **Manual de análises em oceanografia química**. Furg, 1996.
- BRUSCHETTI, Martin *et al.* Grazing effect of the invasive reef-forming polychaete *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel) on phytoplankton biomass in a SW Atlantic coastal lagoon. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 354, n. 2, p. 212-219, 2008.
- COUGHLAN, Jack. The estimation of filtering rate from the clearance of suspensions. **Marine biology**, v. 2, n. 4, p. 356-358, 1969.
- DAVIES, B. R.; STUART, V.; DE VILLIERS, M. The filtration activity of a serpulid polychaete population (*Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel) and its effects on water quality in a coastal marina. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 29, n. 6, p. 613-620, 1989.
- DE SOUZA-MOSIMANN, Roseli Maria *et al.* The diatom flora in Conceição Lagoon, Florianópolis, SC, Brazil. **Ínsula Revista de Botânica**, n. 40, p. 25-25, 2011.
- DITTMANN, Sabine *et al.* Habitat requirements, distribution and colonisation of the tubeworm *Ficopomatus enigmaticus* in the Lower Lakes and Coorong. **Report for the South Australian Murray-Darling Basin Natural Resources Management Board, Adelaide**, p. 99, 2009.
- EWELS-BEZUIDENHOUT, Melissa. **The implications of climate change for the invasive tube worm *Ficopomatus enigmaticus***. 2021. Tese de Doutorado. Stellenbosch: Stellenbosch University.
- FAUVEL, Pierre. Un nouveau serpulien d'eau saumâtre *Mercierella ng enigmatica* n. sp. **Bulletin de la Société zoologique de France**, v. 46, p. 424-430, 1923.
- FONSECA, Alessandra; BRAGA, Elisabete S.; EICHLER, Beatriz B. Distribuição espacial dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da biomassa fitoplanctônica no sistema pelágico da Lagoa da Conceição, Santa Catarina, Brasil (Setembro, 2000). **Atlântica, Rio Grande**, v. 24, n. 2, p. 69-83, 2002.
- GUILLARD, Robert RL. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In: **Culture of marine invertebrate animals**. Springer, Boston, MA, 1975. p. 29-60.

GUILLARD, Robert RL; RYTHER, John H. Studies of marine planktonic diatoms: I. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. **Canadian journal of microbiology**, v. 8, n. 2, p. 229-239, 1962.

MIGUEZ, Bruno Henrique Moreira. **Serviços ecossistêmicos e gestão na Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC**. TCC (Graduação) – Curso de Oceanografia, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/192086>. Acesso em: 1 fev. 2022.

NÚÑEZ-VÁZQUEZ, Erick J. *et al.* Impact of harmful algal blooms on wild and cultured animals in the Gulf of California. **Journal of Environmental Biology**, v. 32, n. 4, p. 413, 2011.

OBENAT, Sandra M.; PEZZANI, Silvia E. Life cycle and population structure of the polychaete *Ficopomatus enigmaticus* (Serpulidae) in Mar Chiquita coastal lagoon, Argentina. **Estuaries**, v. 17, n. 1, p. 263-270, 1994.

ORENSANZ, José M.; ESTIVARIZ, María C. Los anélidos poliquetos de aguas salobres de la Provincia de Buenos Aires. **Revista del Museo de La Plata**, v. 11, n. 98, p. 95-104, 1971.

OSTROUMOV, S. A. Some aspects of water filtering activity of filter-feeders. **Hydrobiologia**, v. 542, n. 1, p. 275-286, 2005.

PES. **Nota técnica N°3/PES/2021**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://noticias.paginas.ufsc.br/files/2021/02/nota-t%C3%A9cnica-completa-aqui.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2022.

PEZZOLESI, Laura *et al.* Toxicity evaluation of *Fibrocapsa japonica* from the Northern Adriatic Sea through a chemical and toxicological approach. **Harmful Algae**, v. 9, n. 5, p. 504-514, 2010.

R CORE TEAM (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIISGÅRD, Hans Ulrik; KITTNER, Christina; SEERUP, Dorthe F. Regulation of opening state and filtration rate in filter-feeding bivalves (*Cardium edule*, *Mytilus edulis*, *Mya arenaria*) in response to low algal concentration. **Journal of experimental marine biology and ecology**, v. 284, n. 1-2, p. 105-127, 2003.

SANDRINI-NETO, L.; CAMARGO, M.G. (2022). GAD: an R package for ANOVA designs from general principles. Available on CRAN.

SANTOS, Vanessa dos. **Disposição de efluentes tratados em uma lagoa de evapoinfiltração**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/205300>. Acesso em: 7 mar. 2022.

SCHWINDT, Evangelina; IRIBARNE, Oscar Osvaldo; ISLA, Federico Ignacio. Physical effects of an invading reef-building polychaete on an Argentinean estuarine environment. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 59, n. 1, p. 109-120, 2004.

SCHWINDT, Evangelina; IRIBARNE, Oscar Osvaldo. Settlement sites, survival and effects on benthos of an introduced reef-building polychaete in a SW Atlantic coastal lagoon. **Bulletin of Marine Science**, v. 67, n. 1, p. 73-82, 2000.

SILVA, Júlia Costa. **Análise numérica da influência dos aportes fluviais e antrópicos sobre a hidrodinâmica residual e a qualidade da água da Lagoa da Conceição-Florianópolis-SC**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/122929>. Acesso em: 25 fev. 2022.

SILVA, Victor Eduardo Cury *et al.* Space time evolution of the trophic state of a subtropical lagoon: Lagoa da Conceição, Florianópolis Island of Santa Catarina, Brazil. **RBRH**, v. 22, 2017.

TEN HOVE, H. A.; WEERDENBURG, J. C. A. A generic revision of the brackish-water serpulid *Ficopomatus* Southern 1921 (Polychaeta: Serpulinae), including *Mercierella* Fauvel 1923, *Sphaeropomatus* Treadwell 1934, *Mercierellopsis* Rioja 1945 and *Neopomatus* Pillai 1960. **The Biological Bulletin**, v. 154, n. 1, p. 96-120, 1978.

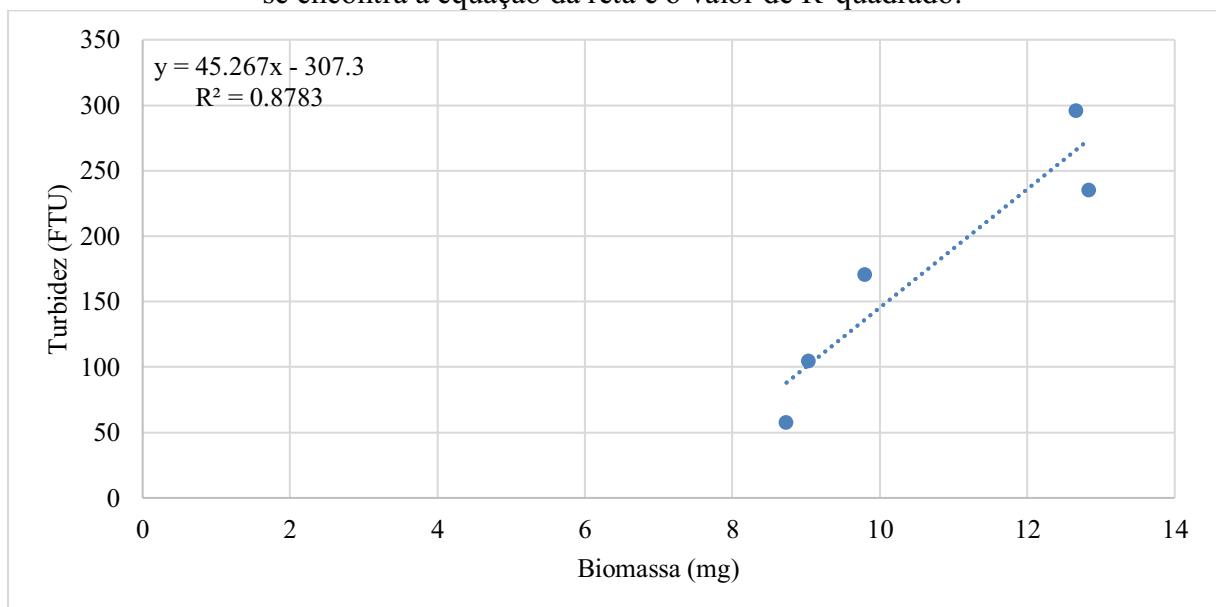
TOMAŠOVÝCH, Adam *et al.* Tracing the effects of eutrophication on molluscan communities in sediment cores: outbreaks of an opportunistic species coincide with reduced bioturbation and high frequency of hypoxia in the Adriatic Sea. **Paleobiology**, v. 44, n. 4, p. 575-602, 2018.

WANG, Huan *et al.* Eutrophication causes invertebrate biodiversity loss and decreases cross-taxon congruence across anthropogenically-disturbed lakes. **Environment International**, v. 153, p. 106494, 2021.

APÊNDICE A – Preparação do cultivo de microalgas

Um cultivo da microalga *Phaeodactylum tricornutum* foi preparado para avaliar a taxa de filtração do *Ficopomatus enigmaticus* no experimento. Para isso, foi empregada a metodologia de Guillard e Ryther (1962), e Guillard (1975), a qual descreve a preparação do meio *f/2*, uma solução de nutrientes comumente utilizada para cultivar microalgas encontradas em ambientes costeiros. Para aferir a concentração do cultivo, foi criada uma curva de calibração relacionando turbidez com biomassa (Figura 8). Esse procedimento foi feito para obter rapidamente a concentração em mg/L através de uma medição direta de turbidez. Para isso, foram retiradas alíquotas do cultivo durante a fase exponencial de crescimento das microalgas e feitas diluições de 100, 80, 60, 40 e 20%. As diluições foram realizadas em triplicata utilizando um volume de 40 ml. Para completar o volume das diluições, foi utilizada água salgada (24 ppm) e filtrada (0,45 µm), previamente preparada. Para cada réplica, foi feita uma medida de turbidez e outra de biomassa. Primeiramente, a turbidez foi medida com um espectrofotômetro (modelo HACH DR/2000; faixa de detecção de 0 a 450 FTU). Em seguida, a biomassa foi obtida adaptando-se a metodologia de Baumgarten (1996). Esta metodologia tem como princípio a gravimetria de volatilização para obter o peso de amostras filtradas.

Figura 8 – Curva de calibração usada para aferir a concentração do cultivo da *Phaeodactylum tricornutum* em mg/L através de uma medição direta de turbidez. No canto superior esquerdo, se encontra a equação da reta e o valor de R-quadrado.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

APÊNDICE B – Dados de turbidez

Os resultados de turbidez foram excluídos da análise de dados, pois não foi alcançada a sensibilidade desejada para acompanhar o decaimento do material em suspensão. Na Tabela 2, estão disponibilizados os dados obtidos durante o experimento.

Tabela 2 – Dados de turbidez (FTU) obtidos para avaliar a taxa de filtração do *Ficopomatus enigmaticus* em um período de 120 minutos. CA indica o controle da concentração alta; CB o controle da concentração baixa; CP o controle contendo somente os poliquetas; PA o tratamento com poliquetas em concentração alta; PB o tratamento com poliquetas em concentração baixa; NA não se aplica.

Tratamento	Turbidez (FTU) Tempo 0	Turbidez (FTU) Tempo 45	Turbidez (FTU) Tempo 70	Turbidez (FTU) Tempo 95	Turbidez (FTU) Tempo 120
CA	10	NA	NA	NA	10
CA	11	NA	NA	NA	9
CA	9	NA	NA	NA	8
CA	10	NA	NA	NA	8
CA	10	NA	NA	NA	9
CB	4	NA	NA	NA	1
CB	5	NA	NA	NA	1
CB	3	NA	NA	NA	7
CB	5	NA	NA	NA	5
CB	9	NA	NA	NA	5
CP	0	NA	NA	NA	0
CP	0	NA	NA	NA	0
CP	0	NA	NA	NA	0
CP	0	NA	NA	NA	0
CP	0	NA	NA	NA	0
PA	8	9	2	6	6
PA	5	7	2	7	1
PA	3	3	3	6	0
PA	5	9	5	8	1
PA	2	8	0	8	0
PB	3	7	0	6	0
PB	1	8	0	NA	0
PB	1	8	0	6	0
PB	1	10	0	6	0
PB	0	9	0	6	0

Fonte: elaborado pelo autor (2022)