

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL – UERGS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, ÊNFASE EM BIOLOGIA
MARINHA E COSTEIRA**

THAMARA DOS SANTOS MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA DESCARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA SOBRE A VARIAÇÃO
TEMPORAL DO ZOOPLÂNCTON MARINHO**

**IMBÉ
2022**

THAMARA DOS SANTOS MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA DESCARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA SOBRE A VARIAÇÃO
TEMPORAL DO ZOOPLÂNCTON MARINHO**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, ênfase em Biologia Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, convênio Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Ng Haig They
Coorientadora: Dra. Cacinele Mariana da Rocha

IMBÉ

2022

CIP - Catalogação na Publicação

Moreira, Tamara dos Santos
INFLUÊNCIA DA DESCARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA SOBRE A
VARIAÇÃO TEMPORAL DE ZOOPLÂNCTON MARINHO / Tamara dos
Santos Moreira. -- 2022.
51 f.
Orientador: NG Haig They.

Coorientadora: Cacinele Mariana da Rocha.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Biociências, Curso de Ciências Biológicas: Biologia
Marinha e Costeira, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. estuário subterrâneo. 2. ecologia de praias
arenosas. 3. produção primária. 4. nutrientes. 5.
radônio. I. Haig They, NG, orient. II. Mariana da
Rocha, Cacinele, coorient. III. Título.

THAMARA DOS SANTOS MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA DESCARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA SOBRE A VARIAÇÃO
TEMPORAL DO ZOOPLÂNCTON MARINHO**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, ênfase em Biologia Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, convênio Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Ng Haig They
Coorientadora: Dra. Cacinele Mariana da Rocha

Aprovada em: 06/05/2022

BANCA EXAMINADORA



Dr^a. Vanessa Ochi Agostini
Universidade Federal do Rio Grande



Prof. Dr. Carlos Francisco Ferreira de Andrade
Universidade Federal do Rio Grande

Prof^a Dr^a Ester Wolff Loitzenbauer
Coordenadora da atividade
Trabalho de conclusão II – CBM

IMBÉ

2022

AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre esteve comigo, por muitas vezes virtualmente, dando apoio em todas as minhas ideias, além de desde sempre me incentivar e fomentar os meus sonhos, me fazendo lembrar que não existe limite quando queremos algo de verdade.

Aos meus avós, que sempre me passaram o amor pelas águas, tanto continentais quanto oceânicas, muito obrigado!

Aos meus orientadores NG Haig They e Cacinele, por embarcarem neste projeto comigo, sem vocês nada disso seria possível, obrigada por acreditarem no meu potencial em muitos momentos que nem eu acreditava!

Aos meus amigos da turma 10, que sempre estiveram ao meu lado, compartilhando momentos bons como jantares de fim de semestre, quanto ruins de estudo na madrugada, vocês tornaram esse processo de graduação mais leve. Não basta ser a turma 10, vocês são DEZ!

Aos amigos que fiz ao longo desses anos de BioMar, Carol C., Léo, Dani, Maria Clara, Grazy, Therrése, Jhonny, Thay e Babi, vocês são os melhores veteranos e calouras. Além de outros que trocaram conversas na beira da lagoa tomando um cafezinho da tia Tânia.

Aos meus amigos de longa data, Aline L., Gabriela A., Karoline O., Gabriela P. Matheus L., Fernando P., Paola C., Thamy, Caroline M., Maicon P., que mesmo de longe se fizeram presentes em vários momentos da graduação.

À família LASBP/LASS, foram tantos anos fazendo parte que considero família, são tantos nomes que já estagiaram comigo que seria pecado esquecer de algum, aprendi tanto com cada um que passou nos meus seis anos de lab. Um agradecimento em especial à Caci, que foi uma mãe na ciência pra mim, apresentou o mundo das águas no lado acadêmico no qual me apaixonei, te admiro tanto! Gostaria de agradecer a Gabi e a Querusche pelos momentos divertidos no lab, obrigada por toda troca!

À Vanessa Agostini e Elisabeth Cabral por todo auxílio nas identificações das espécies.

Ao professor Matias pelo empréstimo da Lupa para que esse trabalho fosse efetuado mesmo em ano pandêmico, e também por toda troca de conhecimentos em saídas de campo e pelos corredores do cecli.

Aos membros da banca examinadora, Vanessa Agostini e Carlos de Andrade pelos comentários e contribuições ao trabalho.

Aos professores da UFRGS e da UERGS, que foram fundamentais para a construção de todo o conhecimento adquirido durante essa caminhada para me tornar bióloga marinha.

RESUMO

A região costeira do sul do Brasil é altamente produtiva com destaque para a atividade pesqueira local, o que tem sido explicado historicamente pela influência de grandes plumas estuarinas, como da Laguna dos Patos e Rio da Prata. Recentemente, o papel da fertilização pela descarga de águas subterrâneas (DAS) tem sido apontado como um potencial componente à produtividade costeira. A DAS ocorre em valores expressivos na região (alcançando $83,8 \pm 3,8 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ d}^{-1}$), alterando condições, como salinidade e temperatura, e transportando nutrientes do continente para a zona de arrebentação, tais como silicato e ferro. Estes elementos apresentam potencial impacto sobre comunidades biológicas costeiras, entre elas o zooplâncton, um importante grupo de organismos heterotróficos do plâncton. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo investigar o papel da DAS na variação temporal do zooplâncton marinho na zona de arrebentação no sul do Brasil e se esta variação está relacionada à DAS. Foram avaliadas a densidade e composição do zooplâncton, bem como a DAS durante 25 semanas consecutivas entre setembro de 2019 e março de 2020. A quantificação de DAS se deu através do geotraçador radônio (^{222}Rn) em análise feita com o monitor RAD-7 (DurrIDGE Inc.). A coleta do zooplâncton foi efetuada por meio de filtragem (150-200 litros) através de malha de 200 μm . Com relação aos parâmetros ambientais, as semanas dividiram-se em dois períodos (P) distintos: P1 (semanas 1-13) e P2 (semanas 14-25). O P1 foi marcado por amostras da primavera, com menor temperatura e apenas um grande pico de DAS, enquanto que o segundo período foi marcado pelas amostras do verão, com maior temperatura e presença de vários picos de DAS, porém de menor intensidade. A quantificação do zooplâncton resultou em 65.331 indivíduos ao todo, que após a identificação foram agrupados em 21 taxa. Os grupos mais representativos em termos de densidade foram da Ordem Noctilucales ($135.228 \text{ org m}^{-3}$), seguido da Ordem Calanoida ($59.393 \text{ org m}^{-3}$) e da Superordem Diplostraca ($27.792 \text{ org m}^{-3}$). A abundância relativa dos grupos de zooplâncton variou ao longo das semanas ao longo dos dois períodos, principalmente pela dominância de Noctilucales, Diplostraca, Mysida e Amphipoda em P1 e Calanoida e Salpida em P2. Os grupos Calanoida e Amphipoda foram os que apresentaram maior frequência de ocorrência (100%), seguido dos Pteropoda e Cyclopoida, ambos com 96 %. Embora a DAS não tenha apresentado associação direta com a densidade total zooplânctônica, diversos grupos do zooplâncton foram correlacionados à DAS com atrasos temporais (*lags*) de uma até seis semanas, sugerindo a associação indireta possivelmente através do crescimento do fitoplâncton promovido pela fertilização via DAS. Parâmetros abióticos potencialmente afetados pela DAS, tais como temperatura e salinidade tiveram associação significativa com o zooplâncton. Este é o primeiro estudo a relacionar o efeito da DAS a potenciais efeitos no zooplâncton da zona de surfe de praias arenosas, sugerindo que esta fonte relativamente negligenciada de nutrientes pode ter repercussões ecológicas em ambientes costeiros onde esse fenômeno é recorrente.

Palavras-chaves: estuário subterrâneo, ecologia de praias arenosas, produção primária, nutrientes, radônio.

ABSTRACT

The coastal region of southern Brazil is highly productive with emphasis on local fishing activity, which has been explained historically by the influence of large estuarine plumes, such as the Patos Lagoon and La Plata River. Recently, the role of fertilization by submarine groundwater discharge (SGD) has been pointed out as a possible important component to coastal productivity. The SGD reaches significant amounts in the region ($83.8 \pm 3.8 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ d}^{-1}$), which changes conditions such as salinity and temperature, and transports nutrients from the continent to the surf zone, such as silicate and iron. These elements present great potential impact on coastal biological communities, among them the zooplankton, which corresponds to the heterotrophic organisms of the plankton. Thus, the present study aims to investigate the role of DAS in the temporal variation of marine zooplankton in the subtidal zone in southern Brazil and whether this variation is related to DAS. Zooplankton density and composition, as well as SGD, were assessed during nine consecutive weeks between September and November 2019. SGD was quantified using the radon geotracer (^{222}Rn) with the help of a RAD-7 monitor. Zooplankton was collected by filtration (150-200 liters) through a 200 μm mesh. Regarding environmental parameters, the weeks were divided into two distinct periods (P): P1 (weeks 1-13) and P2 (weeks 14-25). P1 was marked by spring samples, with lower temperatures and only one high DAS peak, while the second period was marked by summer samples, with higher temperatures and the presence of several DAS peaks, but with less intensity. The samplings resulted in 65,331 individuals in total, and after identification was grouped into 21 rates. The most representative groups in terms of density were the Order Noctilucales ($135,228 \text{ org m}^{-3}$), followed by the Order Calanoida ($59,393 \text{ org m}^{-3}$) and the Superorder Diplostraca ($27,792 \text{ org m}^{-3}$). The relative abundance of zooplankton groups varied across the weeks over the two periods, mainly by the dominance of Noctilucales, Diplostraca, Mysida, and Amphipoda in P1 and Calanoida and Salpida in P2. The Calanoida and Chaetognathas groups had the highest frequency of occurrence (100%), followed by the Pteropods and Cyclopoida, both with 96%. Although DAS showed no association with total zooplankton density, several zooplankton groups were associated with DAS with time lags of one to six weeks, suggesting indirect association possibly through phytoplankton growth promoted by DAS fertilization. Abiotic parameters potentially affected by DAS such as temperature and salinity had significant association with zooplankton. This is the first study to relate the effect of DAS to potential effects on zooplankton in the surf zone of sandy beaches, suggesting that this relatively neglected source of nutrients may have ecological repercussions in coastal environments where this phenomenon is recurrent

Keywords: underground estuary. ecology of sandy beaches. primary production. nutrients. radon.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 Objetivos	10
1.1.1 Objetivo Geral	10
1.1.2 Objetivos Específicos	10
2 MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1 ÁREA DE ESTUDO	11
2.2 COLETA E ANÁLISES DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS	12
2.3 QUANTIFICAÇÃO DA DESCARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E FLUXO DE NUTRIENTES	13
2.4 AMOSTRAGEM E TRIAGEM DO ZOOPLÂNCTON	14
2.5 ANÁLISE DE DADOS.....	15
3 RESULTADOS	16
3.1 ZOOPLÂNCTON MARINHO	16
3.2 PARÂMETROS AMBIENTAIS.....	23
3.3 RELAÇÃO DOS PARÂMETROS BIOTICOS E ABIÓTICOS.....	29
4 DISCUSSÃO	37
5 CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

O termo plâncton, derivado da palavra grega *planktós* (“errante”), é utilizado para se referir ao conjunto de organismos aquáticos em suspensão na coluna d’água que são incapazes de controlar sua distribuição horizontal, vivendo à deriva (YONEDA, 1999). O zooplâncton pode ser dividido em dois grupos básicos a partir do tempo de residência no ambiente pelágico: o holoplâncton, que inclui os organismos que passam todo seu ciclo de vida no plâncton; e o meroplâncton, que engloba os ovos e larvas dos organismos que quando adultos fazem parte da comunidade do bentos e do nécton. Há ainda o ticoplâncton, que inclui organismos não plantônicos eventualmente encontrados no plâncton devido à ressuspensão. O zooplâncton ainda pode ser dividido também em protozooplâncton (unicelulares) e metazooplâncton (multicelulares) (LALLI; PARSONS, 1997; YONEDA, 1999). Embora muitos indivíduos do zooplâncton e até do fitoplâncton consigam realizar migrações verticais diárias através da movimentação com o auxílio de apêndices, flagelos e cílios, estes movimentos são insuficientes para a sua mobilidade frente a movimentações horizontais da água.

O plâncton é fundamental para os ecossistemas marinhos, pois representa a base da teia alimentar pelágica nos oceanos e alterações na sua composição podem modificar níveis tróficos mais altos, com importantes impactos ecológicos e econômicos (YONEDA, 1999). São classificados tradicionalmente do ponto de vista funcional em fitoplâncton (microalgas) e zooplâncton. O fitoplâncton é representado por organismos autotróficos ou mixotróficos, responsáveis pela maior produção primária nos oceanos (LALLI; PARSONS, 1997). O zooplâncton, por sua vez, é composto por organismos heterotróficos que dependem em grande parte do fitoplâncton como fonte de alimento. Portanto, alterações no fitoplâncton podem causar impactos no zooplâncton que repercutem em níveis tróficos superiores.

A estrutura espaço-temporal da comunidade zooplânctônica é afetada pela dinâmica das massas d’água, tais como correntes e processos de ressurgência, assim como pelas interações tróficas com o fitoplâncton (BRANDINI *et al.*, 1997). Desta forma, entender os fatores físicos e hidroquímicos que influenciam direta e indiretamente o zooplâncton são fundamentais para entender os processos ecológicos nos quais eles estão envolvidos.

Nas regiões costeiras, a entrada de nutrientes está relacionada principalmente ao aporte continental e, eventualmente, à ressurgência costeira, o que depende de condições locais. No Brasil, na plataforma continental do Rio Grande do Sul (RS) ocorre a interação entre duas correntes oceânicas, a Corrente do Brasil, que é caracterizada por ser oligotrófica, e o ramo costeiro da Corrente das Malvinas, que contém águas ricas em nutrientes oriundos do aporte continental da drenagem da bacia do Rio da Prata e da Laguna dos Patos (CIOTTI *et al.*, 1995), tornando essa região uma das áreas mais produtivas da costa brasileira, principalmente associada ao fitoplâncton. A zona de surfe são habitats turbulentos, extremamente dinâmicos, onde ocorrem as principais trocas de material orgânico e nutrientes, entre a zona costeira e o oceano. Muitas espécies que ocorrem nesse local são adaptadas às condições ambientais, ocorrendo manchas de grupos zooplancônicos, surgindo taxa diferentes que podem ter hábitos oportunistas e ser onívoros (MCLACHLAN; BROWN, 2006).

As diatomáceas são microalgas conhecidas pela sua importante contribuição a estes ecossistemas costeiros do litoral do RS. Na zona de surfe, a *Asterionellopsis guyunusae* (Luddington) é uma das espécies responsáveis pela produção de biomassa fitoplanctônica, que forma manchas na cor marrom que são acumulações bastante conspícuas ($6,95 \times 10^7$ células L⁻¹) (LEBLANC *et al.*, 2012; FRANCO *et al.*, 2016), popularmente conhecidas como “chocolatão” (CIOTTI *et al.*, 1995). Estas acumulações são essenciais para a teia trófica, já que essa área é composta por diversas espécies que utilizam a diatomácea como alimento direto ou complementar, como alguns caranguejos e peixes (GARCIA *et al.*, 2018; SEELIGER; ODEBRECHT; CASTELO, 1997) e essa energia fixada vai passando adiante para cada organismo conforme o seu nível trófico.

A dinâmica das acumulações de *A. guyunusae* também está relacionada às frentes polares quando se intensificam ventos de direção sul e sudeste (CIOTTI *et al.*, 1995) que predominam no inverno. Além da ressuspensão, estes ventos impulsionam as plumas estuarinas do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos em direção à costa do litoral norte do Rio Grande do Sul até aproximadamente 28° de latitude (sul do Estado de SC), transportando águas ricas em nutrientes (MÖLLER *et al.*, 2008). No verão, esta pluma se retrai, limitando sua distribuição a aproximadamente 32° sul (altura do município de Rio Grande) (MÖLLER *et al.*, 2008). Estas acumulações ocorrem ao longo de todo o ano e em toda a costa do RS, inclusive no litoral norte (NEVES;

BEMVENUTI, 2006) e existe uma lacuna, portanto, sobre qual seria a origem dos nutrientes que suportam estas florações ao longo de todo o ano no Litoral Norte.

Um dos fatores que podem explicar esta fertilização é a presença de descarga de água subterrânea (DAS). A água subterrânea transporta vários nutrientes, dentre eles o silício, que por sua vez é um micronutriente limitante no ambiente marinho e essencial para diatomáceas, através da descarga na zona de arrebenção (PAIVA, 2014). Estas florações alimentadas pelo enriquecimento das águas subterrâneas podem, por sua vez, ser um aporte para a comunidade zooplanctônica (CIOTTI *et al.*, 1995; SADAT-NOORI *et al.*, 2016).

A descarga de água subterrânea no ambiente costeiro é difusa, podendo ocorrer no fundo do mar, zona de surfe, pós-praia, estuários, rios e lagoas e tem sido associada a um conceito relativamente novo: o de estuário subterrâneo. A DAS vem recebendo atenção pelo transporte de nutrientes do continente para os sistemas aquáticos costeiros, sendo estimados fluxos através de descarga de água subterrânea (DAS) em direção à plataforma continental na ordem de 10 % para silicato e 55 % para nitrogênio total (NIENCHESKI *et al.*, 2007). Trata-se de uma fonte rica de micro e macronutrientes, especialmente em regiões de alta atividade antrópica (BURNETT *et al.*, 2007; SADAT-NOORI *et al.*, 2016).

A avaliação dos caminhos e dos fluxos da DAS pode ser realizado através do traçador natural radônio (^{222}Rn), que é de natureza não reativa e possui meia vida curta ($t_{1/2} = 3,83$ d), tornando-o um ótimo marcador para indicar as áreas de um *hot spot* de água subterrânea (BURNETT; DULAIIOVA, 2003; MAKINGS *et al.*, 2014). De forma geral, na zona de arrebenção do Litoral Norte do RS, a água do estuário subterrâneo apresenta concentrações elevadas de silício, formando um gradiente negativo conforme se distancia da linha de costa, indicando influência da DAS na concentração deste elemento. Nesta região, o fluxo de micro e macronutrientes é significativo, apresentando uma notável produtividade primária costeira (PAIVA, 2014; ROCHA, 2018). Além disso, as águas subterrâneas apresentam características bastante distintas da água do mar, tais como salinidade e temperatura. A salinidade é invariavelmente próxima de zero, caracterizando-a como água doce, enquanto a temperatura apresenta um comportamento mais variável, sendo mais quente que a água marinha no inverno e mais fria durante o verão (ROCHA, 2018).

Embora o efeito da descarga de água subterrânea sobre a produção primária seja relativamente estabelecido, seus efeitos sobre a comunidade zooplanctônica

ainda são desconhecidos. A comunidade de zooplâncton marinho na zona de surfe do Litoral Norte do estado do RS pode ser afetada pela DAS de maneira direta e indireta. A influência direta é através da modificação das condições físicas e químicas da água, tais como temperatura e salinidade, enquanto a indireta ocorre através do fitoplâncton (KAMINSKI; MONTÚ, 2005; LOPES, 2007). Desta forma, este estudo tem como objetivo monitorar a variação temporal de zooplâncton marinho no Litoral Norte do estado do RS e investigar se essa variação possui relação com a DAS e diversas variáveis ambientais influenciadas por ela.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar se a variabilidade temporal do zooplâncton marinho responde à variação de fatores ambientais associados à DAS ao longo de seis meses, na praia de Imbé, Litoral Norte do RS.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Quantificar a descarga da água subterrânea.
- Quantificar a abundância e a diversidade do zooplâncton marinho.
- Identificar padrões temporais na variação do zooplâncton marinho e dos fatores ambientais associados à descarga de água subterrânea.
- Avaliar se a variação de fatores ambientais tem relação com a variação temporal do zooplâncton marinho.

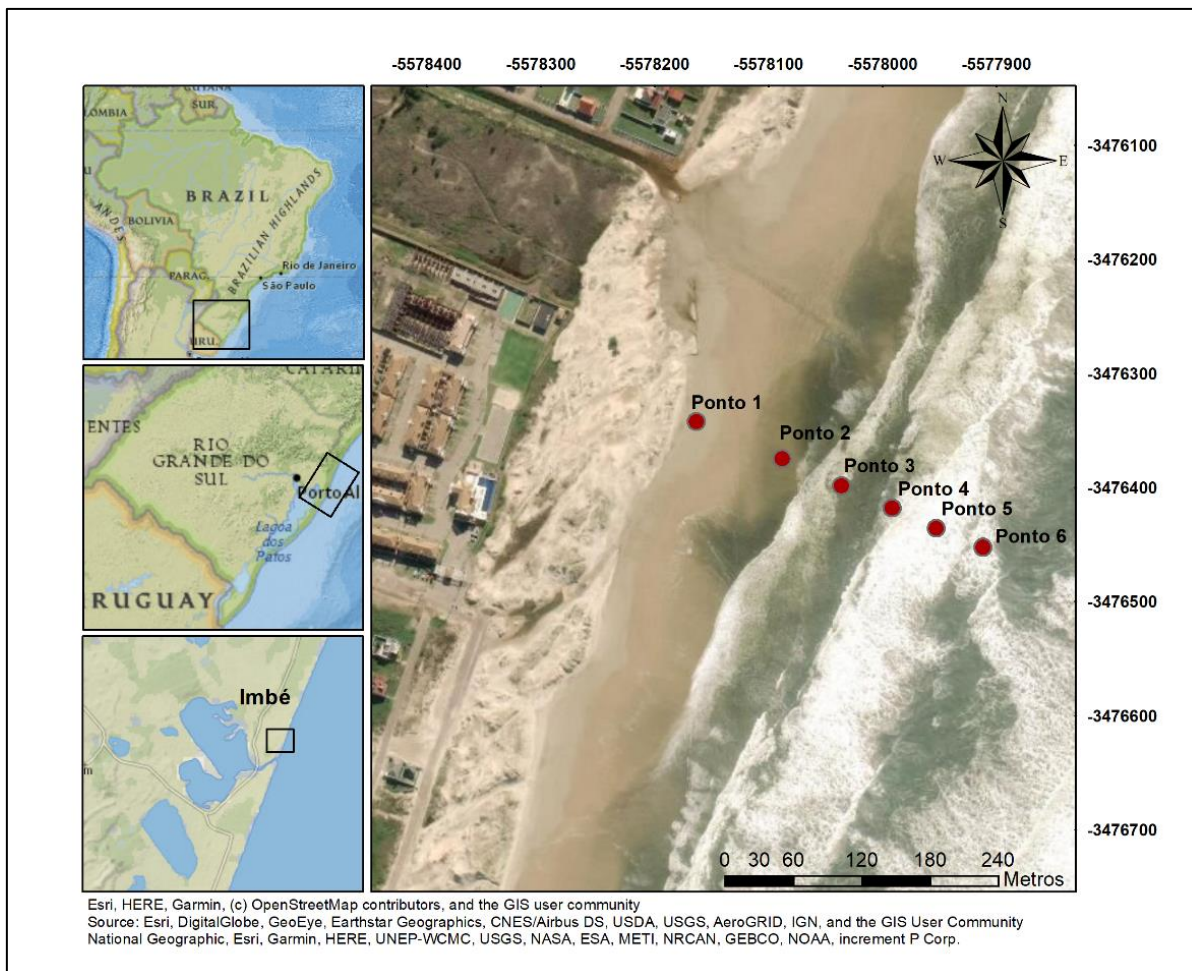
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado entre setembro de 2019 a março de 2020 (total de 25 semanas) no ambiente praiado do Litoral Norte do estado do Rio Grande do Sul, no município de Imbé. A praia é arenosa do tipo de grão muito bem selecionado, de areia fina, apresentando permeabilidade média na classificação de Pereira (2005). A praia é classificada, na maior parte do ano, como dissipativa com pouca elevação, mas pode ser em alguns períodos refletiva. O vento é a principal forçante da hidrodinâmica local, sendo o vento nordeste predominante no período do verão (ANDRADE; TOLDO; NUNES, 2016).

A amostragem foi realizada semanalmente em um local fixo na linha de praia, localizado em 29°57'16,6" S e 50°06'33,0" O (Figura 1), que apresenta DAS permanente. Segundo Rocha (2018), a média de descarga neste local esteve em $43,0 \pm 2,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ d}^{-1}$ durante ambos os verões austrais de 2016 e 2017, variando entre $2,1 \pm 0,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ d}^{-1}$ e $83,9 \pm 3,8 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ d}^{-1}$ em função da oscilação do fenômeno *El Niño*, fenômeno em escala global que afeta o regime de precipitação da região.

Figura 1 - Mapa da localização da sessão de amostragem no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, na cidade de Imbé.



Fonte: Autora (2020)

2.2 COLETA E ANÁLISES DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS

Em cada amostragem semanal foram realizadas coletas de água superficial no ponto 4 para determinação de parâmetros físicos e químicos, utilizando a metodologia de APHA (2012), sendo eles apresentados na Tabela 1. Além disso, para as amostras de águas do ponto 4 também foram determinadas a concentração de clorofila a pelas filtragens das amostras em filtros de ésteres de celulose mistos (0,45 μm). Os pigmentos foram extraídos com acetona 90 % e sua concentração lida por espectrofotometria (BAUMGARTEN; WALLNER-KERSANACH; NIENCHESKI, 2010).

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos mensurados nas amostras de águas superficiais e subterrâneas e suas respectivas metodologias, segundo APHA (2012).

Parâmetros	Metodologia
Clorofila-a e produtos de degradação	Espectrofotometria
Condutividade	Condutometria
Ferro	Espectrofotometria
Fósforo Total	Espectrofotometria
Nitrogênio Amoniacal	Espectrofotometria
Nitrogênio Total	Espectrofotometria
Ortofosfato	Espectrofotometria
pH	Potenciometria
Salinidade	Refratometria
Silicato	Espectrofotometria
Temperatura	Termometria

Fonte: Autora (2022)

2.3 QUANTIFICAÇÃO DA DESCARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E FLUXO DE NUTRIENTES

As amostragens de água subterrânea para a determinação do traçador ^{222}Rn foram feitas nos seis pontos da seção, iniciando com os pontos 1 e 2, realizados, respectivamente, no pé da duna frontal e na zona de varrido e os pontos 3 a 6 localizados, aproximadamente, a 10, 20, 30 e 40 metros mar adentro em forma de transecto, como ilustrado pelo detalhe da Figura 1.

A análise do gás ^{222}Rn é feita através do detector RAD-7 (DurrIDGE Inc.), que quantifica o decaimento deste elemento e converte o sinal em atividade (dpm m^{-3}), que subsidiará os cálculos de fluxo da DAS.

A coleta nos pontos 1 e 2, chamados piezômetros, foi feita por meio da captação da água com a aplicação do equipamento *pushpoint* e bomba peristáltica, a 1 m de profundidade. Os dados de atividade de ^{222}Rn coletados nestes pontos oportunizaram calcular o potencial da DAS, sendo estes considerados os *end members*.

Na zona de surfe, a coleta foi feita com auxílio de balde plástico logo abaixo da superfície da água. As informações obtidas nesta área da seção oportunizaram verificar o gradiente de atividade do gás durante o processo de mistura com a água marinha. Para ambos casos, o volume de água coletado foi de 8 L, os quais foram

reservados até a análise em garrafas plásticas de 10 L, chamadas *Big bottles*, preparadas especialmente com tampas que mantêm o sistema fechado, de forma a minimizar perdas do gás ^{222}Rn . A quantificação da DAS se baseia em ambas informações, *end member* e gradiente, sendo estes cálculos já descritos por Paiva (2014) e Rocha (2018), sendo estabelecida a DAS para sessão a cada amostragem. Posteriormente, a DAS foi correlacionada com os dados bióticos.

Com base na DAS, estabelecida a cada semana amostral (dada em cm d^{-1}), e nas concentrações dos nutrientes analisados (dado em mg L^{-1}), foram estabelecidos os fluxos dos mesmos (mg d^{-1}), considerando como área 1 m de praia por 30 m de transecto, correspondente ao espaço amostrado.

2.4 AMOSTRAGEM E TRIAGEM DO ZOOPLÂNCTON

As coletas para o zooplâncton foram realizadas no ponto 4 com auxílio de balde de plástico graduado por meio da filtragem de 150-200 litros de água do mar em copo coletor feito com cano PVC com 100 mm de diâmetro e malha de 200 μm .

O material obtido em cada filtragem foi transferido para um frasco transparente de 250 mL, sendo a transferência dos organismos da rede para o frasco feita com auxílio de uma pisseta contendo água do mar filtrada (200 μm). O recipiente foi previamente identificado e os organismos fixados imediatamente com formaldeído (CH_2O) a 4 % neutralizado com tetraborato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e glicerina.

Para a identificação e contagem do zooplâncton foram contabilizados todos os organismos através da contagem integral das amostras (250 ml) em câmara tipo Bogorov sob estereomicroscópio (32 \times), sendo em seguida estimada a densidade de organismos da amostra (organismos m^{-3}). Para a identificação dos organismos, foi utilizado microscópio óptico com auxílio de bibliografia (BOLTOVSKOY, 1999; HARRIS *et al.*, 2000; SUTHERS; RISSIK, 2009; AVILA; PEDROZO; BERSANO, 2009) para chegar ao menor nível taxonômico possível.

2.5 ANÁLISE DE DADOS

Análises exploratórias de Ordenação (Análise de Componentes Principais, ACP) e Agrupamento foram realizadas para identificar padrões na distribuição temporal das amostras. Foi realizada uma ACP para os dados de zooplâncton e outra para os parâmetros ambientais. Os dados de zooplâncton foram submetidos previamente à transformação de Hellinger para adequação da PCA a dados bióticos e uma análise de agrupamento (*k-means*) foi combinada utilizando distância de Bray-Curtis aos dados transformados e o agrupamento utilizou o método hierárquico UPGMA (*unweighted pair group method with arithmetic mean*) (BOCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011). A ACP para os parâmetros ambientais utilizou a distância euclidiana aos dados normalizados (centralização pela média e escalonamento ao desvio-padrão) e no agrupamento (*k-means*) combinado foi utilizada a distância de Ward também calculada em relação aos dados normalizados (BOCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011).

A associação entre a DAS e algumas variáveis ambientais selecionadas e também entre as variáveis ambientais selecionadas e a densidade total do zoo e a densidade de grupos mais frequentes do zoo (frequência de ocorrência - FO > 30 %) foi testada através de correlação linear de Pearson. Nas análises foi considerado o nível de significância $\alpha = 0,05$. Da mesma forma, foi testada a existência de atrasos (*lags*) temporais destas mesmas associações através da Função de Correlação Cruzada (FCC) considerando as semanas amostrais (CRAWLEY, 2007), através da função *ccf* do pacote básico *stats* do programa R (R CORE TEAM, 2020).

Todas as análises e gráficos foram gerados utilizando os pacotes básicos e o pacote *ggplot2* (WICKHAM, 2016) no ambiente R (R Core Team, 2020).

3 RESULTADOS

3.1 ZOOPLÂNCTON MARINHO

As contagens de todas as amostras de zooplâncton marinho totalizaram 65.331 indivíduos distribuídos em dois reinos, nove filos, dez classes, seis famílias, quatro gêneros e três espécies identificadas (Tabela 2). Para fins de análise, os organismos identificados foram agrupados em 21 grande taxa, no nível hierárquico de Ordem ou superior (Tabela 3).

Os grupos mais representativos em termos de densidade foram a Ordem Noctilucales (135.228 org m⁻³), seguido da Ordem Calanoida (59.393 org m⁻³) e da Superordem Diplostraca (27.792 org m⁻³). Além destes, outros 18 taxa apresentaram densidade abaixo de 24.765 org m⁻³, nas amostras (Tabela 3).

Tabela 2 - Grupos taxonômicos do zooplâncton identificados ao longo das 25 semanas; no período de setembro de 2019 e março de 2020.

<p>Reino Animalia</p> <p>Filo Arthropoda</p> <p>Subfilo Crustacea</p> <p>Classe Branchiopoda</p> <p>Subclasse Phyllopoda</p> <p>Superordem Diplostraca</p> <p>Ordem Anomopoda</p> <p>Família Bosminidae</p> <p>Família Chydocidae</p> <p>Ordem Ctenopoda</p> <p>Família Sidida</p> <p>Gênero Penilia sp.</p> <p>Ordem Onychopoda</p> <p>Família Podonidae</p> <p>Gênero Evadne</p> <p style="padding-left: 40px;"><i>Evadne spinifera</i> PE Müller, 1867</p> <p style="padding-left: 40px;"> <i>Evadne nordmanni</i> Lovén, 1836</p> <p>Gênero <i>Podon</i> sp.</p> <p>Superclasse Multicrustacea</p> <p>Classe Malacostraca</p> <p>Subclasse Eumalacostraca</p> <p>Superordem Eucarida</p> <p>Ordem Decapoda</p> <p>Ordem Euphausiacea</p> <p>Superordem Pericarida</p> <p>Ordem Amphipoda</p> <p>Ordem Isopoda</p> <p>Ordem Mysida</p> <p>Classe Thecostraca</p> <p>Subclasse Cirripedia</p> <p>Subclasse Copepoda</p> <p>Infraclasse Neocopepoda</p> <p>Superordem Gymnoplea</p> <p>Ordem Calanoida</p> <p>Ordem Cyclopoida</p> <p>Filo Annelida</p> <p>Classe Polychaeta</p> <p>Ordem Filodocida</p> <p>Ordem Espionida</p>	<p>Filo Chaetognatha</p> <p>Classe Sagitoidea</p> <p>Ordem Aphragmorpha</p> <p>Família Sagittidae</p> <p>Gênero Saggitta sp.</p> <p>Filo Chordata</p> <p>Subfilo Tunicata</p> <p>Classe Taliácea</p> <p>Ordem Salpida</p> <p>Subfilo Vertebrata</p> <p>Infrafilo Gnathostomata</p> <p>Classe Osteichthyes</p> <p>Filo Cnidaria</p> <p>Filo Equinodermata</p> <p>Subfilo Asterozoa</p> <p>Classe Ophiuroidea</p> <p>Subclasse Myophiuroidea</p> <p>Infraclasse Metophiurida</p> <p>Superordem Ophintegrida</p> <p>Ordem Amphilepidida</p> <p>Filo Mollusca</p> <p>Classe Bivalvia</p> <p>Classe Gastropoda</p> <p>Subclasse Heterobranchia</p> <p>Infraclasse Euthyneura</p> <p>Subclasse Tectipleura</p> <p>Ordem Pteropoda</p> <p>Reino Chromista</p> <p>Sub-reino Harosa</p> <p>Infra-reino Rhizaria</p> <p>Filo Foraminifero</p> <p>Infra-reino Alveolata</p> <p>Filo Myzozoa</p> <p>Subfilo Dinozoa</p> <p>Infrafilo Dinoflagellata</p> <p>Classe Dinophyceae</p> <p>Ordem Noctilucales</p>
---	---

Fonte: Autora (2022)

Os organismos mais frequentes foram a Ordem Calanoida, Ordem Aphragmophora, Ordem Pteropoda, Ordem Cyclopoida, Subclasse Cirripedia, Ordem Mysida, Ordem Amphipoda e Classe Bivalvia, encontrando-se presentes em mais de 80 % das amostras (Tabela 3).

Tabela 3 -Densidade dos 21 táxons de organismos (org m⁻³) ao longo das 25 semanas amostradas, ordenados em ordem decrescente de Frequência de Ocorrência (%).

Táxons	Semanas												
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
Ordem Calanoida	785	880	2845	830	510	893	305	2505	3025	1960	6670	2505	8280
Ordem Apherusastra (Sagitta sp.)	45	27	10	5	50	67	15	50	105	25	5	90	145
Ordem Cyclopoida	155	527	210	405	645	4447	40	775	275	405	365	775	120
Ordem Pteropoda	465	627	3760	6175	4905	3587	510	150	225	1435	1955	150	405
Ordem Mysida	0	5213	0	605	365	4013	360	20	425	5	11200	20	35
Subclasse Cirripedia	2375	553	2105	1805	505	67	130	20	5	50	20	20	70
Outros	15	7	20	100	25	7	5	255	70	75	20	30	5
Ordem Amphipoda	2010	440	1020	4750	1600	5907	2100	365	355	130	215	365	40
Classe Bivalvia	0	47	0	0	0	40	10	40	510	880	185	40	190
Ovo de peixe	0	107	10	45	155	80	25	0	155	190	50	0	25
Ordem Decapoda	5	0	15	0	10	40	20	5	10	25	0	5	30
Ordem Noctilucales (Noctiluca sp.)	0	2860	150	975	1735	31713	18470	880	53885	155	21280	880	1700
Classe Polychaeta	135	13	0	70	10	320	5	10	140	0	5	10	0
Superordem Diplostraca	2085	0	695	20	500	27	0	7410	455	7890	0	7410	15
Filo Cnidaria	0	0	0	0	0	120	0	15	40	35	40	20	0
Filo Foraminifero	0	0	0	10	0	13	0	25	30	335	15	15	0
Larva de peixe	0	0	0	5	5	0	15	10	5	10	0	10	5
Ordem Salpida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	585	50	0	0
Náuplio	25	0	0	5	0	7	0	0	5	5	0	0	0
Ordem Isopoda	0	0	0	5	0	0	0	5	0	5	5	5	0
Ordem Euphausiacea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0
Ordem Amphilepodida (<i>Ophiactis tyleri</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
Total	8085	11300	10840	15810	11020	51347	22010	12540	59725	14340	42080	12350	11065

Tabela 3- Continuação da Tabela 3 - Densidade dos 21 táxons de organismos (org m⁻³) ao longo das 25 semanas amostradas, ordenados em ordem decrescente de Frequência de Ocorrência (%).

Táxons	Semanas												Frequência de ocorrência (%)
	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	
Ordem Calanoida	2515	370	1505	530	270	2200	385	270	1680	6790	9470	195	100
Ordem Apherusastra (Sagitta sp.)	715	45	75	5	20	30	65	15	6,7	5	5	5	100
Ordem Cyclopoida	635	70	390	395	15	480	90	145	553,3	160	135	0	96
Ordem Pteropoda	135	250	90	15	0	35	30	25	46,7	75	15	30	96
Ordem Mysida	110	70	115	5	0	165	85	15	546,7	45	5	5	88
Subclasse Cirripedia	40	70	10	0	0	25	15	145	40	690	35	0	88
Outros	35	0	5	0	5	0	70	625	1066,7	7580	385	5	88
Ordem Amphipoda	45	0	5	10	10	5	5	0	0	5	0	45	84
Classe Bivalvia	55	95	130	215	80	75	35	10	160	3530	4680	685	84
Ovo de peixe	5	0	45	10	85	340	45	10	20	70	55	45	84
Ordem Decapoda	80	10	5	5	10	15	10	0	33,3	15	25	0	80
Ordem Noctilucales (Noctiluca sp.)	110	130	130	40	110	15	0	10	0	0	0	0	76
Classe Polychaeta	0	5	5	0	0	0	0	0	6,7	130	0	5	60
Superordem Diplostraca	1265	0	0	0	15	0	0	5	0	0	0	0	52
Filo Cnidaria	10	0	0	0	0	0	0	35	0	125	15	5	44
Filo Foraminifero	5	0	635	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
Larva de peixe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	36
Ordem Salpida	0	0	0	0	0	150	10040	965	6,7	0	165	10	32
Náuplio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	24
Ordem Isopoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Ordem Euphausiacea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Ordem Amphilepodida (<i>Ophiactis tyleri</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Total	5760	1115	3145	1230	620	3535	10875	2275	4166,7	19220	15065	1040	100

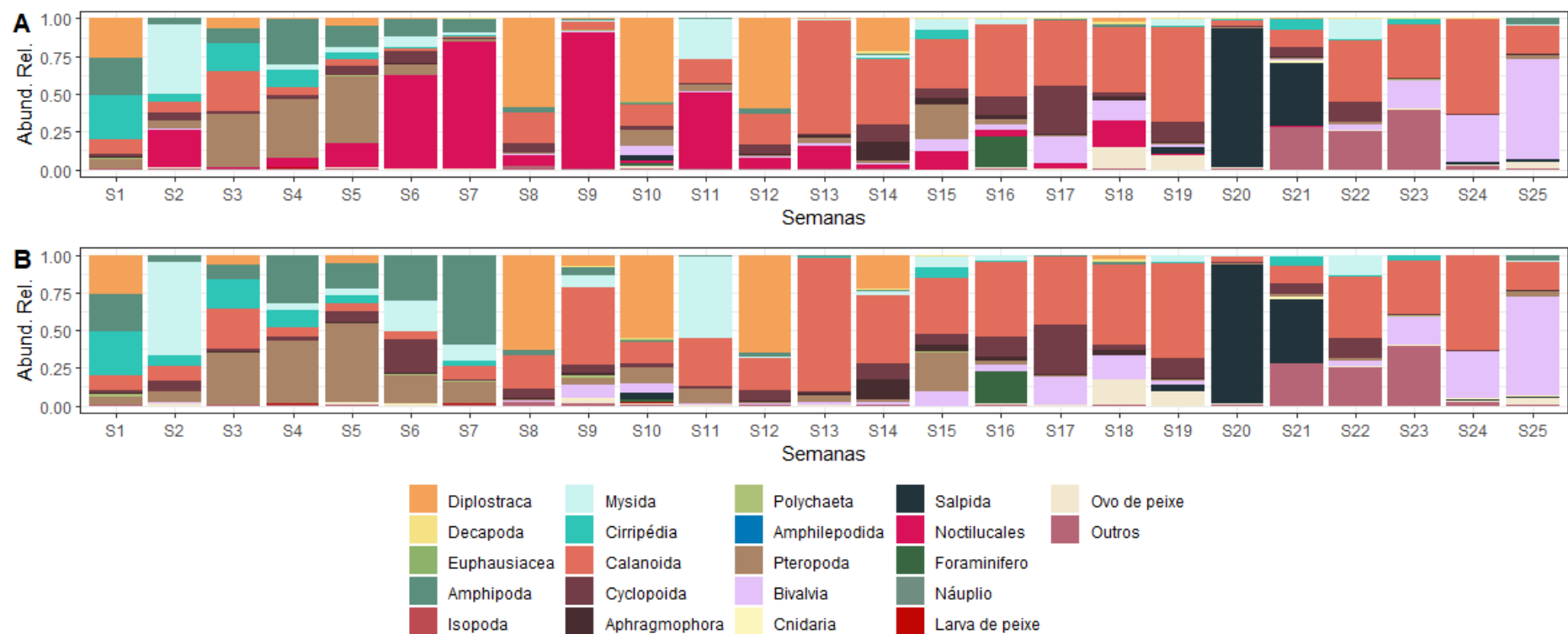
A Ordem Noctilucales, que apresentou as maiores densidades, com a abundância relativa maior que os outros grupos. Os resultados de abundância relativa foram dispostos em dois gráficos, sem a Ordem Noctilucales (Figura 2B) e com a Ordem Noctilucales (Figura 2A), nota-se que com a alta densidade da Ordem Noctilucales ($31.713 \text{ org m}^{-3}$).

As primeiras cinco semanas (S1-S5) apresentaram uma variação maior entre os grupos, ocorrendo Calanoida, Pteropoda, Cyclopoida, Cirripedia, Mysida, Amphipoda, Bivalvia, Noctilucales, Polychaeta e Diplostraca. Além desses, nas semanas seguintes (S6-S9), temos a presença de Aphragmophora, ovo de peixe, Decapoda, larva de peixe e Foraminífero, porém em menor densidade (Figura 2B).

Outros grupos, tais como, Amphilepodida, Euphausiacea, Cnidaria, Náuplio, Isopoda e Salpida estiveram presentes esporadicamente em algumas semanas, com FO em geral pouco representativa (< 32 %). Contudo, os grupos larva de peixe, ovo de peixe e Salpida apresentaram uma maior ocorrência nas últimas cinco semanas amostradas (Figura 2B; Tabela 3).

Os grupos Calanoida, Aphragmophora, Pteropoda e Cyclopoida estiveram presentes em quase todas as amostras (FO > 96 %) com diferentes densidades ao longo do período amostral (Figura 2B; Tabela 3). O grupo Diplostraca esteve presente nas amostras, S1, S3, S5, S8, S9, S10, S12, S14 e S18; nas semanas S8, S10 e S12, onde ocorreram em maior densidade, foram logo após picos de densidade da ordem Noctilucales (Figura 2; Tabela 3).

Figura 2 - Abundância relativa dos táxons por semana amostrada no período de setembro de 2019 até março de 2020.



Fonte: Autora (2022)

3.2 PARÂMETROS AMBIENTAIS

Ao longo do período amostral, a DAS apresentou um valor médio de 35,73 cm d⁻¹. Em seis semanas (S8, S17, S18, S20, S24 e S25) foram registrados picos, ou seja, valores expressivos (> 71,68 cm d⁻¹). Destas, a amostra S8 apresentou DAS naquele que seria o valor máximo (171,61 cm d⁻¹) além de, baixa salinidade (19), baixa temperatura para a época (22 °C) e alta concentração de silicato (8,16 mg L⁻¹) (Tabela 4).

Um padrão recorrente de aparente associação entre a DAS e os parâmetros ambientais foi o de efeitos tardios (*lags* temporais). Houve aumento dos valores de clorofila-*a*, clorofila-*a* + feopigmentos e feofitina-*a* nas semanas posteriores aos picos da DAS entre uma ou duas semanas de atraso (Tabela 4).

A semana S10, no entanto, teve um baixo valor de DAS (10,45 cm d⁻¹) em comparação a outras semanas, e, não obstante, apresentou salinidade baixa (18) e água com temperatura mais fria (21 °C). Além destes, os parâmetros biológicos apresentaram valores significativos tanto na semana da coleta, como na semana posterior. Outros parâmetros que expressaram concentrações relevantes foram o ortofosfato (8,9 mg L⁻¹), fósforo total (13,39 mg L⁻¹) e silicato (15,76 mg L⁻¹), sendo este último com maior concentração em relação a todo o período amostral. Outros resultados interessantes foram das amostras S24 e S25, quando embora DAS elevada, a amostra se caracterizou com salinidade alta (35 e 36), com águas mais quentes (24 °C e 26,9 °C) e com pH de 8,06 e 8,09. (Tabela 4)

Tabela 4 - Valores dos parâmetros físico-químicos de pH, salinidade, temperatura (T °C), clorofila-a (Chl-a), clorofila-a + feopigmentos (Chl-a + Feo), feofitina-a (Feo-a), nitrogênio amoniacal (NA), ortofosfato, fósforo total (FT), nitrogênio total (NT), silicato (Si), ferro (Fe) e DAS, coletados de setembro de 2019 a março de 2020 na praia de Imbé, litoral norte do Rio Grande do Sul.

Semanas	DAS (cm d ⁻¹)	pH	Salinidade	T (°C)	Chl-a (µg L ⁻¹)	Chl-a + Feo (µg L ⁻¹)	Feo-a (µg L ⁻¹)	NA (mg L ⁻¹)	Ortofosfato (mg L ⁻¹)	FT (mg L ⁻¹)	NT (mg L ⁻¹)	Si (mg L ⁻¹)	Fe (mg L ⁻¹)
S1	1,65	8,06	17	17,0	ND	11,6	19,8	ND	ND	0,10	0,77	6,73	ND
S2	12,69	8,33	32	21,9	ND	55,5	94,6	ND	ND	0,63	0,41	3,89	ND
S3	8,62	8,10	34	20,0	ND	3,4	5,7	ND	1,36	1,50	1,31	2,10	ND
S4	17,49	8,03	35	20,0	ND	1,6	2,8	0,47	ND	0,46	0,52	2,33	0,05
S5	8,73	8,21	32	19,0	19,2	49,4	84,2	0,86	1,56	6,77	1,82	1,80	0,04
S6	5,77	8,04	35	23,0	ND	9,2	15,6	3,69	ND	0,36	4,90	1,76	0,07
S7	25,44	8,04	36	20,0	10,4	22,6	38,5	0,06	1,85	2,13	0,65	1,73	ND
S8	171,61	8,04	19	22,0	3,0	11,	18,7	0,11	ND	0,29	0,94	8,16	0,06
S9	11,38	8,06	37	22,0	2,0	22,0	37,4	0,41	ND	0,87	0,94	0,25	0,04
S10	10,47	8,07	18	21,0	7,4	17,7	30,0	0,11	8,90	13,39	0,23	15,76	0,06
S11	15,84	8,42	36	24,0	ND	120,2	204,9	ND	ND	ND	1,87	0,88	0,24
S12	3,16	8,00	18	24,0	ND	4,9	8,3	ND	ND	0,24	2,20	2,91	0,14
S13	6,36	8,20	38	24,0	ND	30,5	52,0	ND	ND	0,65	ND	ND	0,17
S14	3,20	8,23	25	23,0	ND	48,8	83,2	ND	1,17	11,71	2,15	5,46	0,16
S15	29,01	8,24	35	24,0	ND	178,1	303,7	0,34	0,11	6,02	0,44	0,29	0,23
S16	33,15	8,25	36	25,5	29,6	130,1	221,9	0,06	ND	ND	1,90	0,31	0,20
S17	79,58	8,13	36	27,0	ND	3,4	5,7	ND	ND	0,17	1,40	ND	0,04
S18	123,87	8,20	36	25,0	22,2	37,8	64,5	1,84	ND	0,05	0,74	ND	ND
S19	5,42	8,11	37	27,0	9,9	12,2	20,8	0,06	ND	ND	2,50	1,93	ND

*ND = Não Detectável

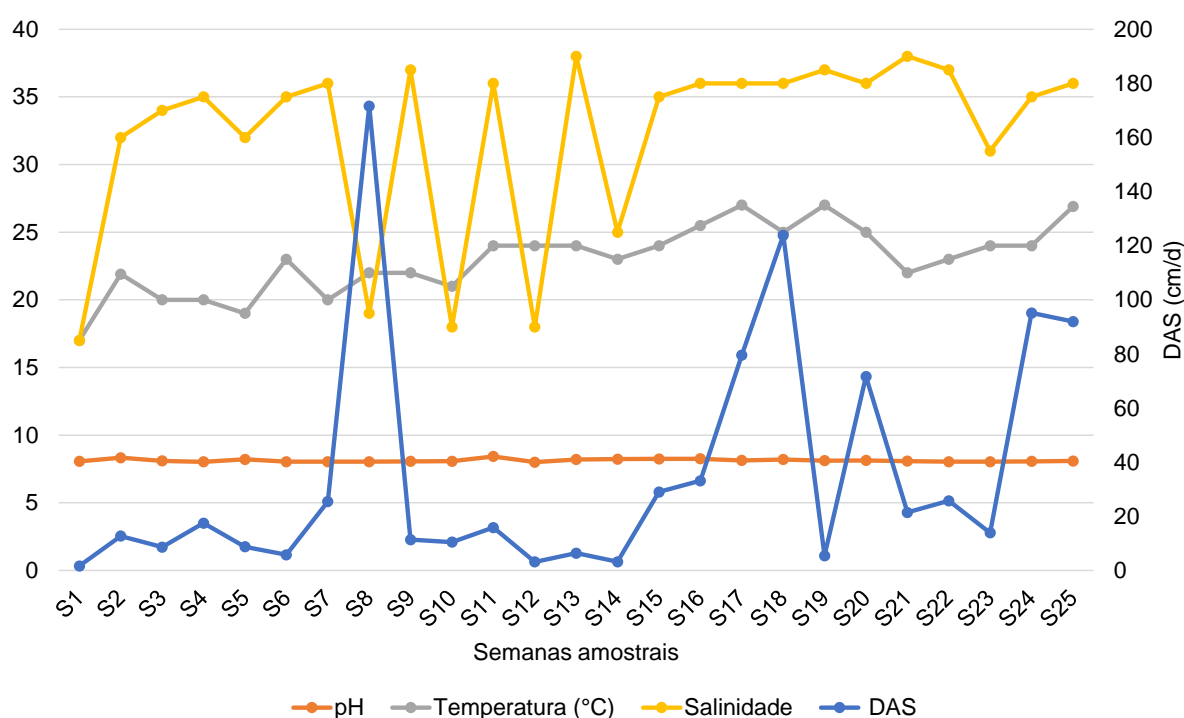
Tabela 4 - Continuação. Valores dos parâmetros físico-químicos de pH, salinidade, temperatura (T °C), clorofila-a (Chl-a), clorofila-a + feopigmentos (Chl-a + Feo), feofitina-a (Feo-a), nitrogênio amoniacal (NA), ortofosfato, fósforo total (FT), nitrogênio total (NT), silicato (Si), ferro (Fe) e DAS, coletados de setembro de 2019 a março de 2020 na praia de Imbé, litoral norte do Rio Grande do Sul.

Semanas	DAS (cm d ⁻¹)	pH	Salinidade	T (°C)	Chl-a (µg L ⁻¹)	Chl-a + Feo (µg L ⁻¹)	Feo-a (µg L ⁻¹)	NA (mg L ⁻¹)	Ortofosfato (mg L ⁻¹)	FT (mg L ⁻¹)	NT (mg L ⁻¹)	Si (mg L ⁻¹)	Fe (mg L ⁻¹)
S20	71,68	8,13	36	25,0	10,9	7,7	13,0	0,03	ND*	0,07	1,04	1,47	0,03
S21	21,42	8,08	38	22,0	1,0	5,7	9,7	0,16	ND*	0,56	0,77	1,90	0,04
S22	25,72	8,04	37	23,0	42,9	26,8	45,8	ND*	ND*	0,15	0,18	2,26	0,04
S23	13,92	8,04	31	24,0	ND*	ND*	ND*	ND*	0,30	0,75	0,61	1,13	ND*
S24	95,14	8,06	35	24,0	ND*	ND*	ND*	ND*	0,30	0,75	ND*	1,44	ND*
S25	91,98	8,09	36	26,9	-	-	-	-	1,65	2,32	-	-	-
Média	35,73	8,13	32	23,0	14,4	36,8	57,5	0,63	1,91	2,27	1,29	3,07	X,xx

* ND = Não detectável

Na Figura 3, pode-se observar que diversas variáveis tiveram comportamento similar à DAS. A baixa salinidade na amostra S8 (19), coincidiu com o maior pico de DAS (171,61 cm d⁻¹), evidenciando que a forte descarga de água continental doce é capaz de alterar expressivamente a salinidade da zona de surfe. No entanto, valores baixos de salinidade como os observados nas semanas S10, S12 e S14 não estiveram associados a picos de DAS. Os valores do pH oscilaram ao longo das semanas, resultando na média de 8,13. A temperatura da água teve como mínimo 17 °C e máximo de 27 °C, com uma média de 23 °C, ao longo das 25 semanas e aumentando conforme seguiam-se as semanas mais quentes até o final do verão (Figura 3).

Figura 3 - Resultados dos parâmetros pH, salinidade, temperatura (°C) (no eixo primário) e DAS (cm/d) (eixo secundário), coletados no período de setembro de 2019 até março de 2020.

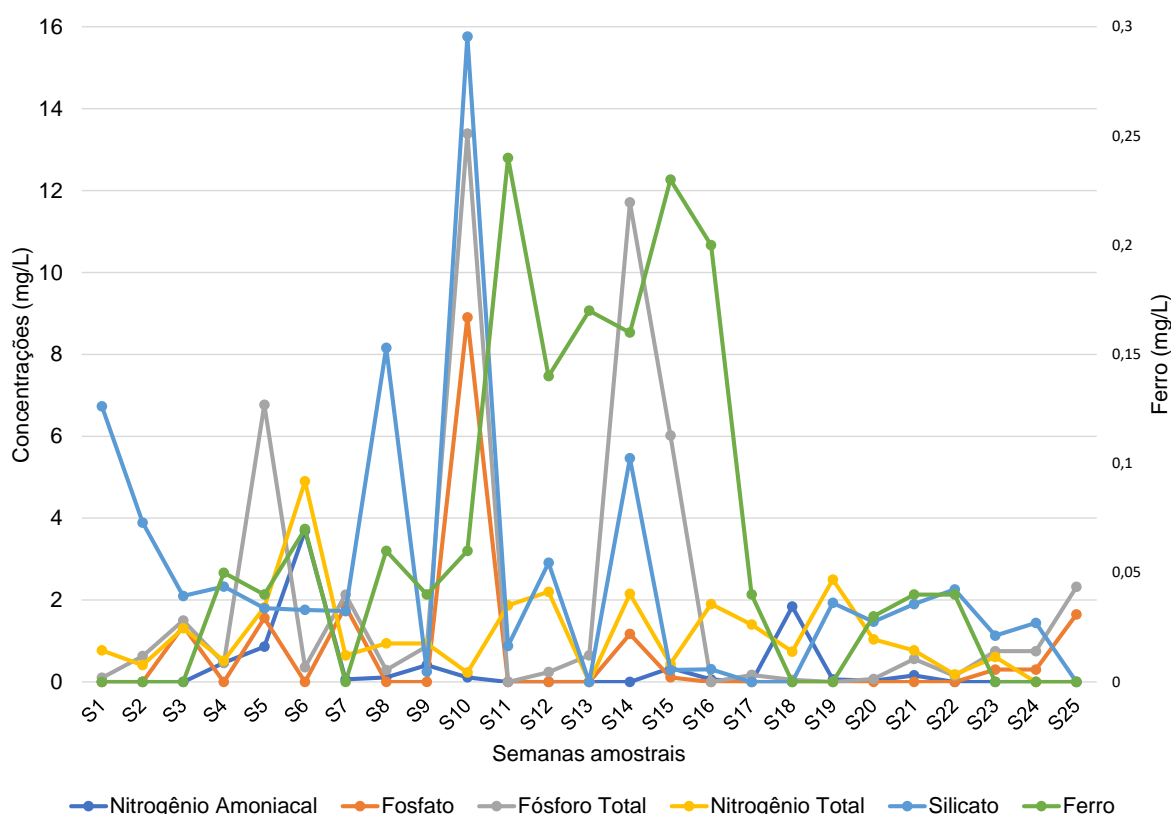


Fonte: Autora (2022)

As concentrações de nitrogênio total (NT) variaram ao longo das semanas amostrais, com máximo de 4,9 mg L⁻¹ na semana S6. Nesta mesma amostra foi registrado um pico de nitrogênio amoniacal (NA) (3,69 mg L⁻¹). Similar ao nitrogênio total, o nitrogênio amoniacal variou amplamente no decorrer das semanas, sendo sua média de 0,34 mg L⁻¹ (Figura 4).

Os valores de ortofosfato, fósforo total (FT) e silicato apresentaram um comportamento de concentração similar ao longo das semanas, com destaque para um grande pico na S10 para todos os parâmetros. O ferro apresentou concentrações significativas, com pico de $0,24 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 4).

Figura 4 - Concentração de nitrogênio amoniacal (mg L^{-1}), nitrogênio total (mg L^{-1}), fosfato (mg L^{-1}), fósforo total (mg L^{-1}), silicato (mg L^{-1}) e ferro (mg L^{-1}), determinados em amostras coletadas no período de setembro de 2019 até março de 2020.

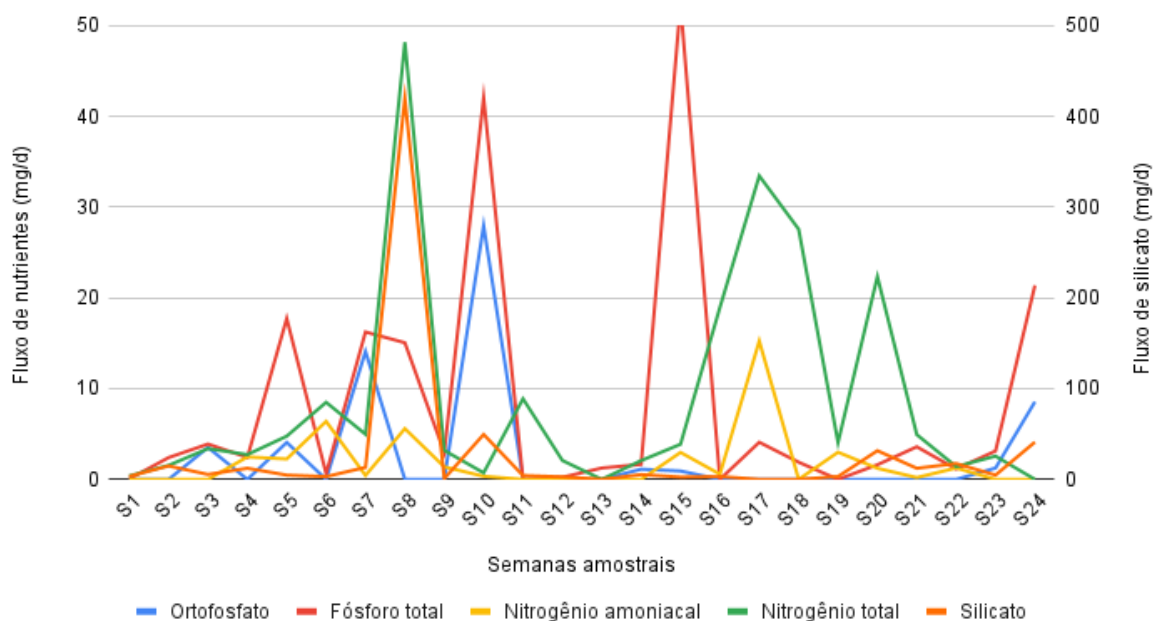


Fonte: Autora (2022)

Os fluxos de nutrientes (mg d^{-1}) médios foram de 2,56; 8,16; 1,80; 8,77; 27,29 e $0,49 \text{ mg d}^{-1}$ para ortofosfato, FT, NA, NT, silicato e ferro, respectivamente. O segundo pico ocorreu na S10, com valores de $27,95 \text{ mg d}^{-1}$ para ortofosfato, $42,04 \text{ mg d}^{-1}$ para FT e $49,5 \text{ mg d}^{-1}$ para silicato. O fluxo de FT teve maior valor na S15, sendo $52,36 \text{ mg d}^{-1}$, na mesma semana os valores para outros nutrientes foram baixos, ortofosfato, nitrogênio amoniacal, NT, silicato e ferro obtiveram valores de 0,92, 2,97, 3,87, 2,55 e $2,04 \text{ mg d}^{-1}$, respectivamente. Entre todos os nutrientes o que apresentou

maior fluxo foi o silicato na S8, cerca de 419,86 mg d⁻¹, na mesma semana obtivemos valores de 48,16 mg d⁻¹ para NT e 15,05 mg d⁻¹ para FT (Figura 5).

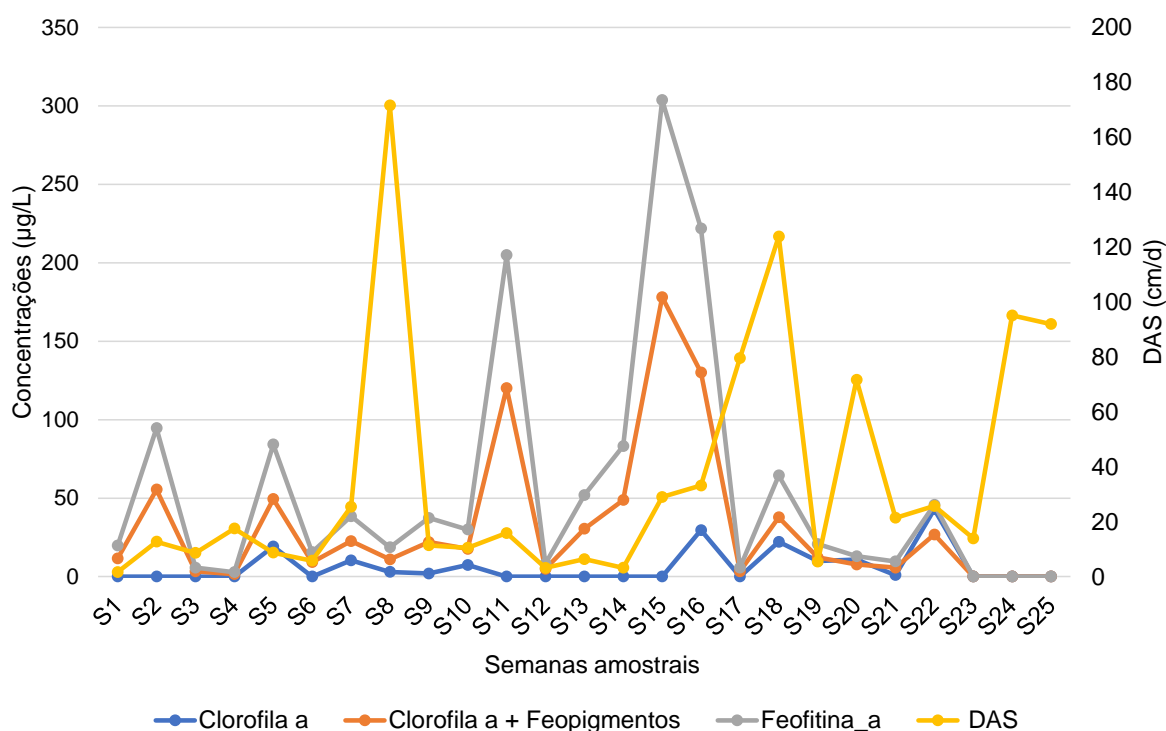
Figura 5 - Resultados dos fluxos de nutrientes (mg d⁻¹) nitrogênio amoniacal, ortofosfato, fósforo total, nitrogênio total, e ferro (eixo primário) e silicato (eixo secundário), coletados no período de setembro de 2019 a março de 2020.



Fonte: Autora (2022)

A clorofila *a* (Chl *a*) apresentou valores baixos (próximo ao zero) em grande parte do período amostral, com média de concentração de 6,60 µg L⁻¹. Entretanto, os produtos resultantes da degradação da clorofila *a*, tais como feofitina *a* (Feo *a*) e clorofila *a* + feopigmentos (Chl *a* + Feopig) apresentaram valores mais elevados (Figura 6). Na S15 ocorreu o maior pico de Chl *a* + Feopig (178,1 µg L⁻¹) e Feo *a* (303,7 µg L⁻¹), entretanto, a DAS na mesma semana apresentou valor de 29,01 cm d⁻¹, o que pode ser considerado baixo em relação às demais semanas amostradas. O padrão inverso entre DAS e parâmetros biológicos ocorreu em outras amostras, como na S8, que tem o maior valor de DAS (171,61 cm d⁻¹) com valores baixos para Chl *a* + Feopig (11 µg L⁻¹) e para Feo *a* (18,7 µg L⁻¹) (Figura 6)

Figura 6 - Resultados dos parâmetros biológicos de clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), feofitina a ($\mu\text{g L}^{-1}$) e clorofila a + feopigmentos ($\mu\text{g L}^{-1}$), eixo primário, comparados aos volumes de concentrações de DAS (cm d^{-1}), eixo secundário, coletados no período de setembro de 2019 a março de 2020.

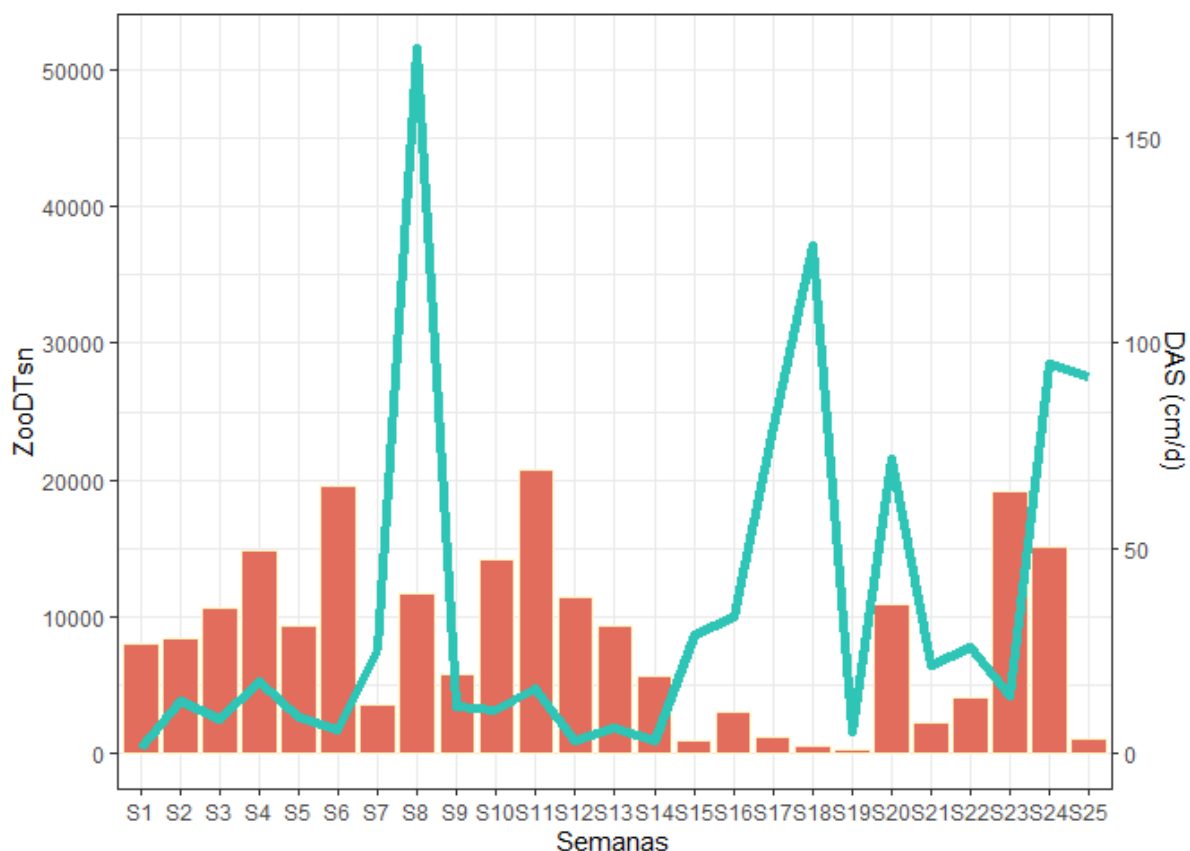


Fonte: Autora (2022)

3.3 RELAÇÃO DOS PARÂMETROS BIÓTICOS E ABIÓTICOS

A densidade total de zooplâncton marinho (ZooDT) (org m^{-3}), excluindo-se o grupo Noctilucales, apresentou uma relação inversa com a DAS (Figura 7). A exemplo, entre as semanas 15 e 18, houve um período prolongado de maior DAS, que foi caracterizado por uma baixa densidade zooplanctônica total (Figura 7).

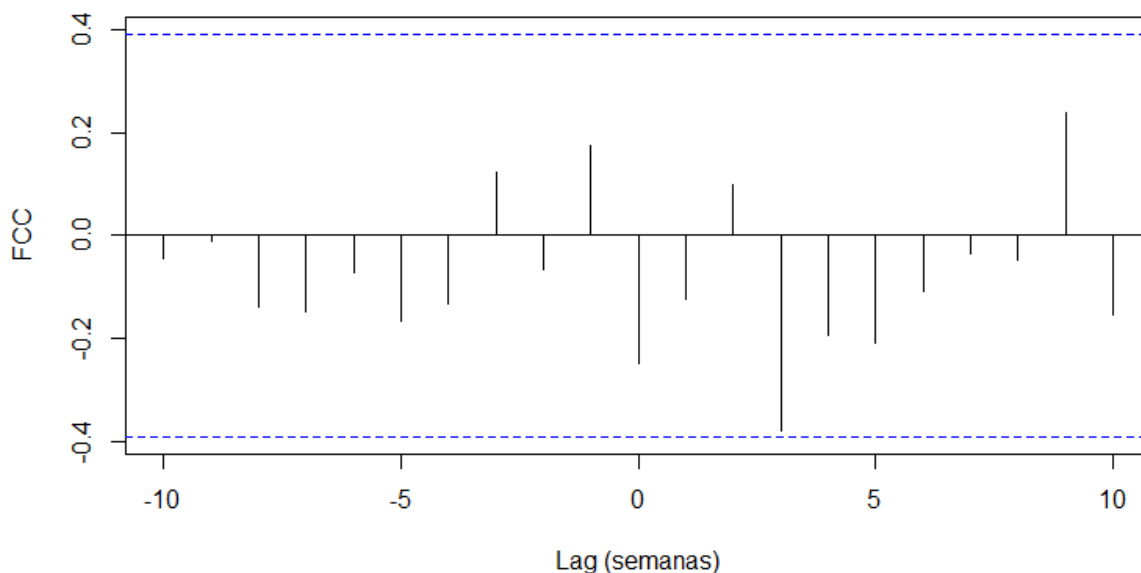
Figura 7 - Dados de ZooDT (org/m^3 - barras, eixo primário) (excluindo-se o grupo Noctilucal) relacionado à DAS (cm/d - linha, eixo secundário) no período de setembro de 2019 até março de 2020.



Fonte: Autora (2022)

Um fator importante a se considerar é que os efeitos da DAS sobre o zooplâncton podem ser indiretos, gerando atrasos (*lags*) temporais, o que pode explicar o ocorrido na S8. Para testar a presença de *lags*, foram realizadas análises de correlação cruzada entre DAS e ZooDT; DAS e grupos taxonômicos do zooplâncton mais frequentes ($> 30\%$ FO); e ZooDT e alguns parâmetros abióticos selecionados. Não houve *lag* temporal entre a ZooDT e a DAS (Figura 8).

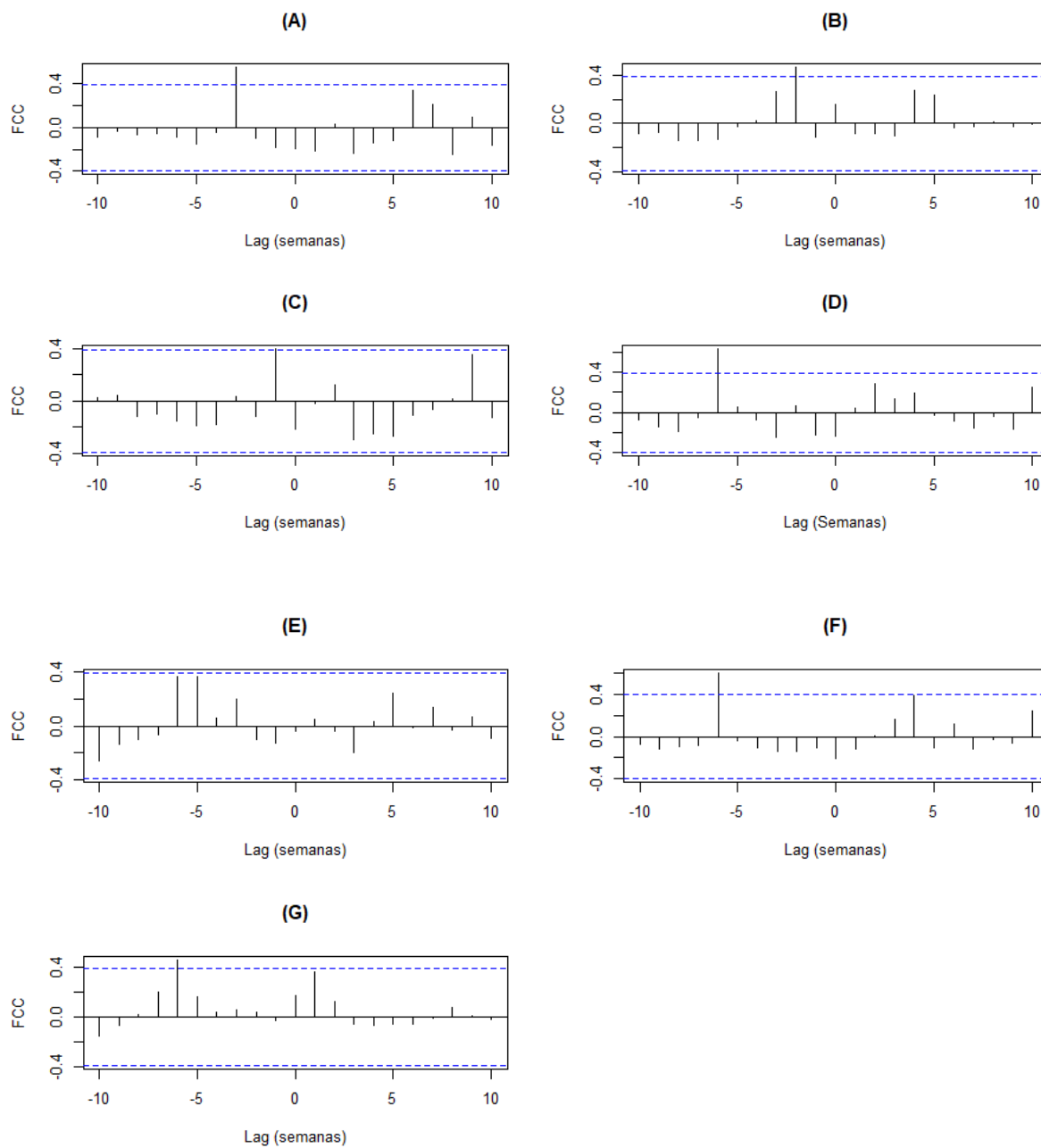
Figura 8 - Correlação cruzada entre DAS e a densidade total de zooplâncton marinho, entre setembro de 2019 e março de 2020. No eixo X estão os lags temporais semanais, e no eixo Y a função de correlação cruzada (FCC), sendo a linha tracejada azul o intervalo de confiança 95%.



Fonte: Autora (2022)

No entanto, alguns grupos taxonômicos do zooplâncton mais frequentes correlacionaram-se significativamente com *lags* temporais com a DAS, em geral de 3 a 6 semanas. Grupos como as Ordens Mysida, Salpida e Noctilucales apresentaram *lags* mais curtos, de 1 a 3 semanas (-3, -3 e -1, respectivamente) (Figura 9 A, B, C), enquanto que as Ordens Decapoda, Calanoida, Aphragmophora e a Classe Bivalvia, apresentaram *lags* mais longos, de 5 a 6 semanas (-6, -5, -6 e -6, respectivamente) (Figura 9 D, E, F, G).

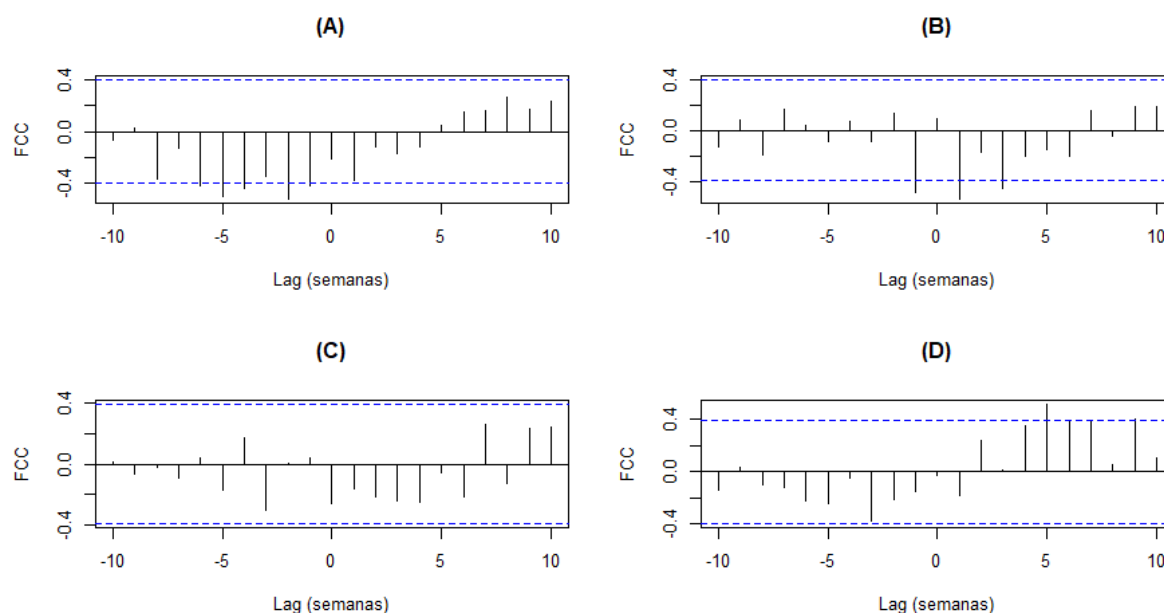
Figura 9 - Correlação cruzada entre DAS e Mysida (A), Salpida (B), Noctilucales (C), Decapoda (D), Calanoida (E), Aphragmophora (F) e Bivalvia (G), entre setembro de 2019 e março de 2020. No eixo X estão os lags temporais semanais, e no eixo Y a função de correlação cruzada (FCC), sendo a linha tracejada azul o intervalo de confiança 95%.



Fonte: Autora (2022)

Na correlação cruzada entre os parâmetros ambientais, tais como, temperatura, salinidade, clorofila-a e feofitina-a e a densidade total de zooplâncton marinho, pode-se observar correlação significativa com *lags* temporais negativos de 1 e 3 semanas (-2, -1, -3 e -3, respectivamente). Destes, apenas a clorofila a não foi significativa (Figura 10).

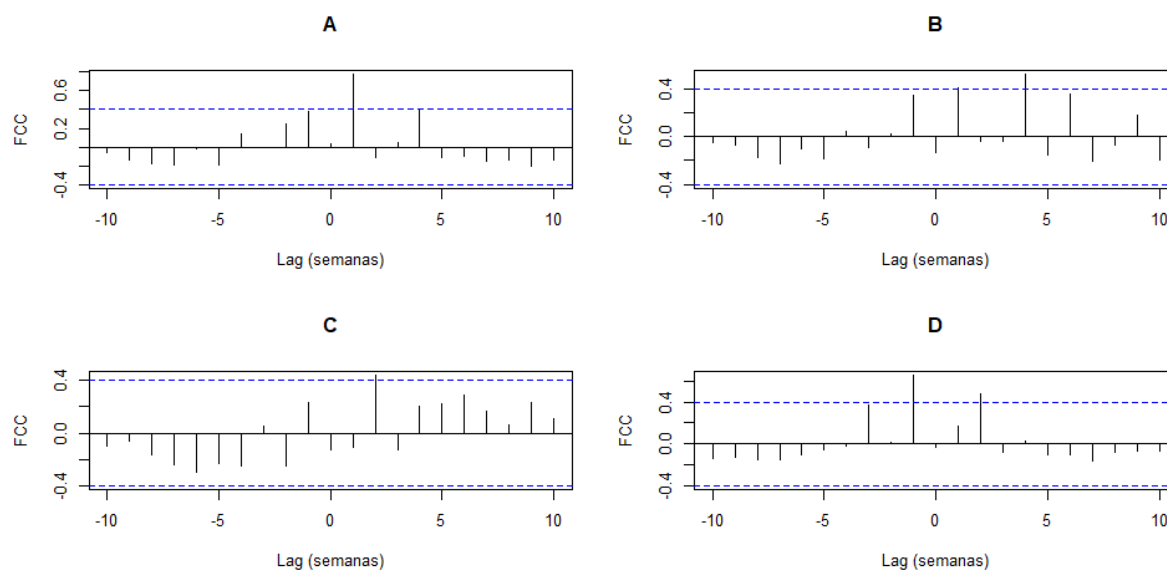
Figura 10 - Correlação cruzada entre temperatura (A), salinidade (B), clorofila-a (C), feofitina-a (D) e densidade total de zooplâncton marinho no período de setembro de 2019 a março de 2020. No eixo X estão os lags temporais semanais, e no eixo Y a função de correlação cruzada (FCC), sendo a linha tracejada azul o intervalo de confiança 95%.



Fonte: Autora (2022)

Na correlação cruzada entre o fluxo de nutrientes, para fosfato, fósforo total, ferro e silicato com a densidade total de zooplâncton marinho, pode-se observar correlação significativa com *lag* temporal positivo de -1, para silicato com DT zooplâncton, ou seja, o fluxo de silicato ocorre em uma semana e na outra o zooplâncton aumenta (Figura 11D). Contudo, para os demais nutrientes não ocorreram *lags* temporais significativos (Figura 11).

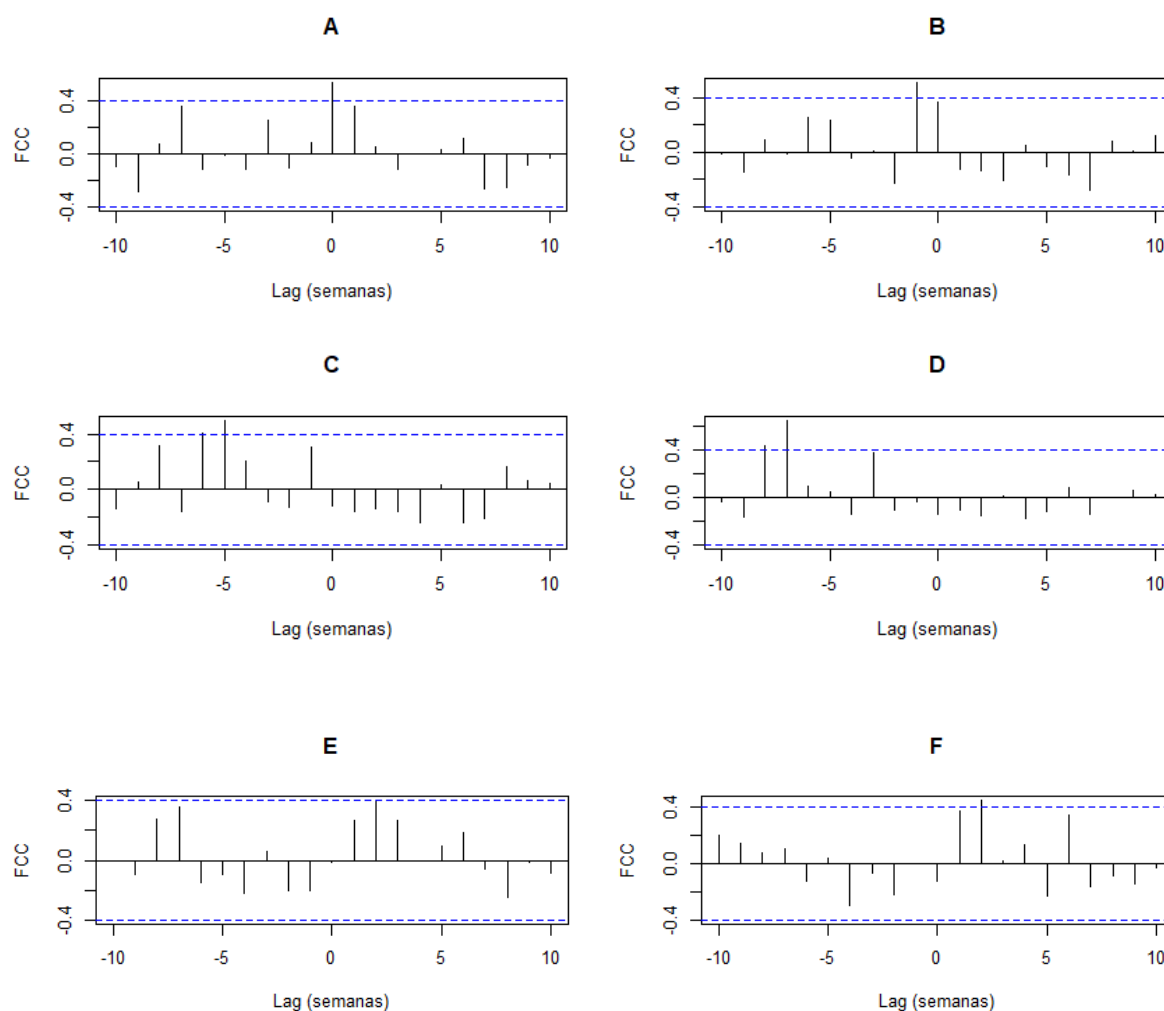
Figura 11 - Correlação cruzada entre fluxos de ortofosfato (A), fósforo total (B), ferro (C), silicato (D) e densidade total de zooplâncton marinho no período de setembro de 2019 a março de 2020. No eixo X estão os lags temporais semanais, e no eixo Y a função de correlação cruzada (FCC), sendo a linha tracejada azul o intervalo de confiança 95%.



Fonte: Autora (2022)

Dentre as correlações cruzadas de fluxos de nutrientes tais como ferro, fósforo total, fosfato, silicato com Chl-a + Feopig, com a densidade total do zooplâncton, obtivemos uma correlação significativa com *lag* temporal positivo, ou seja, apresentando resultados de 1 e 5 semanas com -1 para fósforo total e -5 para fosfato. O silicato apresentou correlação significativa com *lag* temporal significativo de -7 semanas (Figura 12).

Figura 12 - Correlação cruzada entre fluxos de ferro (A), fósforo total (B), ortofosfato (C), silicato (D), nitrogênio total (E), nitrogênio amoniacal (F) e densidade total de zooplâncton marinho no período de setembro de 2019 a março de 2020. No eixo X estão os lags temporais semanais, e no eixo Y a função de correlação cruzada (FCC), sendo a linha tracejada azul o intervalo de confiança 95%.

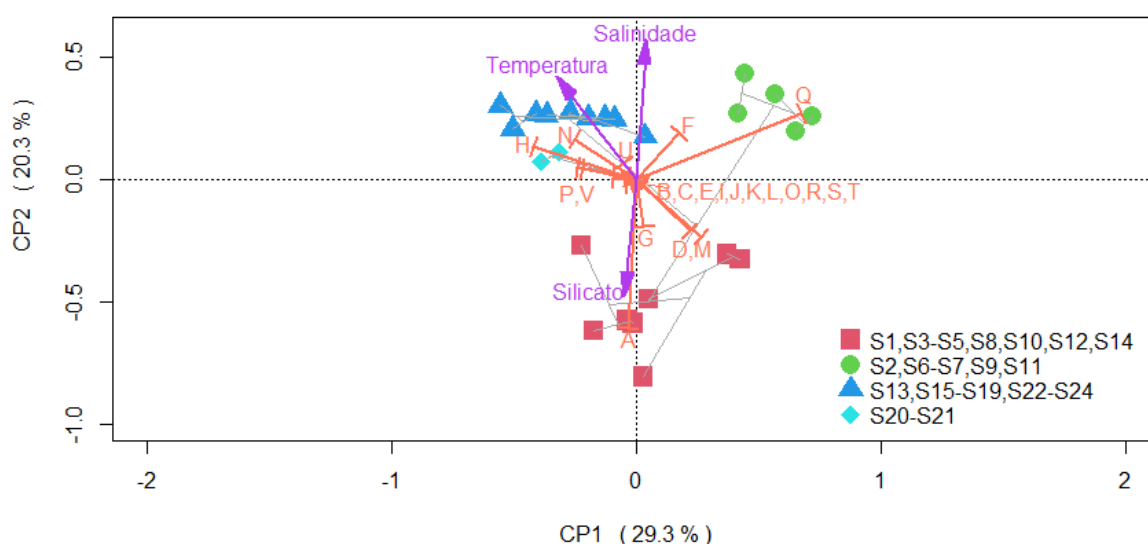


Fonte: Autora (2022)

A Análise de Componentes Principais (ACP) dos 21 táxons do zooplâncton apresentou um total de variância explicada pelo primeiro eixo (PC1) = 29,3 % e pelo segundo eixo (PC2) = 20,3 % (Figura 13). Os parâmetros ambientais que apresentaram correlação significativa ($P < 0,05$) com os grupos de zooplâncton foram temperatura, salinidade e silicato. A ACP revelou a formação de 4 grupos de amostras. As amostras do P1 (S1, S3, S4, S5, S8, S10, S12 e S14) foram associadas a maiores valores de silicato e menores temperaturas e salinidade, tendo como característica a dominância do grupo Diplostraca. Um segundo grupo foi formado também por amostras do P1, mas associadas a maiores valores de temperatura e salinidade e

com dominância do zooplânctônico Noctilucales. As amostras do P2 (S15-S25), foram associadas a altas temperaturas e salinidades e com alta representatividade dos grupos Bivalvia e Calanoida. Um último grupo foi formado apenas pelas amostras S20 e S21, também do P2, relacionada principalmente às maiores temperaturas e pela dominância do grupo Salpida

Figura 13 - Triplot da Análise de Componentes Principais (ACP) do zooplâncton (21 táxons, A-V), ao longo das 25 semanas (S) amostrais no período de setembro de 2019 a março de 2020. A – Displostraca, B- Decapoda, C- Euphausiacea, D – Amphipoda, E- Isopoda, F- Mysida, G- Cirripedia, H- Calanoida, I- Cyclopoida, J- Aphragmophora, K- Polychaeta, L- Amphilepodida, M- Pteropoda, N- Bivalvia, O- Cnidaria, P- Salpida, Q- Noctilucales, R- Foraminefero, S- Nauplio T- Larva de peixe, U- Ovo de peixe, V- outros.



Fonte: Autora (2022)

4 DISCUSSÃO

Neste trabalho houve um padrão de variação do zooplâncton direta com parâmetros abióticos, tais como temperatura e salinidade, e, indiretamente, com a DAS (*lags* temporais de três a seis semanas). Isso, está, principalmente, justificado através de variáveis que potencialmente influenciam o fitoplâncton, tais como os nutrientes. Assim, independentemente dos volumes de descarga, fica comprovado que a DAS influencia a densidade de zooplâncton, corroborando nossa hipótese central. No entanto, é importante enfatizar que os resultados do trabalho não consideram outros fatores ambientais, tais como a direção do vento e direção das correntes marinhas, pois a ênfase reside na relação indireta de DAS e zooplâncton marinho na zona de surfe, um ambiente altamente dinâmico e muito próximo da faixa de praia, zona de expressivo, senão majoritário, efeito da DAS.

Os grupos com maior abundância relativa (Noctilucales, Calanoida, Diplostraca) e frequência de ocorrência (Calanoida, Apheragmophora, Pteropoda e Cyclopoida), são típicos desse tipo de ambiente tendo sido registrados em outros estudos realizados no Litoral Norte do RS em locais bastante próximos geograficamente e para o mesmo período do ano. (AVILA; PEDROZO; BERSANO, 2009; RODRIGUES, 2016), apresentando valores de densidade de zooplâncton semelhantes aos do presente trabalho.

No trabalho de Avila et al. (2009), os grupos que apresentaram maior densidade média foram Mysida (344 org m^{-3}) e Copepoda (233 org m^{-3}), e os autores descreveram que os demais grupos encontrados apresentaram densidades abaixo de 40 org m^{-3} . Segundo Rodrigues et al, (2016), o grupo mais abundante, em média, na primavera, foi Mysida, com valores de $1.129.666 \text{ org m}^{-3}$. O valor de densidade total zooplanctônica apresentado pelos autores é superior ao registrado no presente estudo, no qual a densidade total foi de $23.428 \text{ org m}^{-3}$ considerando todo o período amostral. Além de possíveis variações sazonais ou anuais, os menores valores de densidade provavelmente decorrem do método de coleta, uma vez que Avila et al. (2009) e Rodrigues et al. (2016) utilizaram arrastos horizontais para a coleta de zooplâncton. Além disso, diferenças metodológicas tais como malhas diferentes, de $300 \mu\text{m}$ e $250 \mu\text{m}$ de retenção, respectivamente, além uso de subamostragem e

contagem em alíquotas (Rodrigues et al. 2016) podem ter contribuído para esta discrepância.

Durante as semanas amostradas neste estudo, foi observada uma diferença marcante entre dois períodos com relação à composição de grupos e valores de densidade total, sendo o primeiro (P1) entre as semanas 1 e 13, e o segundo período (P2) entre as semanas 14 e 25. Esta divisão pode estar relacionada à mudança de estação do ano, uma vez que coincide com a transição da primavera para o verão. Este mesmo padrão de variação sazonal zooplanctônica também foi observado por Rodrigues (2016), que realizou coletas utilizando rede de plâncton com malha de 250 μm , na praia de Imbé, localizado a cerca de 500 m a sul da área deste estudo, e encontrou maior densidade média de organismos na primavera (15.639 org m^{-3}) em relação ao verão (7.116 org m^{-3}).

O grupo Noctilucales, que teve as maiores abundâncias relativas, esteve distribuído nas semanas 5, 6, 7 e 9, ocorrendo em altas densidades (máximo de 53.885 org m^{-3} na S9) em relação aos demais grupos, principalmente, após os picos de DAS. Este grupo, representado principalmente pelo gênero *Noctiluca* é classificado como protozooplâncton e pertencente a um importante grupo heterotrófico (ODEBRECHT; ABREU, 1997). Segundo Umani et al. (2004), a alimentação de *Noctiluca* sp. varia entre organismos do microzooplâncton e bactérias, e acredita-se que o pastoreio da espécie tenha influência significativa na permanência de outros grupos taxonômicos, havendo competição na alimentação entre os grupos.

O táxon que apresentou maior densidade, sem levar em conta Noctilucales, foi Calanoida, padrão semelhante ao encontrado em outros estudos de zooplâncton marinho em regiões costeiras (AVILA; PEDROZO; BERSANO, 2009; SANT'ANNA; BJÖRNBERG, 2006). Este grupo pertence ao holoplâncton, sendo um grupo diversificado. Segundo Eskinazi-Sant'Anna et al. (2006), os copépodes Calanoida podem ser onívoros, adaptando-se ao tipo de alimentação disponível no ambiente.

A superordem Diplostraca (anteriormente = Cladocera) teve a terceira maior densidade total entre os grupos no período amostral. É um grupo caracteristicamente de água doce e com poucos representantes marinhos, mas que eventualmente pode atingir altas densidades em águas costeiras (MUXUGATA; MONTÚ, 1999). Os

gêneros *Penilia* sp. e *Podon* sp. presentes nas amostras são associadas às águas com baixa temperatura e baixa salinidade (ROCHA, 1982). Segundo Boltovskoy (1999), o grupo têm valores significativos na região costeira com o início na primavera e após esse período o grupo realiza migração para a região mais central da plataforma. Este padrão foi observado no presente trabalho, pois no período de primavera, quando as características da água foram de menores valores de salinidade e temperaturas ocorreram as densidades mais elevadas deste grupo. Além disso, o grupo ocorre na S10, na qual apresenta maior valor de concentração para o nutriente de silicato ($15,76 \text{ mg L}^{-1}$) e na semana posterior na S11, as concentrações de Chl a + Feopig ($120,2 \text{ } \mu\text{m L}^{-1}$) e Feo a ($204,9 \text{ } \mu\text{m L}^{-1}$) apresentaram terceiro maior pico em relação a todo período amostral, podendo indicar que teríamos uma influência indireta através do crescimento do fitoplâncton, favorecendo o grupo.

Outro grupo que se destacou nas amostragens, mas que apresentou ocorrência esporádica, porém com alta dominância, foi Salpida. Este grupo teve suas maiores abundâncias nas semanas S20 e S21, apresentaram características ambientais de salinidades acima de 36 e temperaturas acima de $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Esses valores elevados de salinidade e temperatura ocorreram com um pico de DAS na S20, evidenciando que neste evento a DAS não teve forte influência na zona de surfe, e que fatores ambientais não avaliados no trabalho podem justificar a ocorrência desse grupo no ambiente. Entretanto, como a região de estudo está muito próxima da faixa de praia (até 40 m da zona de varrido), ganha força a perspectiva de efeitos mais expressivos em função de forçantes locais, como a DAS e as desembocaduras

O grupo Aphragmophora (quetognatos) foi o segundo grupo com maior frequência de ocorrência durante o período amostral. Este grupo tem como hábito alimentar carnívoro, sendo sua principal presa os copépodes (BOLTOVSKOY, 1981).

As águas costeiras tem, em geral, limitações nas concentrações de nitrogênio, sendo que o incremento nos teores desse nutriente, entre outros, oriundo da DAS possuem importância particular para a zona de surfe. No Golfo da Tailândia, por exemplo, o fluxo de nutrientes via DAS representa cerca de 40 % para nitrogênio e, aproximadamente, 70 % dos fósforo (BURNETT *et al.*, 2007). Uma vez que as concentrações e razões estequiométricas entre os nutrientes são importantes fatores para o crescimento do fitoplâncton (REDFIELD, 1933), principal alimento para muitas

espécies de zooplâncton, é plausível assumir que a fertilização da zona costeira pela DAS pode afetar de maneira indireta o zooplâncton.

E embora as concentrações de nitrogênio e fósforo que não tenham apresentado variação similar entre si (Figura 4), outros elementos oriundos de fonte terrestre, tais como ortofosfato, fósforo total e silicato apresentaram um padrão similar na variação de suas concentrações ao longo do período amostral. Uma vez que o silicato é um importante geotraçador de DAS (PAIVA, 2014), isto pode indicar que os demais nutrientes tiveram origem também na DAS, observado igualmente em outros estudos (SUGIMOTO *et al.*, 2017). Além disso, o silicato é um nutriente essencial para as diatomáceas, que utilizam este elemento em suas frústulas, aporte que contribuiria para seu desenvolvimento nesta região, bem como desdobramentos ecológicos após sua degradação.

Outro desdobramento relevante da DAS na zona de surfe é a alteração na salinidade, na temperatura e no pH das águas adjacentes (ROCHA, 2018). Em linhas gerais, a salinidade se reduz com a DAS uma vez que as águas continentais são doces, havendo um processo de mistura bastante dinâmico na região costeira, tanto superficial quanto subterrânea. O mesmo ocorre para o pH, já que as águas que aportam nesta região apresentam valores de pH inferiores àqueles das águas marinhas. Ambas características vão ser determinantes para o desenvolvimento de alguns organismos. As amostras S24 e S25 apresentaram resultados distintos do esperado, pois as águas da DAS se caracterizam por salinidade zero, pH baixos (< 8,00) e temperatura mais fresca nesta época do ano (Tabela 4) (ROCHA, 2018).

A densidade total do zooplâncton não apresentou uma associação significativa com a DAS, o que pode ser explicado devido ao ciclo de vida de cada grupo que compõe o zooplâncton. Como a relação entre DAS e o zooplâncton é indireta, necessita de um tempo de resposta após a descarga na zona de surfe. Além disso, outros fatores, tais como correntes oceânicas, direção e velocidade do vento podem afetar a distribuição espacial do zooplâncton (BRANDINI *et al.* 1997). No entanto, foi observado que os dois períodos distintos S1-13 *versus* S14-25 em que foram ocorreram diferenças na composição e densidade total do zooplâncton coincidiram com diferenças na distribuição da DAS. No primeiro período houve apenas um grande pico de DAS (171,61 cm d⁻¹), enquanto no segundo período houve cinco picos de

DAS, mas de menor magnitude ($< 71 \text{ cm d}^{-1}$). Um dos principais fatores que regem essa diferença entre os períodos é a variação sazonal em conjunto com os regimes de chuva, podem controlar o fluxo da descarga como observado em outros estudos (ROCHA, 2018).

Embora a densidade total não tenha sido associada aos efeitos imediatos da DAS, quando analisados separadamente, vários grupos do zooplâncton tiveram correlações significativas com a DAS com diferentes *lags* temporais, uns mais curtos de 1-3 semanas (Mysida, Salpida e Noctilucales) e outros mais longos de 5-6 semanas (Decapoda, Calanoida, Apheroglossa e Bivalvia). O que pode explicar esses efeitos a longo prazo são as especificidades de cada grupo, tais como posição na teia trófica e diferentes tempos de resposta e taxas de crescimento.

A relação entre a DAS e a produtividade primária tem sido documentada utilizando clorofila-*a* como principal *proxy* de biomassa fitoplanctônica (CAMPBELL; BATE, 1996; SANTOS *et al.*, 2021; SUGIMOTO *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2016). No presente trabalho, porém, a clorofila *a* apresentou valores bastante baixos ($< 42,9 \mu\text{g L}^{-1}$). No entanto, quando os produtos de degradação da clorofila *a* são considerados, observa-se que eles apresentam valores mais elevados, apresentando picos com uma semana após o pico de clorofila *a*, e com *lag* de duas semanas após DAS. Uma vez que a feofitina é marcadora de herbívoros do fitoplâncton pelo zooplâncton, isso sugere que os organismos fitoplanctônicos estão sendo consumidos pelo zooplâncton, havendo uma relação indireta entre DAS e o zooplâncton marinho. Além disso, estudos vêm sendo desenvolvidos pelo mundo relacionando a DAS com consumidores secundários (FUJITA *et al.*, 2019; LILKENDEY *et al.*, 2019; STARKE; EKAU; MOOSDORF, 2020) apresentando relações significativas entre o meio biótico e abiótico.

Ainda, a formação geológica é um dos fatores que destaca a região do litoral do RS quanto à DAS e seu potencial ecológico. Isso porque a característica arenosa favorece a comunicação dos compartimentos subterrâneo e superficial (ROCHA, 2014 2018), característica de regiões hidrogeológicas como está com aquíferos livres e semi-confinados (MACHADO; FREITAS, 2005), havendo descarga de forma difusa e variável, mas constante. Isso é verificado no litoral do RS por inúmeros estudos realizados nos últimos anos (ATTISANO, 2008; 2012; ROCHA; BARBOZA;

NIENCHESKI, 2018; NIENCHESKI *et al.*, 2007; PAIVA, 2011; 2014; PAIVA, M.; NIENCHESKI, 2018; ROCHA; ANDRADE; NIENCHESKI, 2015; WINDOM; MOORE; NIENCHESKI, 2007), perfazendo uma grande área de descarga de mais de 600 Km. Tal característica se sobressai quando comparada a outras regiões de formações geológicas distintas, como as vulcânicas por exemplo, onde os *hotpots* (pontos de descarga) são mais restritos e fixos, restringindo a DAS e seus efeitos (STARKE; EKAU; MOOSDORF, 2020).

É importante considerar que análises de séries temporais, tais como este estudo se propõe demandam um grande número de amostras. Sendo assim, é possível que observações de períodos mais longos possam confirmar os padrões observados neste trabalho ou ainda revelar novos padrões. Além disso, alguns padrões foram inconsistentes com o esperado, tais como semanas com baixa DAS e baixas salinidades, sugerindo que outros fatores (precipitação, correntes) não medidos neste trabalho são importantes para as condições ambientais locais. Por último, é importante considerar também em estudos futuros a quantificação do fitoplâncton, importante fonte alimentar do zooplâncton.

5 CONCLUSÕES

O zooplâncton foi caracterizado por 21 taxa (>Ordem), destacando-se os grupos Noctiluales, Calanoida e Diplostraca em relação a abundância relativa e Calanoida, Aphragmophora, Pteropoda e Cylopoida em relação à frequência de ocorrência. Houve uma variação temporal com dois períodos distintos, onde as variáveis ambientais foram as principais influenciadoras desta divisão, sendo esses períodos associados às estações de primavera (menores temperatura e salinidade e apenas um grande pico de DAS) e verão (maiores temperaturas e salinidade e vários picos de DAS).

A ACP indicou a correlação da densidade do zooplâncton marinho com as variáveis de temperatura, salinidade e silicato, dividindo as semanas em quatro agrupamentos. Embora a correlação direta entre DAS e zooplâncton não tenha sido visível, a correlação com o elemento do silicato é um bom indicador que a DAS pode influenciar indiretamente a manutenção de nutrientes na zona de surfe, e a partir disso, ter efeito sobre a variação da composição do zooplâncton marinho.

Embora a DAS não tenha apresentado associação direta com a densidade total zooplanctônica, diversos grupos do zooplâncton foram correlacionados à DAS com atrasos temporais (lags) de uma até seis semanas, sugerindo a associação indireta possivelmente através do crescimento do fitoplâncton promovido pela fertilização via DAS.

Este estudo aprimora os conhecimentos sobre a comunidade de consumidores primários na zona de surfe através das coletas semanais, preenchendo lacunas anteriormente citadas por outros autores. Além disso, o mesmo apresenta dados relevantes para os estudos de ecologia de zonas costeiras, principalmente quando não negligência o aporte subterrâneo continental. Essa é a primeira contribuição que relaciona a variação temporal do zooplâncton com a DAS em zona de surfe de praias arenosa, fazendo deste trabalho pioneiro na área.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Mauro M.; TOLDO, Elírio E.; NUNES, José C. Variabilidade das correntes na plataforma interna ao largo de Tramandaí, RS durante o verão de 2014. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 43, n. 3, p. 289–298, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78231>

ATTISANO, Karina Kammer. Aporte subterrâneo: uma fonte complementar de nutrientes para a Costa Sul do Brasil e plataforma adjacente. [s. l.], p. 204, 2012.

ATTISANO, Karina Kammer *et al.* EVIDENCES OF CONTINENTAL GROUNDWATER INPUTS TO THE SHELF ZONE IN ALBARDÃO, RS, BRAZIL. **Brazilian Journal of Oceanography**, [s. l.], p. 12, 2008.

AVILA, Tatiana R.; PEDROZO, Catarina S.; BERSANO, José G. F. Variação temporal do zooplâncton da Praia de Tramandaí, Rio Grande do Sul, com ênfase em Copepoda. **Iheringia - Serie Zoologia**, Porto Alegre, v. 99, n. 1, p. 18–26, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0073-47212009000100003>

BAUMGARTEN, M. G. Z.; WALLNER-KERSANACH, M.; NIENCHESKI, L. F. H. **Manual de análises em oceanografia química**. 2ªed. Rio Grande: Editora FURG, 2010.

BOCARD, Daniel; GILLET, François; LEGENDRE, Pierre. **Numerical Ecology with R**. Seconded. [S. l.]: Springer Nature, 2011.

BOLTOVSKOY, Demetrio. **South Atlantic Zooplankton**. Leiden: Backhuys Publishers, 1999. v. 1

BRANDINI, Frederico. P. *et al.* **Planctonologia Na Plataforma Continental Do Brasil: Diagnose E Revisão Bibliográfica**. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar (FEEMAR), 1997.

BURNETT, William C. *et al.* Groundwater-derived nutrient inputs to the Upper Gulf of Thailand. **Continental Shelf Research**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 176–190, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2006.09.006>

BURNETT, William C.; DULAIOVA, Henrieta. Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. **Journal of Environmental Radioactivity**, Tallahassee, v. 69, n. 1–2, p. 21–35, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(03\)00084-5](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(03)00084-5)

CAMPBELL, Eileen E.; BATE, Guy C. Groundwater as a possible controller of surf diatom biomass. **Revista Chilena de Historia Natural**, [s. l.], v. 69, p. 503–510,

1996.

CIOTTI, Áurea *et al.* Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. **Pergamon**, [s. l.], v. 15, n. 14, p. 1737–1756, 1995.

CRAWLEY, M. J. **The R Book**. Chichester: Wiley, 2007.

DA ROCHA, Cacinele M.; BARBOZA, Eduardo G.; NIENCHESKI, L. Felipe H. Radon activity and submarine groundwater discharge in different geological regions of a coastal barrier in Southern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, [s. l.], v. 77, n. 14, p. 0, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7711-0>

FONDA UMANI, S. *et al.* Noctiluca scintillans Macartney in the Northern Adriatic Sea: Long-term dynamics, relationships with temperature and eutrophication, and role in the food web. **Journal of Plankton Research**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 545–561, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/plankt/fbh045>

FRANCO, Andréa O. R. *et al.* Asterionellopsis tropicalis (Bacillariophyceae): a new tropical species found in diatom accumulations. **Journal of Phycology**, [s. l.], v. 52, n. 5, p. 888–895, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jpy.12435>

FUJITA, Koji *et al.* Increase in fish production through bottom-up trophic linkage in coastal waters induced by nutrients supplied via submarine groundwater. **Frontiers in Environmental Science**, [s. l.], v. 7, n. JUN, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00082>

GARCIA, A. F.S. *et al.* Spatial diet overlap and food resource in two congeneric mullet species revealed by stable isotopes and stomach content analyses. **Community Ecology**, Rio Grande, v. 19, n. 2, p. 116–124, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1556/168.2018.19.2.3>

HARRIS, Roger *et al.* **ICES Zooplankton Methodology Manual**. San Diego, California: Academic Press, 2000.

KAMINSKI, Sônia M.; MONTÚ, Mónica. Produção de ovos dos copépodes costeiros *Acartia tonsa*, *Temora stylifera* e *Temora turbinata*, da Praia do Cassino – Rio Grande – RS. **Atlântica**, [s. l.], v. 27, n. 1995, p. 103–111, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-81082005000300006>

LALLI, Carol M.; PARSONS, Timothy R. **Biological oceanography: an introduction**. 2nd. ed. Amsterdam: Elsevier Butterworth Heinemann, 1997.

LEBLANC, K. *et al.* A global diatom database- A bundance, biovolume and biomass in the world ocean. **Earth System Science Data**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 149–

165, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/essd-4-149-2012>

LILKENDEY, Julian *et al.* Fresh Submarine Groundwater Discharge Augments Growth in a Reef Fish. **Frontiers in Marine Science**, [s. l.], v. 6, n. October, p. 1–11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00613>

LOPES, Rubens M. Marine zooplankton studies in Brazil - A brief evaluation and perspectives. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s. l.], v. 79, n. 3, p. 369–379, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0001-37652007000300002>

MACHADO; FREITAS. **Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul - Escala 1750.000** 2005.

MAKINGS, Uriah *et al.* Importance of budgets for estimating the input of groundwater-derived nutrients to an eutrophic tidal river and estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, New South Wales, Australia, v. 143, p. 65–76, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.02.003>

MCLACHLAN, Anton; BROWN, Alec. **The Ecology Of Sandy Shores**. Academic Ped. San Diego, California: [s. n.], 2006.

MÖLLER, Osmar O. *et al.* The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, [s. l.], v. 28, n. 13, p. 1607–1624, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.03.012>

MUXUGATA, E.; MONTÚ, M. A. **Os cladocera da Plataforma Continental Sudeste brasileira: distribuição, densidade e biomassa (Inverno de 1995)**. [S. l.: s. n.], 1999.

NEVES, Frederico M.; BEMVENUTI, Carlos E. Spatial distribution of macrobenthic fauna on three sandy beaches from northern Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, [s. l.], v. 54, n. 2–3, p. 135–145, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1679-87592006000200004>

NIENCHESKI, L. Felipe H. *et al.* Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. **Marine Chemistry**, [s. l.], v. 106, n. 3–4, p. 546–561, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2007.06.004>

ODEBRECHT, C.; ABREU, Paulo C. MICROORGANISMOS EM PRAIAS ARENOSAS EXPOSTAS: IMPORTÂNCIA, ASPECTOS METODOLÓGICOS E ESTADO DA ARTE PARA O SUL DO BRASIL. *In*: ABSALÃO, Ricardo S.; ESTEVES, André M. (org.). **Ecologia de Praias Arenosas do Litoral Brasileiro**. Volume IIIed. Rio de Janeiro: OEKOLOGIA BRASILIENSIS, 1997. p. 01–18.

PAIVA, Mariele L. **Sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani: relação com a oceanografia**. 77 f. 2014. - Universidade Federal do Rio Grande, [s. l.], 2014.

PAIVA, M L. Sistema aquífero Guarani: fonte de nutrientes e elementos traços para a zona costeira. [s. l.], p. 92, 2011.

PAIVA, Mariele; NIENCHESKI, Felipe H. Advances of submarine groundwater discharge studies in South America. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 916–924, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170220>

PEREIRA, Pedro S. Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos. **Dissertação de mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica**, [s. l.], p. 1–161, 2005.

REDFIELD, Alfred. On the proportions organic derivatives sea water relation composition plankton. **On the proportions of organic derivatives in sea water**, [s. l.], p. 176–192, 1933.

ROCHA, Cacinele. **Conexões e interações entre a água superficial e subterrânea na Costa Norte do RS (CNRS), Brasil**. 86 f. 2018. - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, 2018.

ROCHA, C M; ANDRADE, C F F; NIENCHESKI, L F H. Descarga de água subterrânea para as lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 76–84, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.14210/bjast.v19n2>.

RODRIGUES, Marcelo A. **VARIAÇÃO TEMPORAL DO ZOOPLÂNCTON NA ZONA DE ARREBENTAÇÃO NAS PROXIMIDADES DE UM COMPLEXO ESTUARINO- LAGUNAR**. 71 f. 2016. [s. l.], 2016.

SADAT-NOORI, Mahmood *et al.* Fresh meteoric versus recirculated saline groundwater nutrient inputs into a subtropical estuary. **Science of the Total Environment**, Australia, v. 566–567, p. 1440–1453, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.008>

SANT'ANNA, Eneida Eskinazi; BJÖRNBERG, Tagea Kristina Simon. Conhecimento atual sobre o comportamento alimentar de Copépodos Calanoida em ambientes marinhos. **Tropical Oceanography**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 11–20, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.5914/tropocean.v28i1.2708>

SANTOS, Isaac R. *et al.* **Submarine groundwater discharge impacts on**

coastal nutrient biogeochemistry. [S. l.]: Springer Nature, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00152-0>

SEELIGER, Ulrich; ODEBRECHT, Clarisse; CASTELO, Jorge P. **Subtropical Convergence Environments**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-60467-6>

STARKE, Claudia; EKAU, Werner; MOOSDORF, Nils. Enhanced Productivity and Fish Abundance at a Submarine Spring in a Coastal Lagoon on Tahiti, French Polynesia. **Frontiers in Marine Science**, [s. l.], v. 6, n. January, p. 1–12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00809>

SUGIMOTO, Ryo *et al.* Phytoplankton primary productivity around submarine groundwater discharge in nearshore coasts. **Marine Ecology Progress Series**, [s. l.], v. 563, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/meps11980>

SUTHERS, Iain M; RISSIK, David. **PLANKTON: A GUIDE TO THEIR ECOLOGY AND MONITORING FOR WATER QUALITY**. Australia: CSIRO PUBLISHING, 2009.

TEAM, R Core. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, [s. l.], 2020.

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. *In*: R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING. New York: Springer Verlag, 2016.

WINDOM, Herbert; MOORE, Willard; NIENCHESKI, Felipe. **Influence of groundwater discharge through a coastal sandy barrier in southern Brazil on seawater metal chemistry**. [S. l.: s. n.], 2007.

YONEDA, Nelson T. **Área Temática : Plâncton**. Curitiba: Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, 1999.

ZHANG, Yan *et al.* Estimation of submarine groundwater discharge and associated nutrient fluxes in eastern Laizhou Bay, China using ^{222}Rn . **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 533, p. 103–113, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.027>