

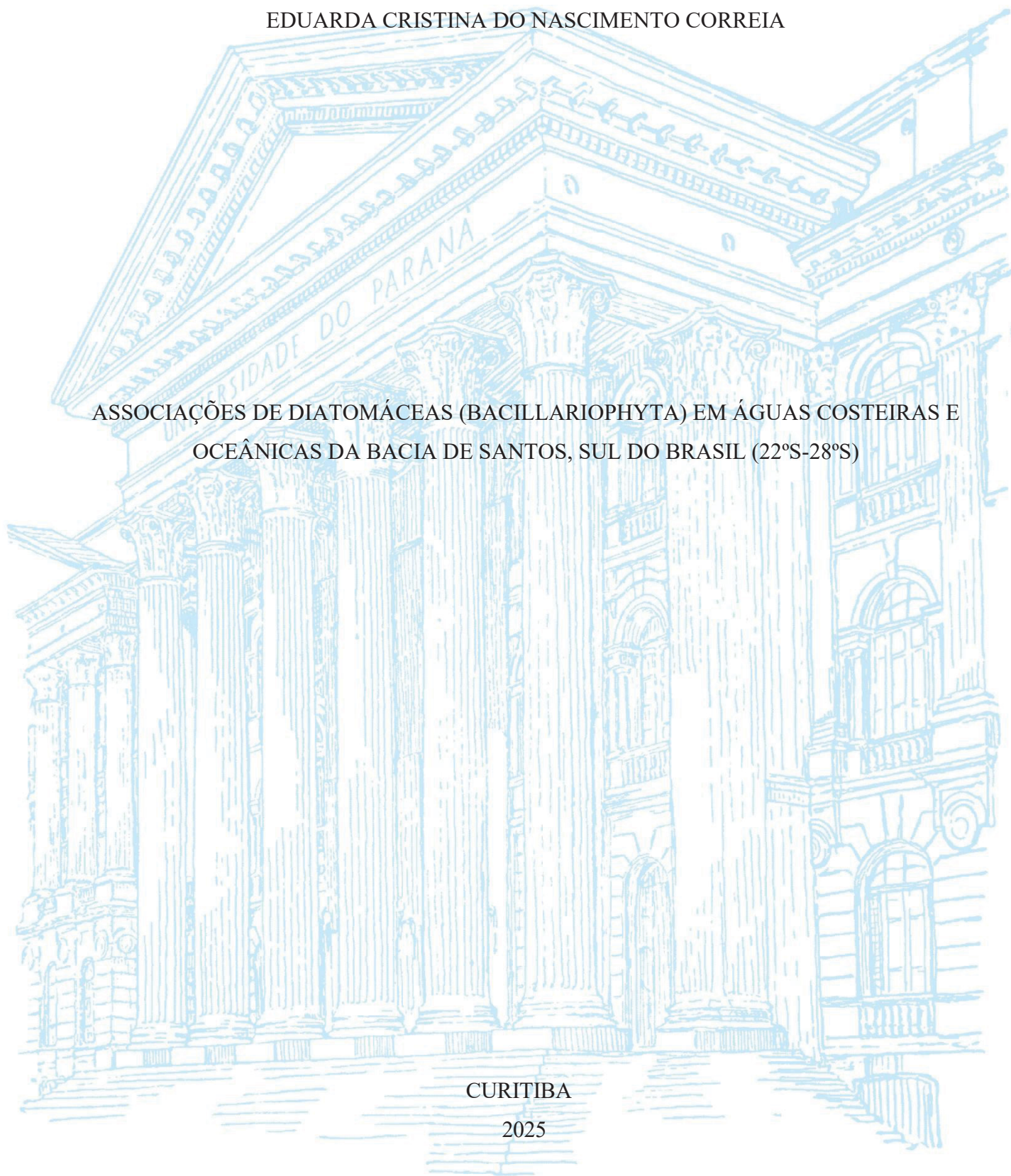
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDA CRISTINA DO NASCIMENTO CORREIA

ASSOCIAÇÕES DE DIATOMÁCEAS (BACILLARIOPHYTA) EM ÁGUAS COSTEIRAS E  
OCEÂNICAS DA BACIA DE SANTOS, SUL DO BRASIL (22°S-28°S)

CURITIBA

2025



EDUARDA CRISTINA DO NASCIMENTO CORREIA

ASSOCIAÇÕES DE DIATOMÁCEAS (BACILLARIOPHYTA) EM ÁGUAS COSTEIRAS E  
OCEÂNICAS DA BACIA DE SANTOS, SUL DO BRASIL (22°S-28°S)

Dissertação apresentada ao Curso de Pós- graduação em Botânica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Botânica.

**Orientador: Prof. Dr.:** Luciano Felício Fernandes  
**Coorientadora: Profa. Dra.** Denise Matias de Faria

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Correia, Eduarda Cristina do Nascimento.

Associações de diatomáceas (Bacillariophyta) em águas costeiras e oceânicas da Bacia de Santos, sul do Brasil (22°S-28°S). /Eduarda Cristina do Nascimento Correia. – Curitiba, 2025.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Botânica.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Felício Fernandes.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Denise Matias de Faria.

1. Diatomáceas. 2. Fitoplâncton. 3. Biogeografia. 4. Correntes marinhas. 5. Microalga. I. Fernandes, Luciano Felício, 1986-. II. Faria, Denise Matias de. III. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Botânica. IV. Título.

Bibliotecária: Rosilei Vilas Boas CRB-9/939



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA  
DE PÓS-GRADUAÇÃO BOTÂNICA - 40001016004P9

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação BOTÂNICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **EDUARDA CRISTINA DO NASCIMENTO CORREIA**, intitulada: **Associações de Diatomáceas (Bacillariophyta) em Águas Costeiras e Oceânicas da Bacia de Santos, Sul do Brasil (22oS-28oS)**, sob orientação do Prof. Dr. LUCIANO FELÍCIO FERNANDES, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 31 de Outubro de 2025.

Assinatura Eletrônica

07/11/2025 11:28:39.0

LUCIANO FELÍCIO FERNANDES

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

04/11/2025 11:08:15.0

CATHERINE GERIKAS RIBEIRO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - CEM)

Assinatura Eletrônica

04/11/2025 10:24:41.0

GISELE CAROLINA MARQUARDT

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que fizeram esse trabalho ser possível.

Ao Professor Luciano F. Fernandes, por ter aberto a porta do seu laboratório e me possibilitar entrar na pesquisa. Agradeço todo conhecimento compartilhado sobre diatomáceas e vida.

À Pós-Doc Priscila Tremarin, por ter me acompanhado inicialmente nessa jornada no laboratório de ficologia, me ensinado muito sobre as diatomáceas e aceitado participar como suplente da banca examinadora deste trabalho.

Às Professoras Gisele Carolina Marquardt e Catherine Ribeiro, por aceitarem participar como avaliadoras da banca avaliadora, contribuindo com sugestões e ajustes fomentados por longos caminhos de trabalho e estudo de ambas pesquisadoras.

Aos meus colegas de laboratório e de Pós-Graduação, que experienciaram comigo inesquecíveis períodos da vida acadêmica.

À Universidade Federal do Paraná por conceder uma estrutura de pesquisa que eu não tive acesso até entrar na Pós-Graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Botânica, que me enriqueceu intelectualmente e espiritualmente com tantas contribuições.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos durante o período desta pesquisa.

Aos meus pais Luciane e Everton, que me deram todo suporte emocional, carinho e força para continuar.

Meu irmão Marcelo e minha cunhada Fernanda, que me ajudaram em muitos momentos decisivos.

Ao meu parceiro Gustavo, por ter me acompanhado nessa reta final e me fazer companhia durante a construção da dissertação.

Aos meus amigos Thadeu, Melissa, Kimberly e Gaby, por deixarem meus dias mais leves, me ouvirem sempre quando os procurava e me apoiarem por tantos anos.

E a todos que de alguma forma contribuíram durante estes dois anos de trabalho.

## RESUMO

As diatomáceas (Bacillariophyta) são um grupo de microalgas muito diversificado e abundante em ecossistemas costeiros ricos em nutrientes, além de possuírem inúmeros papéis ecológicos. A partir dos estudos sobre diversidade e distribuição espacial das diatomáceas, é possível elucidar questões sobre sua especiação, papel no ciclo do carbono e sílica, como também sobre dinâmica das espécies nos ecossistemas marinhos em função das mudanças ambientais recentes. As associações de diatomáceas são afetadas pelas variações de temperatura, salinidade e quantidade de nutrientes disponíveis. Em busca de fornecer informações sobre estrutura e funcionamento do ecossistema marinho sul-brasileiro, o presente estudo identificou os padrões de distribuição horizontal das diatomáceas ao longo da Bacia de Santos e discriminou as associações e quais os parâmetros ambientais reguladores da distribuição espacial de espécies selecionadas na Bacia de Santos (22°1'S- 28°55'S), uma região com alto potencial exploratório e abrigo de elevada diversidade de vida marinha. Durante o Inverno/Primavera de 2019, foram realizadas coletas através de um cruzeiro oceanográfico abrangendo 60 estações oceanográficas divididas em 8 perfis verticais (de A à H). As amostras foram obtidas por arrastos verticais com rede de plâncton com malha de 20µm. Os trabalhos laboratoriais incluíram a lavagem do material, centrifugação, oxidação e preparação de lâminas para visualização do material em microscópio óptico. A partir da identificação e contagem das valvas de diatomáceas em lâminas permanentes, quatro associações de diatomáceas foram discriminadas por análise de Cluster. A Associação 1 de águas costeiras e plataforma média foram afetadas pela descarga de nutrientes através de rios e estuários e pela Frente Subtropical de Plataforma. *Actinocyclus octonarius*, *Chaetoceros didymus*, *Fragilariopsis doliolus* e *Pseudo-nitzschia pungens* foram as espécies com maior contribuição relativa de valvas. A associação 2 esteve relacionada à ambientes com diferentes interferências, como o fenômeno de ressurgência, o sistema de vórtices anti-ciclônicos e descargas de rios próximas às estações. Em consequência, as espécies foram pouco frequentes, mas em picos isolados de importância relativa como *Navicula pennata*, *Delphineis surirella*, *Pleurosigma diverse-striatum*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *P. calliantha* e *Skeletonema costatum*. Diatomáceas características da Água Tropical (oligotrófica, com temperatura média de 21°C e salinidade elevada em torno de 36 psu) como *Azpeitia* spp., *Asteromphalus* spp., *Roperia tessellata* entre outras situadas majoritariamente ao longo de todo o talude e região oceânica formaram uma terceira associação subtropical/tropical em águas de plataforma externa e oceano aberto. Finalmente, a quarta associação mostrou diatomáceas de ampla distribuição e contribuição relativa frequentemente maior do que as de outras, compreendendo a área da Plataforma interna, média, externa, Talude e Oceânica, apenas pouco representativas no sul da Bacia de Santos sob influência da Frente Subtropical. Nesta associação *Nitzschia bicapitata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros* spp. e *Bacteriastrum hyalinum* foram os componentes mais importantes. Em síntese, as associações de diatomáceas discriminadas na região da Bacia de Santos no Inverno foram influenciadas não apenas pelas massas de água predominantes no sul do Brasil, mas também por eventos mais localizados (upwelling, vórtices, sazonalidade na drenagem continental), mostrando a necessidade de análises mais regionais (em mesoescala) para melhor caracterizar a comunidade do fitoplâncton, e em particular, das diatomáceas.

Palavras-chave: Associações de diatomáceas; Fitoplâncton; Distribuição; Biogeografia; Correntes marinhas

## ABSTRACT

Diatoms (Bacillariophyta) are a group of microalgae very diverse and abundant in nutrient-rich coastal ecosystems, in addition to having numerous ecological roles. Based on studies on the diversity and spatial distribution of diatoms, it is possible to elucidate questions about their speciation, role in the carbon and silica cycle, as well as the dynamics of species in marine ecosystems due to recent environmental changes. Diatom associations are affected by variations in temperature, salinity and the amount of available nutrients. Seeking to provide information on the structure and functioning of the South Brazilian marine ecosystem, the present study performed multivariate analysis of net phytoplankton counts based on permanent slides in relation to the environmental parameters (temperature, salinity, nutrients, depth).on diatoms from the Santos Basin (23°S to 28°S), south Brazil, was carried out during autumn-winter 2019, based on 60 oceanographic stations divided into 8 vertical profiles (from A to H), stretching from coastal to open ocean waters. The samples were obtained by vertical trawling with a plankton net with a 20µm mesh. Laboratory work included washing the material, centrifugation, oxidation and preparation of slides for viewing the material under an optical microscope. Four diatom associations were discriminated by Cluster analyses, as well as the environmental vectors responsible for their geographical distribution, which were associated to the water masses features and mesoscale oceanographic activity operating in the Santos Basin. The inner- to mid-shelf association was affected by nutrient discharge from rivers and estuaries, and by the Subtropical Shelf Front; *Actinocyclus octonarius*, *Chaetoceros didymus*, *Fragilariopsis doliolus*, and *Pseudo-nitzschia pungens* showed the highest relative valve contribution. An association composed of uncommon species in isolated abundance peaks like *Navicula pennata*, *Delphineis surirella*, *Pleurosigma diverse-striatum*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *P. calliantha*, and *Skeletonema tropicum*, occurred along the continental slope and was affected by meandering and eddies of the Brazil Current, and in waters under influence of local coastal upwelling. Species from oligotrophic warm waters, such as *Azpeitia* spp., *Asteromphalus* spp., and *Roperia tessellata*, among others, formed a subtropical/tropical association in the outer-shelf and oceanic waters. Finally, the fourth association comprised widely distributed diatoms over the Santos Basin, and mixing with the Tropical association to a certain extent. In this association, *Nitzschia bicapitata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros* spp. and *Bacteriastrum hyalinum* were the most important components. The complex oceanographic dynamics of the Santos Basin indicate that every caution should be taken to interpret environmental drivers and to select diatom indicators, especially when aiming to select marine palaeoenvironmental proxies on a regional biogeographical scale.

Keywords: *Diatom associations, Phytoplankton, Distribution, Biogeography, Marine currents,*

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Localização, batimetria geral e limites geográficos da Baía de Santos com o grid de estações oceanográficas amostradas na campanha de inverno de 2019 ..... 16
- Figura 2: Algumas espécies cêntricas, em Microscopia Óptica (400x); 2A. *Chaetoceros didymus* (Cdi); 2B. *Coscinodiscus radiatus* (Cra); 2C. *Actinocyclus octonarius* (Aoc); 2D. *Skeletonema tropicum* (Ske); 2E. *Thalassiosira oestrupii* (Toe); 2F. *Azpeitia africana* (Azp)..... 24
- Figura 3: Algumas espécies naviculóides, em Microscopia Óptica (400x e 1000x especificamente para *Thalassiothrix frauenfeldii*); 3A. *Alveus marinus* (Ama); 3B. *Delphineis surirella* (Dsu); 3C. *Thalassiothrix frauenfeldii* (Tha); 3D. *Thalassionema nitzschioides* (Tni); 3E. *Nitzschia “bicapitata”* (Nbi); 3F. *Pseudo-nitzschia “pungens”* (Ppu). ..... 25
- Figura 4: Contribuição relativa (%) das diatomáceas (espécies ou gêneros) nas 60 estações distribuídas sobre 8 perfis perpendiculares (A à H) na Baía de Santos, Inverno/Primavera (2019)..... 27
- Figura 5: Dendrograma (Cluster Two-Way) representando as 4 associações de diatomáceas detectadas na Baía de Santos durante a inverno/primavera de 2019, pela análise de Cluster. Observe que a tendência geral da ordenação das estações oceanográficas é de ambientes mais rasos em direção ao oceano aberto. Desvios deste padrão geralmente representam eventos/características oceanográficas especiais como ressurgência, intrusões e ciclones nas massas de água (SSF, SACW) e drenagem das águas costeiras. A escala em cinza representa a contribuição relativa do total de valvas contadas por lâminas. Toe=*Thalassiosira oestrupii*; Cyc=*Cyclotella* spp.; Ase=*Actinoptychus senarius*; Cra=*Coscinodiscus radiatus*; Aoc=*Actinocyclus octonarius*; Cdi=*Chaetoceros didymus*; Fdo=*Fragilariopsis doliolus*; Ppu=*Pseudo-nitzschia pungens/multiseriis*; Th1= *Thalassiosira* sp. 1; Cjo=*Coscinodiscopsis jonesiana*; Npe=*Navicula pennata*; Cgr=*Coscinodiscus granii*; Cme=*Chaetoceros messanensis*; Dsu=*Delphineis surirella*; Ple=*Pleurosigma diverse-striatum*; Pde=*Pseudo-nitzschia “delicatissima”*; Ske= *Skeletonema tropicum*; Th2= *Thalassiosira* sp. 2; Rte=*Roperia tessellata*; Azp=*Azpeitia* spp.; Ast=*Asterolampra* spp.; Hin=*Hemiaulus indicus*; Aho= *Asteromphalus hookeri*; Hha= *Hemiaulus hauckii*; Clo=*Chaetoceros lorenzianus*; Cha=*Chaetoceros* spp.; Tni=*Thalassionema nitzschioides*; Nbi=*Nitzschia bicapitata/bifurcata*; Bac=*Bacteriastrium* spp.; Tha=*Thalassiothrix frauenfeldii*; Tli=*Thalassiosira lineata*. ..... 31
- Figura 6: Análise de Redundância (RDA) mostrando vetores ambientais que influenciam a distribuição espacial das diatomáceas coletadas pelos oito perfis oceanográficos (A à H) na Baía de Santos durante a inverno/primavera (2019). Os círculos preenchidos destacam as quatro associações de espécies para melhor visualização das correlações entre a distribuição das espécies e os fatores ambientais. Legenda: Clorofila em ug/L (Chl), densidade em kg/m<sup>3</sup> (Den), oxigênio dissolvido em mg/L (DO), nitrito em uM (NO<sub>2</sub>), nitrato em uM (NO<sub>3</sub>), fosfato em uM (PO<sub>4</sub>), salinidade em psu (Sal), silicato em uM (SiO<sub>4</sub>) e temperatura em C° (Temp). ..... 33
- Figura 7: Distribuição geográfica de temperatura em °C (a e b) e salinidade em psu (c e d), na superfície (a e c) e PMC (b e d) da Baía de Santos, entre agosto e outubro de 2019. Nos mapas de temperatura (a e b) os maiores valores estão em vermelho e os menores em azul. Para salinidade (c e d), o roxo escuro representa salinidades maiores e clareia em direção a valores menores. .... 34
- Figura 8: Distribuição geográfica de NO<sub>3</sub> (a e b), PO<sub>4</sub> (c e d) e SiO<sub>4</sub> (e e f), divididos em Superfície (a,c e e) e PMC (b,d e f) na Baía de Santos. Em NO<sub>3</sub> os maiores valores estão em verde mais escuro e segue clareando para valores menores. Em PO<sub>4</sub> acontece o mesmo, mas com o gradiente da cor azul para laranja. Todos os nutrientes em uM ..... 35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das Regiões (Plataforma interna, média, externa, talude e região aberta oceânica) referentes à profundidade do assoalho marinho e as respectivas estações amostradas. ....	16
Tabela 2: Lista de táxons encontrados na Bacia de Santos (Inverno 2019). P=Plâncton e B=Bentos; P/B: espécies com afinidade por ambos os habitats .....	23
Tabela 3: Porcentagem da variância e a correlação de Pearson entre espécies – ambiente para os dois primeiros eixos da Análise de Redundância .....	33

## SIGLAS E ABREVIACOES

AC	gua Costeira
ACAS	gua Central do Atlântico Sul
AT	gua Tropical
BS	Bacia de Santos
CB	Corrente do Brasil
CENPES	Centro de Pesquisas, Desenvolvimento e Inovao Leopoldo Américo Miguez de Mello
CTD	Condutividade, Temperatura e Densidade
FST	Frente Subtropical de Plataforma
OD	Oxignio Dissolvido
PMC	Profundidade Máxima de Clorofila
RDA	Análise de redundância
NO <sub>2</sub>	Nitrito
NO <sub>3</sub>	Nitrato
PO <sub>4</sub>	Fosfato
SiO <sub>4</sub>	Silicato
Cls	Células
Chl	Clorofila
Den	Densidade
Prof	Profundidade
Sal	Salinidade
Temp	Temperatura
Kg	Quilogramas
g	Gramas
µg	Microgramas
L	Litros
mL	Mililitros
µL	Microlitros
Km	Quilmetros
m	Metros
µm	Micrmetros
C	Graus Celsius

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVO GERAL .....	14
2.1 Objetivos Específicos .....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	15
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	15
3.2 Plano amostral.....	16
3.3 AMOSTRAGEM E ANÁLISES LABORATORIAIS .....	17
3.3.1 Amostragem.....	17
3.3.2 Preparação das lâminas .....	17
3.3.3 Identificação das espécies .....	19
3.3.4 Análise Quantitativa das Diatomáceas.....	19
3.3.5 Tratamento estatístico para discriminação de assembleias e fatores reguladores de distribuição espacial das diatomáceas .....	20
4. RESULTADOS .....	21
4.1 Composição específica de diatomáceas .....	21
4.2 Discriminação de Associações com base nas Análises de Cluster .....	28
4.3 Determinação de Forçantes Ambientais da Distribuição das Diatomáceas por RDA .....	32
4.4 Distribuição de Parâmetros Físico-Químicos .....	33
5. DISCUSSÃO.....	35
6. CONCLUSÕES .....	40
REFERÊNCIAS.....	43

## 1. INTRODUÇÃO

As diatomáceas são algas microscópicas que vivem na maioria dos ambientes aquáticos e formam um importante grupo do fitoplâncton marinho, responsáveis por aproximadamente 40% da produção primária nos oceanos e contribuem com cerca de 50% na ciclagem do carbono (FALKOWSKI et al., 2004). Distribuídas amplamente por todo habitat aquático, incluído aqueles com temperaturas e salinidade elevadas, as diatomáceas também podem ser encontradas em endossimbiose com dinoflagelados e foraminíferos (ROUND, et al., 1990). Estas algas são importantes em áreas costeiras e elevadas latitudes pela grande disponibilidade de nutrientes, enquanto em oceano aberto oligotrófico são menos encontradas (MALVIYA et al., 2016).

A estimativa da origem das diatomáceas data entre o limite do Permiano e Triássico (cerca de 250 milhões de anos atrás) (KOOISTRA e MEDLIN, 1996). Assim como outros grupos do fitoplâncton eucariótico e plantas terrestres, seu surgimento aconteceu através da simbiose entre uma cianobactéria ancestral e um eucarioto, derivando 3 clados. As diatomáceas pertencem à simbiose secundária do plastídio, no clado de “algas vermelhas” (FALKOWSKI et al. 2004).

Em relação à reprodução dessas algas, as frústulas sofrem divisões celulares que, embora mantenham as estruturas da parede celular silicosa, inevitavelmente são suscetíveis à alterações morfológicas ao diminuir o tamanho celular após inúmeras divisões (COX, 2014). A respeito da reprodução sexual nas diatomáceas, essa é estimulada por mudanças na temperatura, duração dos dias, disponibilidade de nutrientes e a presença de um gameta para a fecundação (GRAHAM, et al., 2009).

Sua parede celular é constituída por sílica e dividida em duas partes; uma chamada de epiteca (maior) e a outra hipoteca (menor). A frústula possui ornamentações, aberturas e perfurações cujas posições e números são importantes para a taxonomia baseada na diferenciação morfológica (ROUND et al., 1990). Os componentes da valva (rimopórtula, fultupórtula, espinhos, bandas do cingulo, estrias e rafe), mantêm sua formação e são consistentes ao longo do tempo, diferentemente do tamanho e formato das células que variam durante o ciclo vital. (COX, 2014). Devido à grande confiança estabelecida na taxonomia baseada nas diferenciações morfológicas, a observação de estruturas da frústula permite a geração de resultados rapidamente, facilitando pesquisas de monitoramento ou que envolvem grande quantidade de amostras, em trabalhos de rotina visando identificações e contagens de

células em microscopia ótica

Para apoiar as investigações sobre essas microalgas, técnicas utilizando a biologia molecular estão sendo amplamente utilizadas. Através do sequenciamento de diferentes genes, utilizando métodos como DNA barcoding e metabarcoding, é possível encontrar diversidade genética em táxons com características morfológicas bem elucidadas, como resolver inconsistências em estudos taxonômicos (COX, 2014). Contudo, Jeong & Lee (2024) mostram que, apesar dos avanços com genomas de organelas e transcriptomas, o número de táxons amostrados e sequenciados ainda é pequeno frente à estimativa de espécies de diatomáceas.

Em decorrência de sua sensibilidade em relação às características químicas alterações da água, as diatomáceas são amplamente utilizadas em estudos de monitoramento ambiental aquático (SILVA et al., 2011). Com relação ao ambiente marinho, algumas mudanças nas associações de diatomáceas são estimuladas pela alteração nas correntes oceânicas, aumento ou declínio de nutrientes em locais de ressurgência, estímulo ao processo de fotossíntese pelo excesso de CO<sub>2</sub>, acidificação dos oceanos e fenômenos climáticos que alterem e a disponibilidade de micronutrientes (HALLEGRAEFF, 2010).

Há uma necessidade de ampliar cada vez mais as investigações em áreas não tão conhecidas e correlacionar com dados apresentados em regiões já exploradas, impulsionando o banco de dados genéticos mundiais sobre os ecossistemas marinhos em frente as mudanças ambientais.

A dinâmica das associações de diatomáceas na Plataforma Continental, região do Talude e Oceânica é afetada pelas variações de temperatura, salinidade e quantidade de nutrientes disponíveis. Sendo assim, descrições biogeográficas e ecológicas nos trabalhos de monitoramento são pertinentes, como também descrições de espécies ao longo da margem continental brasileira, incluindo a região da Bacia de Santos (BS) no Brasil, foco desse trabalho. A Bacia de Santos tem fornecido petróleo explorado em águas profundas da plataforma continental e regiões oceânicas. A BS também é a região de maior produtividade pesqueira demersal do Brasil, e onde numerosas fazendas de cultivos de moluscos e crustáceos têm sido implementadas por comunidades de pescadores artesanais e empresas privadas nos últimos 30 anos, incentivando o turismo ao longo das populações litorâneas.

Baseado em Castro et al. (2006), há 3 características oceanográficas que dominam a BS: primeiramente, a presença permanente de Água Tropical (AT) nos primeiros 250-300m de profundidade na borda da plataforma e oceano, e de uma termoclina constante ao longo de todo

o ano, situada entre 150 e 300m, dependendo da profundidade da plataforma continental. Em seguida, abaixo da Água Tropical encontra-se a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), mais fria (13°C), salinidades de 35,5 e baixas concentrações de nutrientes (ou seja, oligotróficas). A terceira característica oceanográfica importante na Bacia de Santos é a presença da Água Costeira (AC), margeando toda a costa até uma profundidade aproximada de 50 metros, ou seja, na plataforma rasa. Esta Massa de Água é fortemente afetada por condições hidrográficas e meteorológicas localizadas, como o volume de rios desaguando em estuários, regime pluviométrico afetando a drenagem continental, atividades antrópicas promovendo eutrofização artificial e climatologia regional (SILVEIRA et al., 2023).

Em algumas áreas costeiras da Bacia de Santos, a presença de feições oceanográficas especiais, como ressurgências e intrusão de águas ricas em nutrientes, aceleram o crescimento do fitoplâncton, além de fornecer condições adequadas para os cultivos de moluscos marinhos, atividade importantíssima em Santa Catarina, constituindo a renda de mais de 1.200 famílias de pescadores, além de estimular turismo sazonal. Em consequência, características físicas como temperatura, salinidade e turbulência tornam-se bastante variáveis, bem como as concentrações de nutrientes.

Apesar da importância do fitoplâncton no ecossistema pelágico marinho na Bacia de Santos, e das características oceanográficas regionais complexas que afetam a dinâmica das comunidades planctônicas na região, há poucos estudos que integram dados biológicos (especialmente de diatomáceas) com gradientes físicos e químicos e a maioria contempla apenas águas mais rasas costeiras. Portanto, o presente trabalho contribuirá na investigação das associações de diatomáceas e sua distribuição espacial, correlacionando com os parâmetros ambientais determinados por massas de água distintas da Bacia de Santos.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar os padrões de distribuição espacial de diatomáceas e sua relação com os parâmetros ambientais da Bacia de Santos, entre o inverno a primavera de 2019.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Caracterizar a composição e abundância das diatomáceas na Bacia de Santos
- Correlacionar a distribuição das diatomáceas às variáveis físico-químicas da água da BS e as massas de água determinantes.

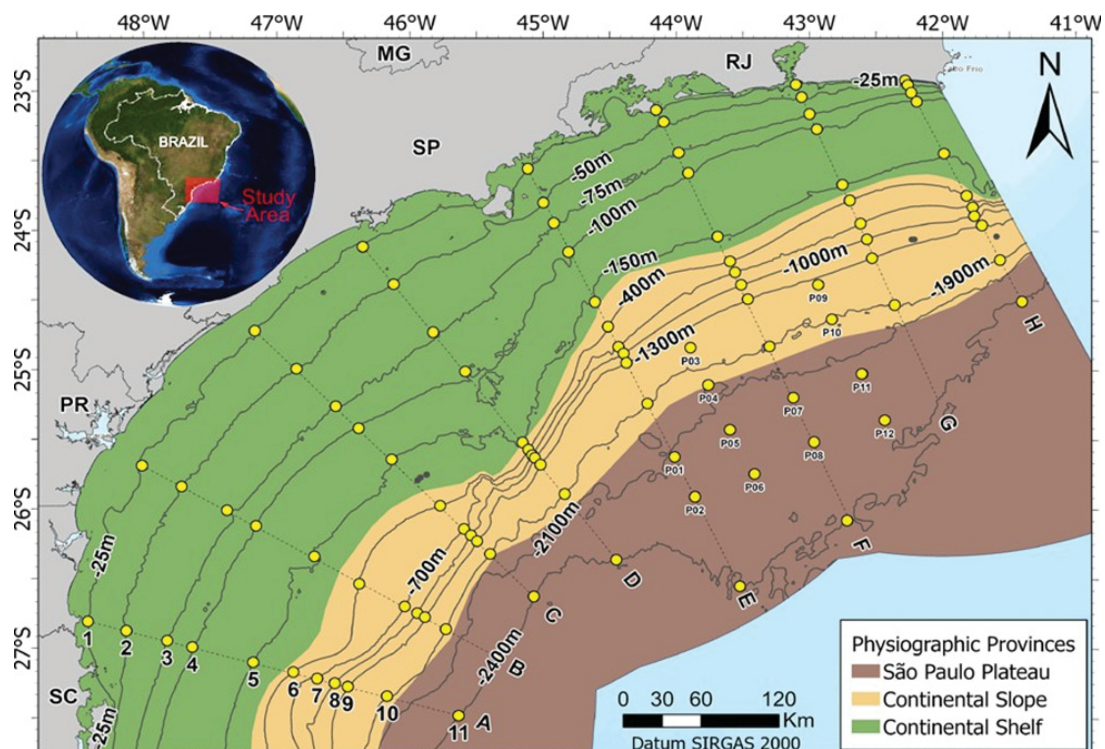
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

Com alto potencial exploratório, a Bacia de Santos (Figura 1) é frequentemente um local de novas descobertas de reservatórios de petróleo e gás. Está localizada na margem sudeste do Brasil, entre os Altos de Cabo Frio, RJ (paralelo 22°1'S) e estendendo-se até Florianópolis, SC (paralelo 28°55'S), limitando-se ao norte pela Bacia de Campos e ao Sul pela Bacia de Pelotas (CALDAS, 2007). A área é de 352.260 km<sup>2</sup> até a lâmina d'água de 3.000 m de profundidade (ANP, 2003). Sua Plataforma Continental ocorre entre 50 e 180m de profundidade, sendo mais frequente entre 140 e 160m. O Talude Continental abrange até 1400m e é sucedido pelo Sopé Continental a partir do Sopé de São Paulo, que cobre toda porção profunda na Bacia.

Para a caracterização das massas de água foi utilizada a classificação de Dottori et al. (2023), um trabalho também realizado a partir da campanha SANAGU em 2019, pela Petrobrás. A BS recebe descarga de muitos rios, principalmente os afluentes estuarinos localizado no sistema Cananéia-Iguape. A mistura das águas doces provenientes de drenagem continental com duas massas de água, a Água Tropical e a Água Central do Atlântico Sul, é responsável pela formação da Água Costeira, caracterizada por ter baixa salinidade e altas temperaturas. Os limites geográficos da Plataforma Continental foram classificados baseando-se na transição dessas massas de água. As condições hidrográficas na parte sul da BS (Estações A à D) foram dominadas pela AC e AT, com mais de 50% da AC em todas as estações. Em direção ao norte (Estações de E à H), a ACAS foi mais representativa, com mínimo de 35% em todas as estações. A Frente Subtropical da Plataforma (FSP), é uma massa d'água que penetra na BS vinda do Sul, trazendo águas mais frias e com maior concentração de nutrientes. Sua entrada baixou a temperatura e salinidade das regiões costeiras do Paraná estendendo-se até São Paulo, onde as águas apresentaram valores de temperatura e salinidade características das regiões internas e médias da Plataforma, causada por essas elevações na superfície oceânica. Sua entrada na BS foi registrada a partir de 12 de agosto e sua atuação na área diminuiu a partir de 25 de agosto, devido à processos de interação entre ar e mar.

Figura 1: Localização, batimetria geral e limites geográficos da Bacia de Santos com o grid de estações oceanográficas amostradas na campanha de inverno de 2019



fonte: Moreira et al., 2023

### 3.2 Plano amostral

As coletas foram realizadas a partir de um cruzeiro oceanográfico durante o inverno e primavera de 2019 (3 de agosto a 28 de outubro), promovido pelo Projeto Santos - Caracterização Ambiental da Bacia de Santos, coordenado pela PETROBRAS/CENPES em parceria com a Universidade de São Paulo. O cruzeiro percorreu 60 estações e 8 perfis oceanográficos (Figura 1), passando por localizações que abrangem desde o litoral norte do Rio de Janeiro até o Sul da ilha de Santa Catarina, cobrindo áreas de plataforma interna (<50 m), média (50-100 m), externa (100-200 m), zona do talude (200-1000m) e área oceânica contígua (1000-2400 m). As 60 estações oceanográficas foram classificadas de acordo com a profundidade do assoalho oceânico (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação das Regiões (Plataforma interna, média, externa, talude e região aberta oceânica) referentes à profundidade do assoalho marinho e as respectivas estações amostradas.

Região	Profundidade	Estações
Interna	Até 50m	A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2, E1, F1, G1, H1
Média	50 – 100m	A3, B3, C3, D3, D4, E2, F2, G2, H2
Externa	100 – 200m	A4, B4, B5, C4, C5, D5, E3, F3, G3, H3

Talude	200 – 1000m	A5, B6, C6, D6, E4, F4, G4, H4
Oceânica	1000 – 2400m	A6, A7, B7, B8, C7, C8, D7, D8, E5, E6, E7, E8, F5, F6, F7, F8, G5, G6, G7, H5, H6

---

### 3.3 AMOSTRAGEM E ANÁLISES LABORATORIAIS

#### 3.3.1 Amostragem

O material foi coletado durante a campanha SANAGU em 2019, e a técnica empregada nas 60 estações foi a de arrasto vertical, usando rede de 20 µm de abertura de malha. Os arrastos verticais variaram entre 25 metros (estações rasas) e 200 metros até a superfície em estações da plataforma externa e oceânicas, dependendo da profundidade local da estação oceanográfica. As amostras foram coletadas em 4 profundidades definidas *in situ* pelo perfil de fluorescência de clorofila-a, sendo elas: porção superficial da camada de mistura (3 a 5 m); início do pico máximo de clorofila (PMC); no PMC, e na camada de fundo ou no fim do PMC em estações com profundidade maior do que 200m). As informações sobre o nível de concentração de clorofila foram obtidos durante a descida do sistema Roseta-CTD. As amostras foram separadas em 2 alíquotas em garrafas âmbar de 2 L, reservadas em locais sem incidência direta de luz solar, uma preservada em formaldeído (concentração final de 2%) e outra preservada com 5 mL de Lugol não acético, portanto, diminuindo a destruição seletiva de células causada pelos fixadores. Os parâmetros ambientais monitorados (Temperatura, Salinidade, Nutrientes, Oxigênio, entre outros) foram detectados após o processamento das amostras de água coletadas com o sistema Roseta/CTD com Garrafas de Niskin de 5 L cedidas pelo coordenador do Projeto, financiado pela PETROBRAS e IO-USP, acopladas com sensores de temperatura e Condutividade. As amostras de água foram armazenadas em galões térmicos de 5 litros, e filtradas no laboratório da embarcação, com equipamentos específicos. Filtros foram armazenados em nitrogênio líquido a -80°C para análises de clorofila-a no laboratório do Instituto Oceanográfico-USP em São Paulo.

#### 3.3.2 Preparação das lâminas

Para a preparação das lâminas, primeiramente foi necessário homogeneizar as amostras. Depois, com o auxílio de uma pipeta, retirou-se entre a superfície e a parte mediana do frasco cerca de 5 ml de amostra e as reservou em tubos de centrífuga de 15 mL. Caso não houvesse muitas células no frasco, a homogeneizava novamente e após 24h repetia o processo, mas retirando amostra do fundo do frasco.

Delicadamente, os tubos de 15 mL foram preenchidos com 10mL de água destilada e

submetidos a centrifugação de 1.500 rpm, por 10 minutos. No total foram feitas 6 centrifugações, e em cada uma o material sobrenadante (impurezas e sal) foi retirado e preenchido novamente com água destilada até 10 mL. É importante ressaltar que antes de cada centrifugação os tubos eram pesados em uma balança manual, para que não houvesse problemas no equilíbrio da centrífuga entre tubos posicionados arbitrariamente. Embora as contagens sejam realizadas sob análise de lâminas com material oxidado, cada lâmina continha uma lamínula com material oxidado e outra ao lado com material apenas centrifugado (processo de lavagem, detalhado acima). Assim, se houvessem valvas obstruídas ou perda total de alguma valva por causa do ataque ácido, ainda assim seria possível visualizá-las na lamínula não oxidada.

Para retirar o material orgânico das amostras, utilizou-se ácido sulfúrico, permanganato de potássio e ácido oxálico (viragem para cor transparente), sempre preparando reagentes e soluções frescos. Esse processo é baseado na técnica de Hasle e Fryxell (1970). Após o ataque ácido, as amostras foram centrifugadas entre 6-7 vezes, seguindo o procedimento anterior a lavagem. Após cada centrifugação, as amostras foram violentamente sacudidas para garantir que os reagentes não se acumulassem nas valvas e para que elas se mantessem separadas. Para se certificar que o ácido foi removido, o pH deve estar próximo a 7. Essa etapa exige mais atenção ao retirar o sobrenadante, pois o material está completamente transparente, logo existe maior risco de pipetar valvas de diatomáceas junto ao resto.

Para montagem das lâminas, as lâminas e lâminas foram devidamente limpas com álcool. Gotas das amostras foram colocadas sobre a lamínula, espalhando de modo homogêneo pela área de lamínula, e secaram sob temperatura de 50-60 °C em chapa aquecedora, cobertas parcialmente por uma placa de Petri. Foram feitas duplicadas de todas as lâminas. Caso formasse bolhas de ar ou as valvas se aglomerassem pela lamínula, era adicionado um pouco mais de amostra ou água destilada tentando posicionar a amostra da melhor forma para visualizar no microscópio ótico (M.O). Em alguns casos a amostra vazava pelas bordas da lamínula, sendo necessário repetir todo processo de pipetagem do material e aquecimento na chapa.

Antes da fixação por resina, as lâminulas foram visualizadas em 200-400x no M.O., para certificar que as valvas/diatomáceas estavam corretamente espalhadas e sem excessos. Uma gota de resina Naphrax (IR=1,73 quando submetida a temperatura alta) foi adicionada sobre lâminas posicionadas sobre a bancada. As lamínulas com o material já seco (oxidado e não-oxidado) foram colocadas delicadamente em cima da resina e aquecidas próximas a uma lamparina, pressionando-as para retirar o ar do interior das valvas. Para o manuseio das lâminas

foram utilizadas pinças, mantendo as lâminas sempre a certa distância do fogo.

Com o material pronto, foram fixadas etiquetas nas lâminas, com informações sobre o local, data, coletor e profundidade de arrasto, bem como o número de tombo do Herbário da Universidade Federal do Paraná. Pequenos pesos de chumbo foram colocados sobre a lâmina, para espalhar e diminuir a altura do meio de inclusão (resina). Após terminar toda a bateria de lâminas, foi acrescentado álcool às amostras oxidadas e guardadas no refrigerador.

### 3.3.3 Identificação das espécies

As espécies encontradas nas lâminas de contagem foram identificadas com microscópio ótico Olympus IX-70 provido de objetivas de Fluorita com contraste-de-fase, e utilizando aumentos de 40x 100x para observar o material. As principais referências utilizadas para as identificações foram CUPP (1943); TOMAS et al. (1997); ROUND et al. (1990); RICARD (1987), além de publicações em periódicos contendo a taxonomia de espécies de difícil determinação.

Algumas estruturas de valor taxonômico não são observáveis em microscopia óptica, como por exemplo a diferenciação da superfície valvar e manto entre as espécies *Thalassiosira simonseni* Hasle e G.Fryxell, 1977 e *T. normanhendeyi* D.M.Williams, 2024

. Portanto, essas espécies foram investigadas em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), em sessões realizadas no Centro de Microscopia Eletrônica (CME) da Universidade Federal do Paraná, com microscópio Jeol mod. JSM.

### 3.3.4 Análise Quantitativa das Diatomáceas

As lâminas permanentes foram utilizadas para as contagens, enumerando-se 400-600 valvas por lâmina e mantendo-se assim margem de erro de 15-10% (SCHOEMAN, 1973). A partir de exames prévios das lâminas, uma listagem inicial de espécies foi elaborada para as contagens de valvas e, posteriormente, foram incluídas mais espécies/gêneros. Todas as contagens foram registradas em um caderno e depois registradas em uma planilha de Excel.

As espécies e gêneros não identificados foram categorizados em C.N.I. (Cêntricas Não Identificadas) ou N.N.I. (Naviculóides Não Identificadas), de modo a permitir cálculos de contribuição relativa entre as espécies em cada lâmina. No caderno de anotação também foram lançadas as medidas, esboços das espécies com esquemas das características diagnósticas (disposição de fultopórtulas e rimopórtulas, padrão de estrias, tamanho proporcional de aréolas, rafe, pseudonódulo, ocelos etc.), com escala aproximada.

Todos os resultados diretos da contagem foram convertidos em contribuição relativa

das espécies, por amostra; ou seja, a abundância das valvas em relação ao total de valvas em uma lâmina expressa em porcentagem.

Também foram anotadas qualidade da preparação, excesso ou escassez de material, presença de sedimentos ou qualquer imperfeição na preparação, distribuição das valvas na lâmina (com impressões sobre se facilitou ou dificultou a contagem), presença de valvas quebradas e espécies que se apresentaram danificadas.

### **3.3.5 Tratamento estatístico para discriminação de assembleias e fatores reguladores de distribuição espacial das diatomáceas**

Uma análise Análise de Dissimilaridade (Cluster Two-Way) foi empregada para discriminar possíveis grupos (espécies e gêneros), aplicando a métrica Euclidiana de dissimilaridade e o método Ward.D2 para gerar o dendograma. Um corte de 5% foi estabelecido para excluir as espécies mais “raras”, selecionando 31 espécies pelo IndVal. A Análise de Redundância (RDA) foi utilizada para modelar o conjunto de dados das variáveis resposta (31 espécies) em função das variáveis preditoras (parâmetros físicos e químicos coletados na superfície, com base em modelo linear utilizando o corte de  $r^2 = 0,02$ ). Para a construção da interpretação das ordenações, foi utilizado o coeficiente (r) de correlação de Pearson and Kendall, considerando  $r > 0.5$ . As análises foram realizadas no software PC-Ord v6.0 (MCCUNE e MEFFORD, 2011) e randomizadas no teste de Monte-Carlo (999 runs). Os dados foram normalizados através da transformação de  $\log(x + 1)$ . Os dados físicos e químicos usados nas análises, como Profundidade, massa de água, temperatura, salinidade, densidade, oxigênio dissolvido, clorofila, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, foram coletados simultaneamente nas amostras de rede de plâncton e estão descritos em outros projetos (veja MOREIRA et al. 2023 para detalhes das coletas e técnicas de análises químicas). As características das Massas de Água e outros fatores hidrográficos registradas durante o período de coletas de investigação deste trabalho foram previamente delimitadas para todas as estações oceanográficas por Dottori et al. (2023) e Silveira et al. (2023), consulte também outras as referências utilizadas para nossos resultados e discussão. Foi apresentada uma breve caracterização das massas de água extraída do artigo de Dottori et al. (2023), na seção 3.3.6.

### **3.3.6 Caracterização das massas de água na BS por Dottori et al. (2023) e fundamentada por outros autores citados no mesmo artigo**

A BS é ocupada por três principais massas de água, são elas: Água Costeira, a Água Tropical e a Água Central do Atlântico Sul. A AC é formada na própria plataforma continental

como resultado da mistura da água doce proveniente do continente e de águas de origem oceânica. A AC ocupa a camada superficial da porção interna da plataforma continental. A AT apresenta temperaturas maiores do que 20 °C e as salinidades ultrapassam 37 g kg<sup>-1</sup>, permanecendo na camada superficial do oceano e ocupando as porções média e externa da plataforma continental e, eventualmente, também a camada superficial da porção interna. A ACAS é a massa d'água mais densa da BS, com valores variando entre 26,35 e 27,10 kg m<sup>-3</sup>, principalmente devido aos seus baixos valores de temperatura, tipicamente menores que 18 °C e com salinidade de 36,4 g kg<sup>-1</sup>. Assim, a ACAS ocupa uma boa porção do fundo da PCBS, principalmente as porções média e externa, e, em situações de ressurgência, a porção interna. As águas da BS apresentaram condições de inverno, por não ter ocorrido mistura da AC e ACAS (devido a separação pela AT entre as duas massas).

A Frente Subtropical da Plataforma (FSP) é uma massa de água que não pertence à BS, mas que é carregada por uma elevação da superfície do mar em agosto. O pulso inicia em 28.5°S e avança em direção ao norte. Sua entrada aumentou a temperatura e abaixou a salinidade da costa do Paraná a São Paulo. Começou em 12 de agosto e terminou pelo dia 25 de agosto, devido a processos de interação entre o ar e o mar. Na região costeira de São Paulo, as águas apresentam valores de temperatura e salinidade características das regiões internas e médias da plataforma, causada por este pulso. O Rio da Prata é carregado pela FSP e atingiu até Ilha de São Sebastião (próximo a estação E1).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Composição específica de diatomáceas

Um total de 84 espécies foi registrado nas 60 lâminas de contagem, a grande maioria cêntricas planctônicas excluindo-se algumas que não foram identificadas em nível específico (Tabela 2; e algumas ilustrações na Figura 2 e Figura 3). Em relação às cêntricas, predominaram espécies de *Thalassiosira* Cleve, 1873, *Coscinodiscus* Ehrenberg, 1839, *Rhizosolenia* Brightwell, 1858 e *Chaetoceros* Ehrenberg, 1844, em geral amplamente distribuídas na Bacia de Santos. Entre as naviculóides rafídeas, as espécies nanoplanctônicas *Nitzschia bicapitata* Cleve, 1901 (Figura 3E) e *N. bifurcata* Kaczmarek & Licea, 1986, e as birafídeas *Alveus marinus* (Grunow) Kaczmarek & Fryxell, 1996 (Figura 3A) e *Fragilariopsis doliolus* Medlin & P.A.Sims, 1993 de grandes dimensões ocorreram em várias estações da plataforma média e externa (profundidades >50m – 200m). Ressalta-se a presença de 10 espécies de *Pseudo-nitzschia* spp. em várias estações costeiras, especialmente ao Sul da Bacia de Santos (Estações

A, B e C), contendo espécies toxigênicas como *Pseudo-nitzschia multiseries* Hasle, 1995, *P. caliantha* Lundholm, Moestrup & Hasle, 2003 e *P. australis* Frenguelli, 1939.

Algumas espécies bentônicas também ocorreram, embora restritas às estações costeiras (<50m), como *Tryblionella* W.Smith, 1853, *Delphineis surirella* (Ehrenberg) G.W.Andrews (Figura 3B), 1981, *Surirella* Turpin, 1827 e *Navicula* spp., bem como representantes com afinidade pelos 2 ambientes como *Alveus marinus*, *Cyclotella striata* (Kützing) Grunow, 1880 e *C. stylorum* Brightwell, 1860, *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, 1873, *Pleurosigma diverse-striatum* F.Meister, 1934 e *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky, 1902 (Figura 3D).

As espécies *Chaetoceros lorenzianus* Grunow, 1863, *C. affinis* Lauder, 1864, *C. diversus* Cleve, 1873, *Nitzschia bicapitata/bifurcata*, *Asteromphalus hookeri* Ehrenberg, 1844, *Actinocyclus octonarius* Ehrenberg, 1837 (Figura 2C), *Thalassionema nitzschioides* e *Bacteriastrum* spp. foram amplamente distribuídas na BS, encontradas em 60% de todas as estações de amostragem.

Em contrapartida, as espécies *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve, 1904, *T. Punctigera* (Castracane) Hasle, 1983, *T. diporocyclus* Hasle, 1972, *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg, 1844, *C. wailesii* Gran & Angst, 1931, *Alveus marinus*, *Surirella febigeri* F.W.Lewis, 1861, *Mastogloia rostrata* (Wallich) Hustedt, 1933, *Coscinodiscus reniformis* Castracane, 1886, *Cymatodiscus planetophorus* (Meister) Hendey, 1958, *Porosira* spp., *Corethron criophilum* Castracane, 1886 e *Pleurosira* spp. apareceram raramente. Algumas espécies não foram incluídas na contagem por conta da inconsistência nas amostras (raros registros), mas foram registradas e identificadas. São elas: *Bacillaria paradoxa* J.F.Gmelin, nom. illeg., 1791, *Pseudohimantidium pacificum* Hustedt & Krasske, 1941, *Psammodyction panduriforme* (W.Gregory) D.G.Mann, 1990, *Haslea wawikrae* (Hustedt) Simonsen, 1974, *Nanoneis hasleae* R.E.Norris, 1973, *Biddulphia* sp. S.F.Gray, 1821, *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström, 1986, *Neodelphineis pelagica* Takano, 1982, *Delphineis margaritalimbata* (Mertz) Koizumi, 1992, *Ditylum brightwellii* (T.West) Grunow, 1885, *Eucampia cornuta* (Cleve) Grunow, 1883, *Lioloma* sp. (Cupp) Hasle, 1996, *Triceratium fавus* Ehrenberg, 1839, *Rizosolenia* sp., *Asterionellopsis glacialis* (Castracane) Round, 1990, *Tabularia* sp. (C.Agardh) Snoeijs, 1992, *Cocconeis* sp. Ehrenberg, 1837 e *Licmophora* sp. C.A. Agardh, 1827.

*Amphora* sp. Ehrenberg ex Kützing, 1844 e *Navicula pennata* A.W.F.Schmidt, 1876 são raras em >80% das estações, mas foram principais contribuintes na Estação B1 (Plataforma Interna, influenciada pela Água Costeira). A espécie *Amphora* sp. contribuiu relativamente com

>30% das valvas e *Navicula pennata* >45%, entre as 19 espécies identificadas.

O gênero *Pseudo-nitzschia* ocorreu em mais de 40 estações, com contribuição relativa elevada principalmente naquelas localizadas na Plataforma Interna, Média e Externa, como D1, D3, E1, F2 e F3. Com exceção do Perfil D, essas estações estão na região norte da BS, com influência da Água Tropical e Água Central do Atlântico Sul.

Táxon	Sigla	Habitat	Táxon	Sigla	Habitat	Táxon	Sigla	Habitat
<b>Classe Coscinodiscophyceae</b>			<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	Clo	P	<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>	Pmt	P
<b>Ordem Coscinodiscales</b>			<i>Chaetoceros messanensis</i>	Cme	P	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	Ppu	P
<b>Família Coscinodiscaceae</b>			<i>Chaetoceros</i> spp.	Cha	P	<i>Pseudo-nitzschia subpacificata</i>	Psp	P
<i>Coscinodiscopsis jonesiana</i>	Cjo	P	<b>Ordem Triceratiales</b>			<b>Ordem Mastogloiales</b>		
<i>Coscinodiscus granii</i>	Cgr	P	<b>Família Triceatiaceae</b>			<b>Família Mastogloiaceae</b>		
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	Coi	P	<i>Triceratium fавus</i>	Tfa	P	<i>Mastogloia rostrata</i>	Mro	P
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	Cra	P	<b>Ordem Biddulphiales</b>			<b>Ordem Achnantaes</b>		
<i>Coscinodiscus reniformis</i>	Cre	P	<b>Família Biddulphiaceae</b>			<b>Família Cocconeidaceae</b>		
<i>Coscinodiscus wailiesii</i>	Cwa	P	<i>Biddulphia</i> sp.	Bid	P	<i>Cocconeis</i> sp.	Coc	B
<i>Cymatodiscus planetophorus</i>	Cpl	B	<b>Ordem Hemiaulales</b>			<b>Ordem Naviculales</b>		
<b>Família Hemidiscaceae</b>			<b>Família Hemiaulaceae</b>			<b>Família Diploneidaceae</b>		
<i>Actinocyclus octonarius</i>	Aoc	P	<i>Eucampia cornuta</i>	Eco	P	<i>Diploneis crabro</i>	Dcr	B
<i>Azpeitia africana</i>	Azp	P	<i>Hemiaulus hauckii</i>	Hha	P	<b>Família Naviculaceae</b>		
<i>Azpeitia nodulifer</i>	Azp	P	<i>Hemiaulus indicus</i>	Hin	P	<i>Haslea wawikrae</i>	Hwa	P
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	Hcu	P	<i>Hemiaulus sinensis</i>	Hsi	P	<i>Navicula pennata</i>	Npe	P
<i>Roperia tessellata</i>	Rte	P	<b>Família Hyalodiscaceae</b>			<b>Família Pleurosigmales</b>		
<b>Família Heliopeltaceae</b>			<i>Hyalodiscus scoticus</i>	Hsc	P	<i>Pleurosigma diverse-striatum</i>	Pds	B
<i>Actinopychus senarius</i>	Ase	P	<i>Hyalodiscus subtilis</i>	Hsu	P	<b>Família (?)</b>		
<b>Ordem Asterolamprales</b>			<i>Podosira</i> spp.	Pod	P	<i>Nanoneis hasleae</i>	Nha	P
<b>Família Asterolampraceae</b>			<b>Ordem Paraliales</b>			<b>Ordem Thalassiosiphysales</b>		
<i>Asterolampra marylandica</i>	Ast	P	<b>Família Paraliaceae</b>			<b>Família Catenulaceae</b>		
<i>Asteromphalus arachne</i>	Ast	P	<i>Paralia sulcata</i>	Psu	P/B	<i>Amphora</i> sp.	Amp	B
<i>Asteromphalus flabellatus</i>	Afl	P	<b>Ordem Lithodesmiales</b>			<b>Ordem Surirellales</b>		
<i>Asteromphalus hookeri</i>	Aho	P	<b>Família Lithodesmiaceae</b>			<b>Família Surirellaceae</b>		
<i>Asteromphalus sarchofagus</i>	Asa	P	<i>Ditylum brightwellii</i>	Dbr	P	<i>Surirella febigeri</i>	Sur	P
<b>Ordem Thalassiosirales</b>			<b>Ordem Corethrales</b>			<b>Classe Fragilariophyceae</b>		
<b>Família Thalassiosiraceae</b>			<b>Família Corethraceae</b>			<b>Ordem Thalassionematales</b>		
<i>Porosira</i> spp.	Por	P	<i>Corethron criophilum</i>	Ccr	P	<b>Família Thalassionemataceae</b>		
<i>Thalassiosira "lineata"</i>	Tli	P	<b>Ordem Rhizosoleniales</b>			<i>Lioloma</i> sp.	Lio	P
<i>Thalassiosira diporocyclus</i>	Tdi	P	<b>Família Rhizosoleniaceae</b>			<i>Thalassionema nitzschioides</i>	Tni	P/B
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	Tec	P	<i>Rizosolenia</i> sp.	Riz	P	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	Tha	P
<i>Thalassiosira mendiolana</i>	Tme	P	<i>Proboscia alata</i>	Pro	P	<b>Ordem Protoraphidales</b>		
<i>Thalassiosira minuscula</i>	Tmi	P	<b>Class Bacillariophyceae</b>			<b>Família Protoraphidaceae</b>		
<i>Thalassiosira oestrupii</i>	Toe	P	<b>Ordem Bacillariales</b>			<i>Pseudohimantidium pacificum</i>	Pse	Epizóica
<i>Thalassiosira punctigera</i>	Tpu	P	<b>Família Bacillariaceae</b>			<b>Ordem Fragilariiales</b>		
<i>Thalassiosira</i> sp. 1	Th1	P	<i>Alveus marinus</i>	Ama	P	<b>Família Fragilariaceae</b>		
<i>Thalassiosira</i> sp. 2	Th2	P	<i>Bacillaria paradoxa</i>	Bpa	P/B	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	Agl	P
<i>Thalassiosira symmetrica</i>	Tsy	P	<i>Fragilariopsis doliolus</i>	Fdo	P	<i>Tabularia</i> sp.	Tab	B
<b>Família Skeletonataceae</b>			<i>Nitzschia bicapitata</i>	Nbi	P	<b>Ordem Licmophorales</b>		
<i>Skeletonema tropicum</i>	Ske	P	<i>Nitzschia bifurcata</i>	Nbi	P	<b>Família Licmophoraceae</b>		
<b>Família Stephanodiscaceae</b>			<i>Nitzschia ikeanae</i>	Nik	P	<i>Licmophora</i> sp.	Lic	B
<i>Cyclotella striata</i>	Cyc	P	<i>Nitzschia leehy</i>	Nle	P	<b>Ordem Rhaphoneidales</b>		
<i>Cyclotella stilorum</i>	Cyc	P	<i>Psammodyction panduriforme</i>	Ppa	P	<b>Família Rhaphoneidaceae</b>		
<b>Ordem Chaetocerotales</b>			<i>Pseudo-nitzschia americana</i>	Pam	P	<i>Delphineis margaritalimbata</i>	Dma	B
<b>Família Chaetocerotaceae</b>			<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	Pau	P	<i>Delphineis surirella</i>	Dsu	B
<i>Bacteriastrium hyalinus</i>	Bac	P	<i>Pseudo-nitzschia caliantha</i>	Pca	P	<i>Neodelphineis pelagica</i>	Npe	P
<i>Bacteriastrium varians</i>	Bac	P	<i>Pseudo-nitzschia "delicatissima"</i>	Pde	P	Unidentified Centrics	CNI	P/B
<i>Chaetoceros affinis</i>	Cha	P	<i>Pseudo-nitzschia fraudulenta</i>	Pfr	P	Unidentified Naviculoids	NNI	P/B
<i>Chaetoceros diversus</i>	Cha	P	<i>Pseudo-nitzschia hasleae</i>	Pha	P			
<i>Chaetoceros dydimus</i>	Cdy	P	<i>Pseudo-nitzschia multiseris</i>	Pmu	P			

Tabela 2: Lista de táxons encontrados na Baía de Santos (Inverno 2019). P=Plâncton e B=Bentos; P/B: espécies com afinidade por ambos os habitats

Figura 2: Algumas espécies cêntricas, em Microscopia Óptica (400x); 2A. *Chaetoceros didymus* (Cdi); 2B. *Coscinodiscus radiatus* (Cra); 2C. *Actinocyclus octonarius* (Aoc); 2D. *Skeletonema tropicum* (Ske); 2E. *Thalassiosira oestrupii* (Toe); 2F. *Azpeitia africana* (Azp).

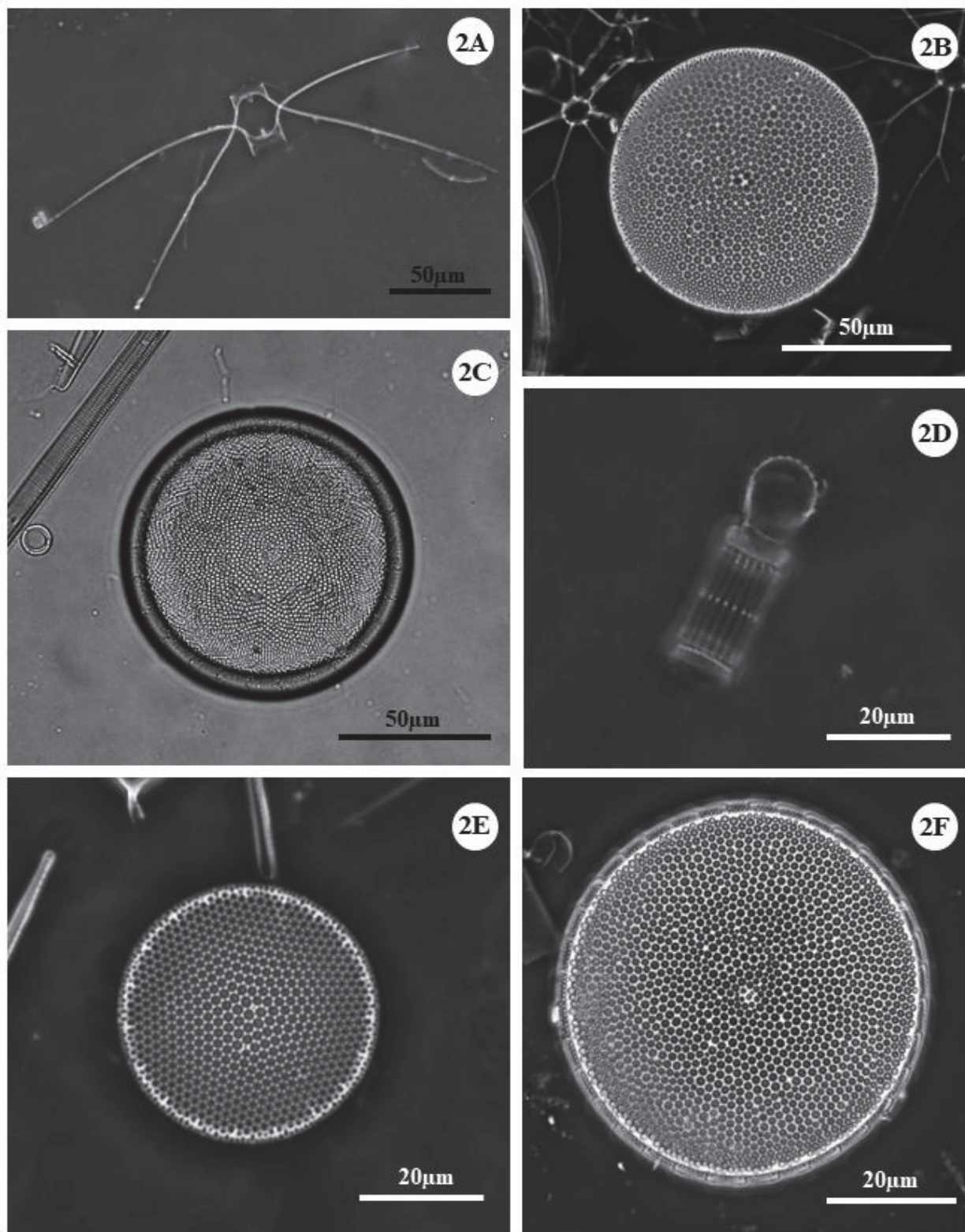
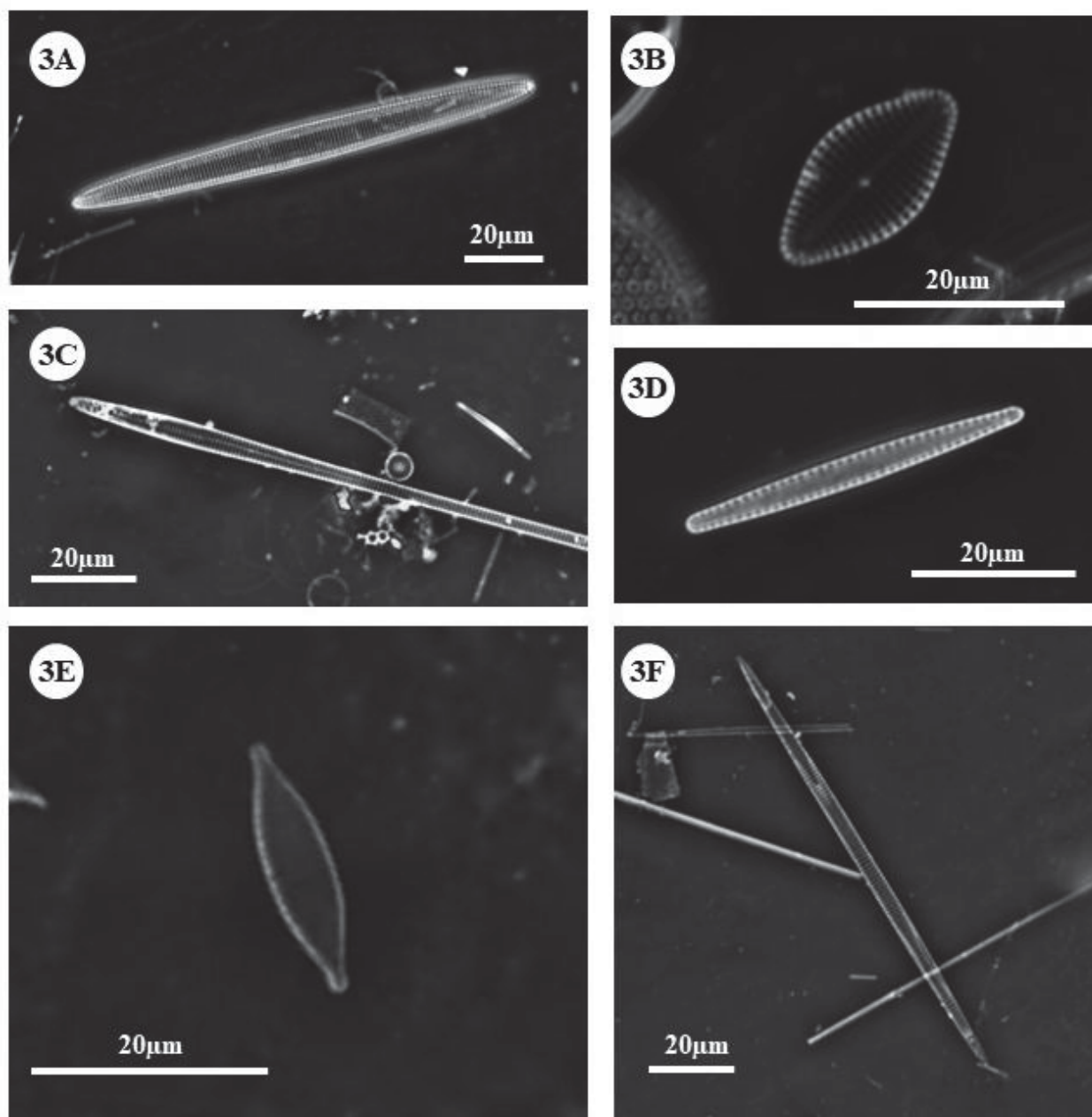


Figura 3: Algumas espécies naviculóides, em Microscopia Óptica (400x e 1000x especificamente para *Thalassiothrix frauenfeldii*); 3A. *Alveus marinus* (Ama); 3B. *Delphineis surirella* (Dsu); 3C. *Thalassiothrix frauenfeldii* (Tha); 3D. *Thalassionema nitzschioides* (Tni); 3E. *Nitzschia "bicapitata"* (Nbi); 3F. *Pseudo-nitzschia "pungens"* (Ppu).



A distribuição relativa das espécies foi descrita em base das contribuições percentuais de valvas em cada estação (Figura 4). De modo geral, 17 espécies/gêneros foram responsáveis por quase toda contribuição relativa, com outras (cêntricas e naviculóides) contribuindo em menos de 3%. O gênero *Chaetoceros* contribuiu em todas as áreas, aumentando a concentração em direção a região oceânica, atingindo >75% da contribuição relativa total na estação D3 e H1 (55%). Na região de H1, próxima a Cabo Frio e conhecida pelo dinamismo de ressurgência das massas de água, além da alta concentração de *Chaetoceros* spp., a espécie de *Skeletonema* Greville, 1865,

nom. et typ. cons. (Figura 2D) contribuiu em 26%. Em oposição aos *Chaetoceros* que contribuíram nas estações mais distantes da Plataforma, as espécies de *Coscinodiscus* foram importantes na Plataforma interna e média, se destacando nas estações A2 e A3 (próximas a Florianópolis). Em B3, a espécie *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg, 1840 foi a terceira espécie mais relevante nas lâminas, mas sua contribuição foi ofuscada pela superioridade percentual de *Actinocyclus octonarius*, com 42% de contribuição relativa. Em B2, região próxima a Baía de Paranaguá, houve uma contribuição de >80% de *Amphora* spp. e *Navicula pennata*.

Em F3, litoral do Rio de Janeiro, uma espécie de *Thalassiosira* muito delicada atingiu >60%. As espécies de *Thalassiosira* variaram de 0-70% da contribuição relativa em estações da Plataforma interna, média e externa, diminuindo em direção ao Talude/Oceânica. Nesta mesma estação próxima ao litoral do Rio, a *Pseudo-nitzschia* spp. contribuiu >20%. De modo geral, as espécies de *Pseudo-nitzschia* ocorreram na Plataforma interna, média e externa, com seus valores máximos de percentual de contribuição para F2 (>30%) e em E1, localizada na Plataforma interna e região média entre o Sul e Norte da BS, obtendo 73% de toda contribuição percentual junto com *Thalassionema nitzschioides*. A contribuição relativa da espécie *Nitzschia "bicapitata"* Cleve, 1901 inicia com forte presença (28-35%) no perfil A, principalmente nas estações do Talude e região Oceânica (A5, A6 e A7), e diminui até atingir o perfil oceanográfico E. A partir desta região, próxima a Ilha de São Sebastião, a *Nitzschia "bicapitata"* volta a contribuir com valores altos, sempre associados aos perfis localizados do talude em direção ao mar aberto.

Baseando-se no gráfico de abundância relativa já é possível separar, muito preliminarmente, alguns grupos de diatomáceas pela distribuição nos perfis oceanográficos. Enquanto *Coscinodiscus* e *Thalassiosira* estão preferencialmente nas estações próximas a região costeira, *Nitzschia "bicapitata"* aumenta sua contribuição gradualmente em direção à região oceânica. No entanto, as espécies de *Chaetoceros* contribuíram expressivamente em todas as áreas da Bacia e outras espécies como *Amphora* spp. e *Navicula pennata* estão restritas à uma única estação.



#### 4.2 Discriminação de Associações com base nas Análises de Cluster

As associações descritas abaixo foram discriminadas especialmente a partir da Análise de Cluster (Figura 5), complementada pela RDA (Figura 6) e por inserções de algumas espécies indicadoras (IndVal) que não atingiram os critérios de corte empregados, mas foram registradas nas lâminas permanentes para contagem. A separação das associações foi feita manualmente, a partir de observações dos clusters formados após a análise.

##### Associação 1: Espécies de águas costeiras

Diatomáceas com distribuição mais limitada ao setor sul da Bacia de Santos (24.5°S à 27.5°S) e em águas costeiras rasas influenciadas pela drenagem continental, e a partir da intrusão da Frente Subtropical de Plataforma (FSP), enriquecida em fosfato e silicato. Influenciadas pela Água Costeira, geralmente com temperaturas altas e baixa salinidade. As áreas apresentaram escassez de nitrito e nitrato e pouco enriquecimento de silicato. Este último nutriente já estava em depleção devido ao consumo por diatomáceas, em comparação com águas mais ao Norte da BS. Algumas espécies como *Fragilariopsis doliolus*, *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle, 1993 e *Chaetoceros didymus* Ehrenberg, 1845 (Figura 2A) estenderam-se até a plataforma externa e talude na região central da BS (C4, C5, D4, D5), provavelmente transportadas em direção ao oceano por vórtices anticiclônicos. As espécies limitadas a Plataforma média foram *Thalassiosira oestrupii* (Ostenfeld) Proshkina-Lavrenko ex Hasle, 1960 (Figura 2E), *Thalassiosira lineata* Jousé 1968, *Cyclotella* spp., *Actinoptychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg, 1843, *Coscinodiscus radiatus* e *Actinocyclus octonarius*, enquanto as espécies *Chaetoceros dydimus* Ehrenberg, 1845, *Fragilaripsis doliolus* e *Pseudo-nitzschia pungens* foram abundantes na Plataforma Média. Espécies: *Thalassiosira oestrupii*, *Cyclotella striata/stylorum*, *Actinoptychus senarius*, *Coscinodiscus radiatus*, *Actinocyclus octonarius*, *Chaetoceros didymus*, *Fragilaripsis doliolus*, *Pseudo-nitzschia pungens* e *P. multiseriis*; e as menos comuns *Paralia sulcata*, *Diploneis crabro* (Ehrenberg) Ehrenberg, 1854, *Surirella* spp., *Hyalodiscus* spp. e *Cymatodiscus planetophorus*.

##### Associação 2: Fenômenos oceânicos

Espécies ocorrendo em poucas amostras e na forma de picos de abundância pontuais, relacionadas à ambientes com diferentes interferências, como o fenômeno de ressurgência, o sistema de vórtices anticiclônicos e descargas de rios próximas às estações, subdivididas em 2 grupos. A Associação 2a foi registrada em águas de plataforma média enriquecidas localmente por nutrientes. As espécies *Navicula pennata* (48% de contribuição na estação B2) e

*Coscinodiscus granii* Gough, 1905 (metade das suas valvas identificadas se limitaram na estação B4), foram influenciadas pela Baía de Paranaguá, local em frente as estações. As diatomáceas da Associação 2b ocorreram em águas costeiras influenciadas por estuários/baías de Cananeia, Sepetiba, Guanabara e Ilha de São Sebastião (C1, E1, F1-F2), com contribuição pequena, mas significativa para a espécie *Pleurosigma diverse-striatum* F.Meister, 1934 e destaque para os 28% de contribuição da espécie *Delphineis surirella* (Figura 3B). A espécie *Skeletonema tropicum* Cleve, 1900 representou 26% do total para a estação H1, essa pertencente a região onde acontece a Ressurgência de Cabo Frio, alto em nitrato. As demais diatomáceas são *Pseudo-nitzschia calliantha* Lundholm, Moestrup & Hasle, 2003, *Chaetoceros messanensis* Castracane, 1875 (D7, 22% contr.relat.).

### **Associação 3: Espécies de água tropical**

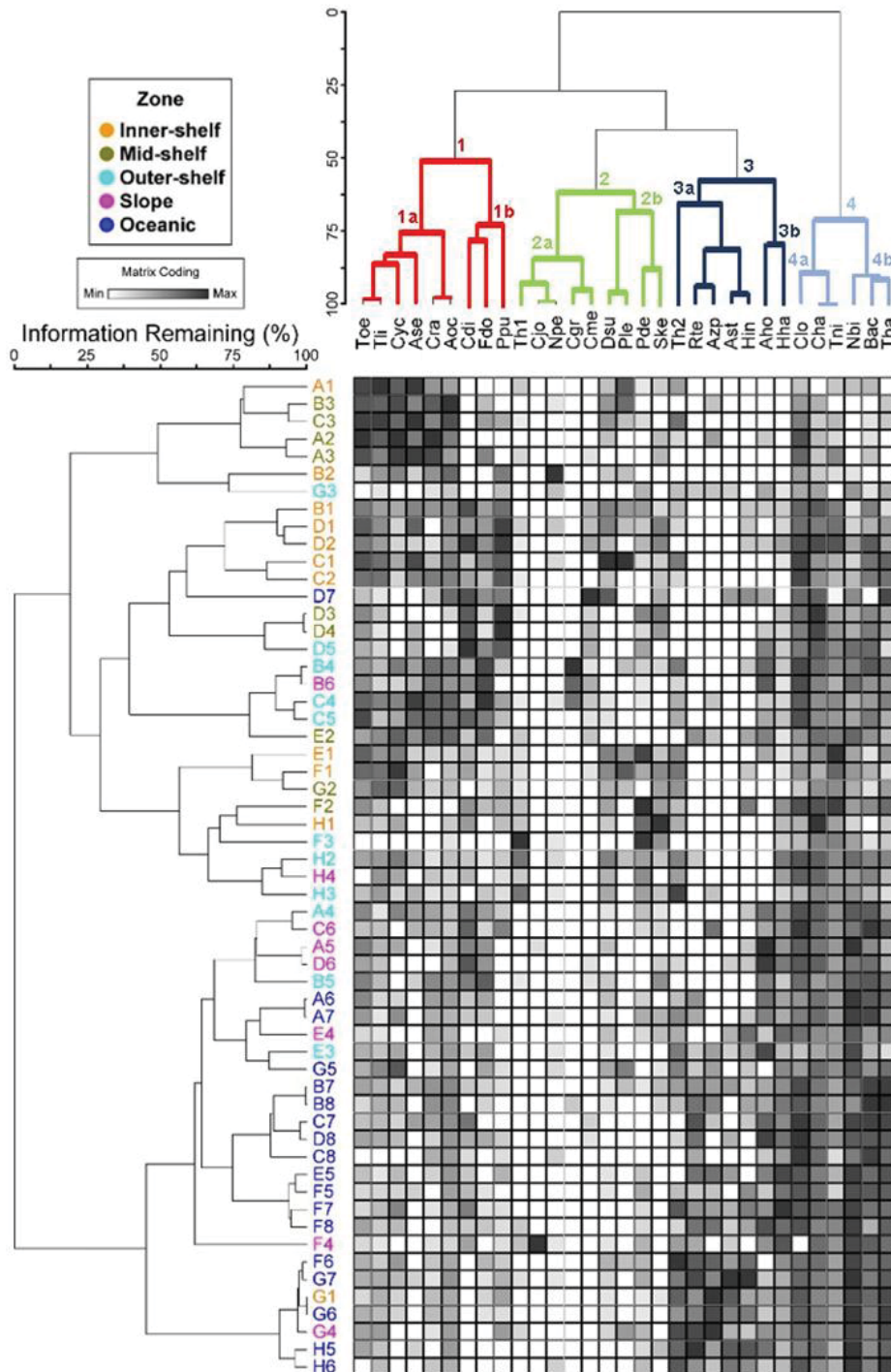
Diatomáceas características da Água Tropical (oligotrófica, com média de temperatura e salinidade elevadas, em média 21°C e 36 psu) situadas majoritariamente ao longo de todo o talude e região oceânica (exceto sob efeito de feições oceanográficas descritas nas Associações 1 e 2). Naturalmente, algumas valvas foram registradas ou detectadas também em águas mais rasas da BS, transportadas por correntes. As estações amostrais em geral apresentaram baixa contagem de valvas nas lâminas permanentes, mesmo após sucessivas adições de amostras; outra evidência do caráter oligotrófico das águas tropicais. Todas as diatomáceas estão associadas a região do talude e oceânica, com exceção das espécies *Thalassiosira* spp. na estação H3, em frente a Cabo Frio, e a espécie *Azpeitia* spp. na estação G1, em frente a Baía de Guanabara, drenada por águas eutrofizadas com abundância de cianobactérias. As espécies *Hemiaulus indicus* Karsten, 1907, *Azpeitia* e *Roperia* foram mais importantes no setor norte da BS, enquanto a contribuição de *Hemiaulus hauckii* Grunow ex Van Heurck, 1882 e *Asteromphalus* foi maior ao Sul. Espécies: *Thalassiosira* spp., *Roperia tessellata*, *Azpeitia africana* (Figura 2F) e *A. nodulifer*, *Asterolampra marylandica* Ehrenberg, 1844, *Hemiaulus hauckii*, *Hemiaulus indicus*, *Asteromphalus hookeri* e *A. arachnae*, *Alveus marinus* (Figura 3A), *Coscinodiscus reniformes*, *Mastogloia rostrata* e *Thalassiosira diporocyclus* Hasle, 1972.

### **Associação 4: Associação com ampla distribuição na BS**

Espécies de ampla distribuição e contribuição relativa frequentemente maior do que as de outras, compreendendo a área da Plataforma interna, média, externa, Talude e Oceânica. Associações apenas pouco representativas no sul da Bacia de Santos sob influência da Frente Subtropical, onde é inteiramente substituída pela Associação 1. Em relação a sua distribuição

na BS, dois subgrupos foram distinguidos. A associação 4a, cobrindo águas sobre a plataforma interna (<50m) como *Thalassionema nitzschioides* (ticopelágica) com 43% de contribuição na estação E1 (Ilha de São Sebastião), *Chaetoceros lorenzianus* e outros *Chaetoceros* spp.; e a Associação 4b, composta por espécies mais abundantes desde a plataforma média até a região oceânica como *Nitzschia "bicapitata"* (*N. bicapitata* e *N. rostrata*), *Bacteriastrum hyalinum* Lauder, 1864 e *B. comosum* (Castracane) Ikari, 1972 e *Thalassiothrix frauenfeldii* (Grunow) Grunow 1880.

Figura 5: Dendrograma (Cluster Two-Way) representando as 4 associações de diatomáceas detectadas na Baía de Santos durante a inverno/primavera de 2019, pela análise de Cluster. Observe que a tendência geral da ordenação das estações oceanográficas é de ambientes mais rasos em direção ao oceano aberto. Desvios deste padrão geralmente representam eventos/características oceanográficas especiais como ressurgência, intrusões e ciclones nas massas de água (SSF, SACW) e drenagem das águas costeiras. A escala em cinza representa a contribuição relativa do total de valvas contadas por lâminas. **Toe**=*Thalassiosira oestrupii*; **Cyc**=*Cyclotella* spp.; **Ase**=*Actinocyclus senarius*; **Cra**=*Coscinodiscus radiatus*; **Aoc**=*Actinocyclus octonarius*; **Cdi**=*Chaetoceros didymus*; **Fdo**=*Fragilariopsis doliolus*; **Ppu**=*Pseudo-nitzschia pungens/multiseriis*; **Th1**= *Thalassiosira* sp. 1; **Cjo**=*Coscinodiscopsis jonesiana*; **Npe**=*Navicula pennata*; **Cgr**=*Coscinodiscus granii*; **Cme**=*Chaetoceros messanensis*; **Dsu**=*Delphineis surirella*; **Ple**=*Pleurosigma diverse-striatum*; **Pde**=*Pseudo-nitzschia "delicatissima"*; **Ske**= *Skeletonema tropicum*; **Th2**= *Thalassiosira* sp. 2; **Rte**=*Roperia tessellata*; **Azp**=*Azpeitia* spp.; **Ast**=*Asterolampra* spp.; **Hin**=*Hemiaulus indicus*; **Aho**= *Asteromphalus hookeri*; **Hha**= *Hemiaulus hauckii*; **Clo**=*Chaetoceros lorenzianus*; **Cha**=*Chaetoceros* spp.; **Tni**=*Thalassionema nitzschioides*; **Nbi**=*Nitzschia bicapitata/bifurcata*; **Bac**=*Bacteriastrum* spp.; **Tha**=*Thalassiothrix frauenfeldii*; **Tli**= *Thalassiosira lineata*.



### 4.3 Determinação de Forçantes Ambientais da Distribuição das Diatomáceas por RDA

A RDA totalizou 19,8% da variância acumulada (Pearson,  $r = 0.90$ ) para o primeiro eixo ( $p < 0,001$ ) (Tabela 4) e discriminou a distribuição espacial das diatomáceas de acordo com as forçantes ambientais regidas pelas características hidrológicas das massas de água atuando na BS (Figura 6). Inicialmente, foi possível distinguir 4 grupos de diatomáceas e discriminar dentro desses grupos algumas associações e sub-associações encontradas pelo Cluster. Na Água Costeira, enriquecida por nutrientes (fosfato, nitrato e Silicato) e com valores mais baixos de salinidade (33-34) e temperaturas (17-23°C), as espécies que melhor responderam a estas condições são *Coscinodiscus radiatus* (Cra), *Actinoptychus senarius* (Ase), *Thalassiosira lineata* (Tli), *T. oestrupii* (Toe), *Pleurosigma* sp. (Ple), *Chaetoceros messanensis* (Cme), *Delphineis surirella* (Dsu). Neste quadrante foram destacadas algumas espécies da **Associação 1** (*Actinoptychus senarius* (Ase), *Thalassiosira oestrupii* (Toe) e *Thalassiosira lineata* (Tli), *Pseudo-nitzschia* complexo *pungens* (Ppu) e *Chaetoceros dydimus* (Cdi)). No quadrante oposto a este grupo, a Água Tropical oligotrófica limitou fortemente o crescimento, e com valores elevados de temperatura (20-24°C) e salinidade (34-37) subsistindo espécies bastante típicas destas águas mais profundas como *Azpeitia* spp. (Azp), *Asteromphalus hookeri* (Aho), *Roperia tessellata* (Rte), *Thalassiothrix frauenfeldii*, *Hemiaulus hauckii* (Hha), *H. indicus* (Hin), *Coscinodiscopsis jonesiana* (Greville) E.A.Sar & I.Sunesen, 2008 (Cjo), *Thalassiosira* sp.2 (Th2) e *Pseudo-nitzschia* complexo *delicatissima* (Pde). Neste quadrante duas associações foram destacadas, a **Associação 3** (*Roperia tessellata* (Rte), *Asterolampra* spp. (Ast), *Azpeitia* spp. (Azp) e *Hemiaulus indicus* (Hin), *Hemiaulus hauckii* (Hha) e *Asteromphalus hookeri* (Aho)) e a **Associação 4** (*Chaetoceros lorenzianus*, *Chaetoceros* spp, *Thalassiothrix frauenfeldii* (Tha) (Figura 3C), *Bacteriastrum* spp. (Bac) e *Nitzschia* “*bicapitata*” (Nbi)). O terceiro grupo, afetado pelo enriquecimento bastante localizado devido à ressurgências e atuação de vórtices influenciou o crescimento e predominância das espécies *Coscinodiscus granii* (Cgr), *Chaetoceros didymus* (Cdi) e *Skeletonema tropicum* (Ske)). Assim como no Cluster, as associações deste quadrante não ficaram bem delimitados, mas foi destacado a **Associação 2** (*Thalassiosira* sp.1 (Th1), *Navicula pennata* (Npe), *Pseudo-nitzschia* “*delicatissima*” (Cleve) Heiden, 1928 (Pde), *Coscinodiscus granii* (Cgr), *Coscinodiscopsis jonesiana* (Cjo) e *Skeletonema tropicum* (Ske)).

Figura 6: Análise de Redundância (RDA) mostrando vetores ambientais que influenciam a distribuição espacial das diatomáceas coletadas pelos oito perfis oceanográficos (A à H) na Baía de Santos durante a inverno/primavera (2019). Os círculos preenchidos destacam as quatro associações de espécies para melhor visualização das correlações entre a distribuição das espécies e os fatores ambientais. Legenda: Clorofila em ug/L (Chl), densidade em kg/m<sup>3</sup> (Den), oxigênio dissolvido em mg/L (DO), nitrito em uM (NO<sub>2</sub>), nitrato em uM (NO<sub>3</sub>), fosfato em uM (PO<sub>4</sub>), salinidade em psu (Sal), silicato em uM (SiO<sub>4</sub>) e temperatura em C° (Temp).

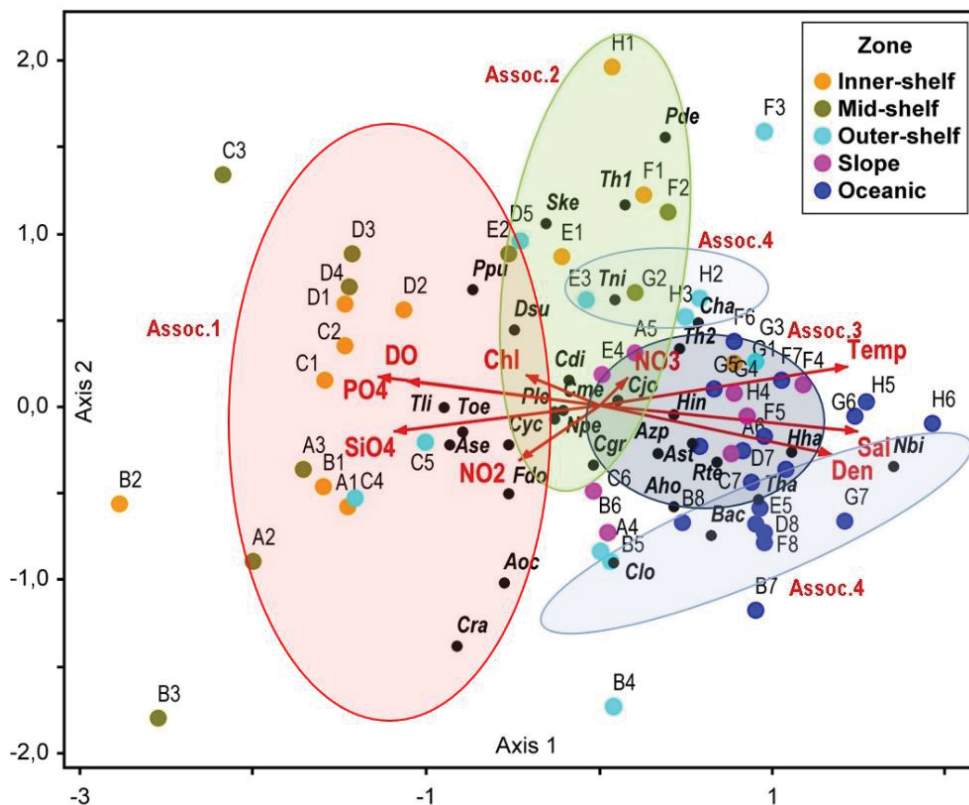


Tabela 3: Porcentagem da variância e a correlação de Pearson entre espécies – ambiente para os dois primeiros eixos da Análise de Redundância

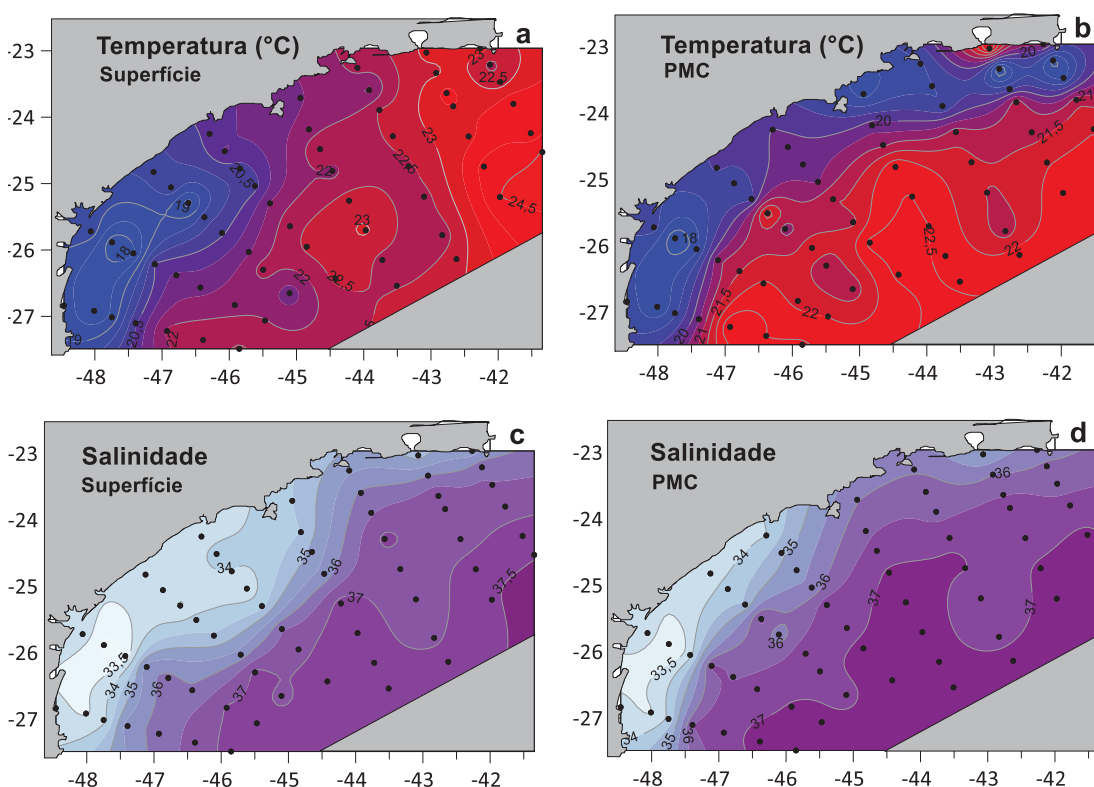
	Axis 1	Axis 2
<i>Eigenvalue</i>	1.32	0.58
% of variance explained	19.8	8.8
Cumulative % explained	19.8	28.6
Pearson Corr., (Species – Environment)	0.90	0.71
Monte-Carlo test, 998 runs	<0.001	
<i>Eigenvalue</i>	1.31	0.58
Spp-Env Corr.	0.89	0.73

#### 4.4 Distribuição de Parâmetros Físico-Químicos

Os mapas de temperatura e salinidade (Figura 7) e nutrientes (Figura 8), estão representados em duas profundidades, a de Superfície (3 a 5m) e de PMC – Profundidade

Máxima da Clorofila (até 200m). A temperatura (Figura 7, **a e b**) variou de 17°C a 24°C aumentando da costa em direção ao oceano aberto. Na superfície (Figura 7, **a**) e PMC (Figura 7, **b**) os pontos amostrais costeiros das estações A-C apresentam os menores valores (17-18°C) e pode ser explicado pela entrada da FSP. Estas estações estão próximas a ressurgência do Cabo de Santa Marta (Santa Catarina, 28° 40' S). A salinidade variou de 33 a 37, com o menor valor restrito às estações costeiras dos perfis A e B, ao sul da BS.

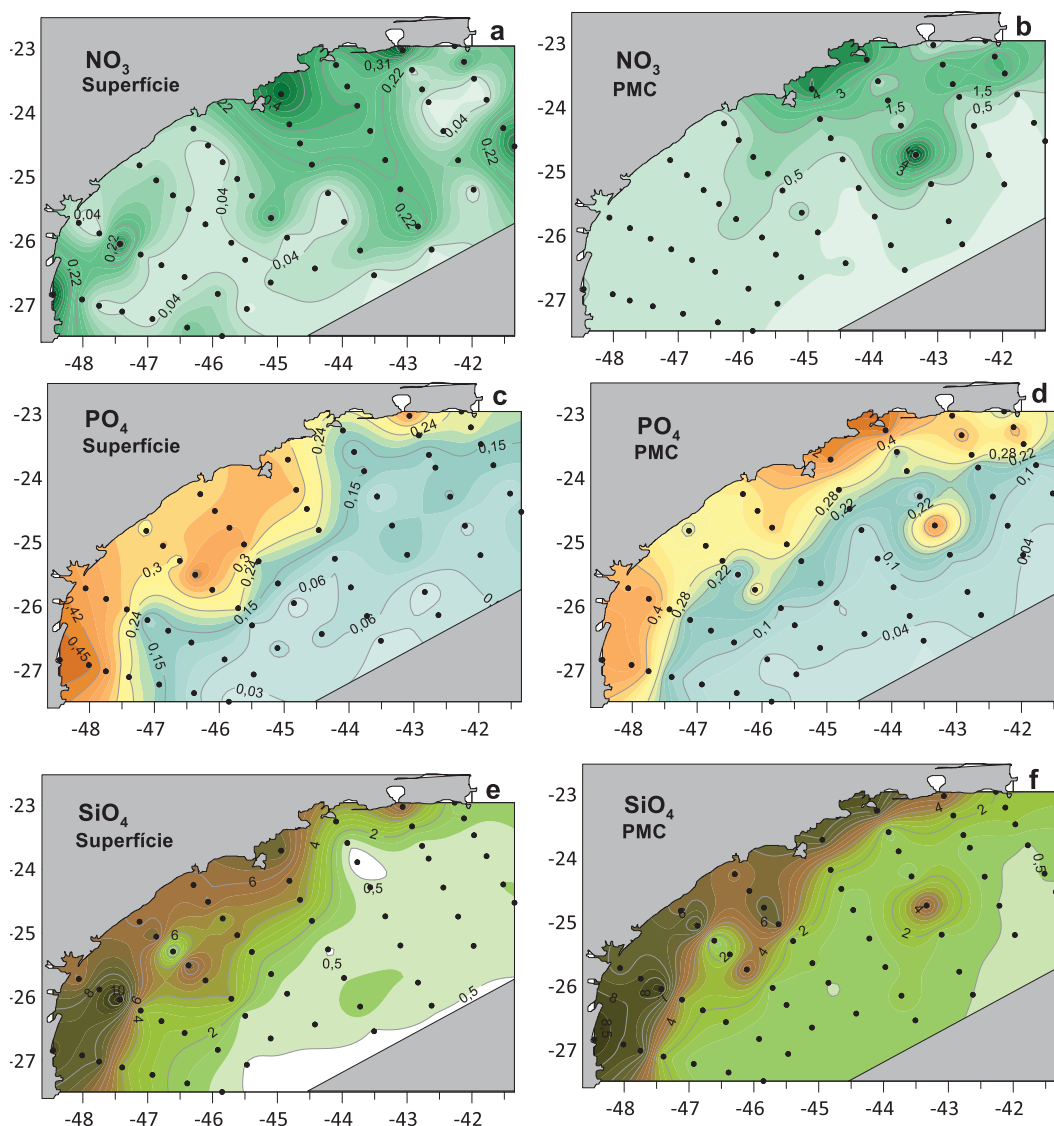
*Figura 7:* Distribuição geográfica de temperatura em °C (**a e b**) e salinidade em psu (**c e d**), na superfície (**a e c**) e PMC (**b e d**) da Baía de Santos, entre agosto e outubro de 2019. Nos mapas de temperatura (**a e b**) os maiores valores estão em vermelho e os menores em azul. Para salinidade (**c e d**), o roxo escuro representa salinidades maiores e clareia em direção a valores menores.



A disponibilidade de  $\text{NO}_3$  se concentrou principalmente próxima a Ilha de São Sebastião na superfície (Figura 8, **a**), e diminuindo drasticamente do sul da BS a partir da PMC (Figura 8, **b**). A distribuição de  $\text{PO}_4$  e  $\text{SiO}_4$  (Figura 8, **c-f**) se acumulou nas áreas próximas a costa, onde existe maior aporte de nutrientes trazidos pelas atividades costeiras e com destaque para as estações próximas o Cabo de Santa Marta, com baixos valores de temperatura e salinidade.

A estação F5 apresentou concentrações de  $\text{NO}_3$  (6,82 $\mu\text{M}$ ),  $\text{PO}_4$  (5,7 $\mu\text{M}$ ) e  $\text{SiO}_4$  (05,7 $\mu\text{M}$ ) muito superiores em comparação com os pontos amostrais ao seu redor, indicando uma entrada de nutrientes que possivelmente aconteceu através de um vórtice.

Figura 8: Distribuição geográfica de  $\text{NO}_3$  (a e b),  $\text{PO}_4$  (c e d) e  $\text{SiO}_4$  (e e f), divididos em Superfície (a,c e e) e PMC (b,d e f) na Baía de Santos. Em  $\text{NO}_3$  os maiores valores estão em verde mais escuro e segue clareando para valores menores. Em  $\text{PO}_4$  acontece o mesmo, mas com o gradiente da cor azul para laranja. Todos os nutrientes em  $\mu\text{M}$



## 5. DISCUSSÃO

O gráfico de abundância e as análises de Cluster e RDA contribuíram para a delimitação de espécies que se associam por indicadores ambientais em comum, possibilitando a separação de 4 associações, essas que foram semelhantes às encontradas com as análises do microplâncton total apresentado no capítulo de resultados do mesmo projeto da BS. A **Associação 1** apresenta diatomáceas influenciadas pelas características oceanográficas de massas de água próximas a região costeira, com baixos valores de temperatura e salinidade, e em contrapartida, altas concentrações de Silicato, Nitrato e Fosfato. A concentração de diatomáceas geralmente é mais alta nessas condições, favorecida pelo suprimento contínuo de nutrientes que acontece na faixa

costeira, com pouca estratificação vertical. A grande quantidade de fosfato é ótimo para a fertilização de diatomáceas, principalmente se houver ferro, o que pode acontecer pela entrada da pluma estuarina do Rio da Prata, rica destes dois elementos (BRANDINI, 2018). A entrada das águas da Pluma do Prata ocorre pela intrusão da Frente Subtropical da Plataforma (FSP) durante o inverno, uma Água com origem na Plataforma Continental Sul (PCS) (DOTTORI et al., 2023). A entrada da FSP produziu as baixas temperaturas (18-20°C) e salidade (33-34) na faixa costeira do Paraná até a Ilha de São Sebastião. A maioria das espécies/gêneros encontrados na parte costeira, como *Thalassiosira oestrupii*, *Cyclotella*, *Actinocyclus* e *Actinoptychus* está de acordo com outros registros nesse ambiente (FERNANDES e BRANDINI, 1996; BRANDINI e FERNANDES, 2004).

As espécies de *Pseudo-nitzschia* “pungens” agrupadas na **Associação 1** contribuíram em quase sua totalidade pelo perfil D, em frente as Baías de Sepetiba e Guanabara, influenciadas pela drenagem continental. Algumas espécies de *Pseudo-nitzschia* merecem atenção por serem produtoras da toxina causadora do ASP (Síndrome ou Envenenamento Amnésico por Moluscos – Amnesic Shellfish Poisoning), o chamado ácido domóico (AD). Essa toxina é um aminoácido muito semelhante a um neurotransmissor (glutamato), por isso consegue se ligar a dois receptores neurais, o cainato e o ácido  $\alpha$ -amino-3-hidroxi-5-metil-4-isoxazolepropriônico (VAN DOLAH 2000, FAO 2004). A partir da ligação consistente com o receptor, uma dose muito alta de cálcio é levada às células, causando envenenamento. Com a morte e/ou lesão dos neurônios, regiões responsáveis pelos processos de aprendizado e memória são afetadas, até mesmo com doses baixas do AD (VAN DOLAH, 2000). Como não existe tratamento, a intoxicação por AD pode levar à morte. No nosso trabalho, as espécies *Pseudo-nitzschia delicatissima/calliantha*, pertencentes à **Associação 2** produzem AD e foram encontradas em áreas relativamente próximas à costa (50-200m), podendo prejudicar atividades pesqueiras pelo potencial causador da ASP.

A **Associação 2** inclui espécies que tiveram alta contribuição em pontos amostrais individualizados, possivelmente causados por processos hidrodinâmicos que aportam nutrientes para regiões diferentes da sua origem. A **sub-associação 2a** é composta por espécies que contribuíram na Plataforma interna ao Talude, com picos de contribuição nos perfis B e F. Nas estações F1, F2, F3 e F4, localizadas em frente a Ilha Grande, a atuação do vórtice anticiclônico (*upwelling*) ocasionou a ressuspensão da ACAS, associada à baixas temperaturas e alta salinidade, propiciando o crescimento da *Thalassiosira* sp1. (diâmetro valvar <20um em colônias mucilaginosas), *Pseudo-nitzschia complexa delicatissima* e *Coscinodiscopsis jonesiana*. A primeira espécie, *Thalassiosira* sp.1, foi registrada substancialmente (~65% de

contribuição relativa) na estação F3, indicando que nessa área houve uma diferença de disponibilidade de nutrientes nas massas de água. Nessa mesma estação, localizada no litoral do Rio de Janeiro, foi observada uma floração de *Trichodesmium* (fixador de nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>)) e outras cianobactérias, em base de outros estudos do Projeto realizado na Bacia de Santos. A entrada de diferentes nutrientes que colaboram para a floração do fitoplâncton pode ser explicado através das águas ricas em nutrientes carregadas pelo mecanismo da ressurgência no extremo norte da BS, além da interação com vórtices ciclônicos.

Em Cabo Frio (23°S) ocorre a conhecida ressurgência, trazendo as águas frias e ricas em nutrientes da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) para a região interna. Este cenário justifica o crescimento de *Skeletonema* sp. no perfil H1, próximo a essa área na Plataforma, pois esta espécie tem preferência por ambientes menos salinos e ricos em nutrientes (BRANDINI, 2018). Assim como *Skeletonema tropicum*, a espécie *Coscinodiscopsis jonesiana*, que também faz parte desta associação, é comum em eventos de ressurgência (Brandini, 2018), e nas nossas amostras foi expressiva em apenas uma estação (F4), não ocorrendo em mais nenhum outro local. Nesta mesma condição, a espécie *Navicula pennata* se aproxima de *C. jonesiana* por ser relevante em apenas um local restrito, mas com características hidrográficas importantes. No caso de *N. pennata*, sua abundância (~48%) foi em frente a Baía de Paranaguá (estação B2), área com significativa drenagem continental, maximizada pelo Porto de Paranguá (25°S). Outras espécies presentes na **sub-associação 2b**, como a *Pseudo-nitzschia "delicatissima"* já foram registradas em regiões onde há pulsos de crescimento durante o inverno (FERNANDES e BRANDINI, 2004). No caso de *Delphineis surirella* e *Pleurosigma*, ambas espécies bênticas, a ocorrência pontual pode ser causada pela turbulência em áreas rasas (até 25m), suspendendo células e nutrientes do fundo para a superfície.

Em condições tipicamente de Água Tropical, as espécies da **Associação 3** se agruparam em águas quentes e pobres em nutrientes. As amostras de rede continham um número bem inferior de valvas, em comparação com as de outras amostras, e muito mais gotas de material limpo tiveram que ser adicionadas às lamínulas, durante o processo de preparação de lâminas permanentes. Uma das espécies incluídas é *Hemiaulus indicus*, já relatada em associação com a cianobactéria *Richelia intracellularis*, que pode ser explicada como uma estratégia ecológica para a utilização do nitrogênio fixado pela espécie da cianobactéria diazotrófica. O estudo de GARCIA e ODEBRECHT (2012) no sul do Brasil (28°-34°S) se aprofundou na família Asterolampraceae e o gênero *Azpeitia*, em coletas realizadas entre 2005 e 2007. Seus resultados são muito parecidos com os encontrados na nossa associação 3, como

por exemplo a baixa concentração dessas diatomáceas nas lâminas, predominância das espécies na região do Talude e Oceânica e em águas tipicamente tropicais. As espécies de *Azpeitia*, incluindo as *Azpeitia nodulifer/africana*, possuem preferência por condições de alta salinidade (>36) e temperatura elevada (>20°C) na camada superior (0-100m) da coluna d'água, corroborando com os registros feitos para a BS. As espécies de *Azpeitia* e *Roperia tessellata* contribuíram de forma semelhante ao longo da BS, identificadas nas mesmas estações.

A **Associação 4** é formada por espécies que estenderam sua contribuição por quase toda as regiões da BS, incluindo então a Plataforma interna, média, externa, Talude e Oceânica. Portanto, é a associação que mais abrange a área da BS, com espécies encontradas em ambientes característicos de AC, AT e influência das águas frias da ACAS ou FSP. A primeira sub-associação formada por *Chaetoceros lorenzianus*, *Chaetoceros* spp. (composto por *C. affinis* e *C. messanensis*) e *Thalassionema nitzschioides*. O gênero *Chaetoceros* aumentou sua contribuição relativa na transição entre o lado Sul e Norte da BS, mas foi o mais abundante em nossas amostras, assim como em outros estudos (FERNANDES e BRANDINI 2004, MALVIYA et al., 2016). Como descrito em Malviyaa et al. (2016), o gênero *Chaetoceros* é o mais abundante e diversificado (com 73,3% dos ribótipos e 59,6% das sequências), o que pode refletir na sua alta contribuição na ampla área da BS, na medida que a diversidade pode resultar em competição entre as espécies e essas ocuparem outros ambientes. Após o ataque ácido, as estruturas em cadeia das espécies de *Chaetoceros* foram separadas, restando essencialmente os ápices das valvas. Gêneros como *Chaetoceros*, *Thalassionema*, *Coscinodiscus* e *Bacteriastrum* representados por espécies com maior afinidade por águas mais quentes (>20 °C) e salinas (>35) já tinham sido encontradas predominantemente ao norte e nas regiões em frente a Pluma do Prata (BRANDINI, 2018). A espécie *Thalassiotrix frauenfeldii.*, com ênfase no perfil em frente a Baía de Guanabara (RJ), é muito parecida com *Lioloma* sp., divergindo estruturalmente no ápice das valvas de cada uma.

Se apenas o tamanho das espécies de *Nitzschia* "*bicapitata*" e N."*bifurcata*" (<16 µm) for considerado, a principio não fariam parte do mosaico de espécies que estão incluídas nesse trabalho, pois a abertura da rede de plâncton utilizada nas amostragens era de 20 µm. Porém, as espécies totalizaram 11% do total de valvas registradas nos nossos dados, incluindo espécies de dimensões maiores, as espécies com dimensões <20 µm que possivelmente estavam aderidas à outras diatomáceas ou estavam envolvidas em um complexo de mucilagem. Em muitos casos, a contagem foi feita separadamente das restantes, na medida que são pequenas e possivelmente passariam despercebidas. As espécies de *Nitzschia* foram abundantes nas regiões do talude e principalmente oceânica, indo de encontro com sua preferência por Água Tropical. Não houve

diferenciação entre as espécies, o que implica na criterização por Microscopia Eletrônica.

Contribuindo com nossos resultados, em escala mundial o artigo *Insights Into global distribution and diversity in the world's ocean* (MALVIYA et al., 2016) explorou a biodiversidade global de diatomáceas através de dois métodos de identificação: taxonomia clássica e a classificação genética dos táxons por metabarcoding. Foram feitas amostragens em 7 regiões oceânicas, sendo que as coletas no Atlântico Sul justapõem às algumas estações do Projeto de Caracterização da Bacia de Santos (PCBS), principalmente a região sul da BS (27-28° S). Assim como nosso trabalho, o gênero *Chaetoceros* foi o mais abundante, no nosso caso ele compõe 31,4% do total das valvas contadas. Os gêneros *Thalassiosira* e *Pseudonitzschia* apresentaram maior riqueza de espécies, assim como no presente trabalho que identificou 10 espécies em cada gênero. Delimitando os resultados mais à região costeira do Brasil, *Coscinodiscus* e *Thalassiosira* foram gêneros mais abundantes à região, embora as amostragens da expedição não tenha exatamente abrangido a região costeira, foram coletadas à quilômetros de distância da costa brasileira. *Minutocellus* é um gênero com ampla distribuição no artigo, porém não foi registrado em nossa contagem.

Estreitando os trabalhos realizados para o Atlântico Sul, Romero et. al (2002) apresenta uma investigação sobre a distribuição espacial da concentração biogênica de sílica, de diatomáceas e as assembleias de diatomáceas preservadas em sedimentos ao longo do Atlântico Sul, na parte Sul do Brasil e Uruguai, e uma vasta área da bacia ocidental da Argentina. Alguns pontos ao norte de coleta se justapõem com as coletas realizadas na região Sul da Bacia de Santos (27°-28°S), possibilitando uma comparação entre os materiais de diatomáceas em sedimentos e os coletados na superfície das águas na BS. Os autores separaram as assembleias em 4 grupos de acordo com as características ecológicas descritas para as espécies, e como esperado, o grupo de diatomáceas de águas tropicais é o que apresenta mais espécies em comum com as associações do presente trabalho, com 17 espécies em comum. Considerando a associação classificada em diatomáceas costeiras bênticas/planctônicas, há 10 espécies em comum, a maioria agrupada neste trabalho também na associação de diatomáceas em águas costeiras.

O trabalho do Romero et al. (2002) permite comparação porque a configuração das diatomáceas em sedimentos é próxima das condições encontradas nas diatomáceas após a oxidação. Em outras palavras, as diatomáceas coletadas no trabalho de Romero et al. passaram por processos físicos e químicos durante dezenas de anos que se assemelham às mudanças sofridas pelas diatomáceas oxidadas pelo ataque ácido. Os resultados dessa investigação, complementados por estudos anteriores, claramente evidenciam que a BS apresenta

Associações de diatomáceas grosseiramente separadas pelas características oceanográficas. As águas costeiras enriquecidas por drenagem continental, as águas de plataforma e talude com frentes sazonais e ressurgências e também apresenta permanentemente propriedades oligotróficas, devido à presença consistente da Água tropical sobre parte do Talude continental e da região oceânica. Entretanto, a análise mais detalhada revelou associações em “menor escala” dentro destas áreas, nas quais algumas espécies aumentaram sua contribuição relativa em função de suas características fisiológicas, estratégias ecológicas, entre outras. Finalmente, além de associações mais homogêneas, a Associação 2 foi geograficamente fragmentada e composta por diferentes espécies, ou “patchy”. É interessante comparar estes achados com as águas tropicais ao Norte da Bacia de Santos (e de outras latitudes mais baixas como Caribe, mediterrâneo) nas quais a oceanografia é monótona, ou seja, a Água tropical permanentemente domina todas as províncias marinhas, desde as águas costeiras (sem aportes continentais) até (ou estendendo-se) o oceano aberto. Uma vez que os fatores hidrográficos e geomorfológicos que promoveriam a aportes de nutrientes como ressurgências, vórtices e meandramento de correntes estão virtualmente ausentes, a comunidade planctônica, a composição específica e a abundância das diatomáceas pouco variam tanto geograficamente como temporalmente, diminuindo a formação de associações mais complexas.

Outro aspecto interessante é que a delimitação de Associações não necessariamente exclui (preclui) a ocorrência de suas espécies em águas de outras associações, pois a atuação das correntes na área transporta células para qualquer setor da Bacia de Santos, dependendo da estação do ano. Assim, algumas valvas de espécies típicas da Água Tropical como *Azpeitia*, *Asterolampra* e *Nitzschia bicapitata* foram encontradas tão dispersas quanto nas águas costeiras rasas. PROCOPIAK et al. (2006) as encontraram mesmo em estuários na baía de Paranaguá, portanto, estudos futuros devem levar em consideração as características regionais de margens continentais sob a influência de eventos oceanográficos promotores de alterações nas características físico-químicas da água, ultimamente dirigindo a formação ou diferenciação de associações de diatomáceas planctônicas.

## 6. CONCLUSÕES

Fundamentados em nossos resultados de identificação das espécies no plâncton de rede, análises estatísticas (Cluster e RDA), bem como em investigações prévias regionais, 4

associações de diatomáceas foram diferenciadas no Sudeste-Sul do Brasil, afetadas pelas condições oceanográficas predominantes. Elas são:

**Associação Tropical (Associação 3):** espécies residentes das águas oligotróficas quentes da Água Tropical transportada pela Corrente do Brasil na direção NE=>SW, compreendendo a Plataforma externa (150 metros) até a Região oceânica. As estações amostrais em geral apresentaram baixa contagem de valvas nas lâminas permanente, mesmo após sucessivas adições de amostras; outra evidência do caráter oligotrófico das águas tropicais. As diatomáceas apresentam crescimento lento, estratégia característica de limitação por nutrientes, como registrado nestas águas, por exemplo *Asteromphalus arachnae*, *Asterolampra marylandica*, *Nitzschia bicapitata*, *Azpeitia africana* e *A. nodulifer* e *Stimaphora birostrata*. As espécies *Hemiaulus indicus*, *Azpeitia* e *Roperia* foram mais importantes no setor norte da BS, enquanto a contribuição de *Hemiaulus hauckii* e *Asteromphalus* foi maior ao Sul.

**Associação com interferências de fenômenos oceânicos (Associação 2):** espécies ocorrendo em poucas amostras e na forma de picos de abundância pontuais, relacionadas à ambientes com diferentes interferências, como o fenômeno de ressurgência, o sistema vórtices anticiclônicos e descargas de rios próximas às estações. Esta associação é composta tanto por espécies da Água tropical quanto espécies de plataforma interna (da Associação 1). Os vórtices anticiclônicos podem atuar sobre a plataforma externa e média, “capturando células de águas mais rasas e transportando-as para o Talude, eventualmente misturando-as à Associação Tropical. As estações localizadas em frente a Ilha Grande, a atuação do vórtice anticiclônico (*upwelling*) ocasionou a ressuspensão da ACAS, associada à baixas temperaturas e alta salinidade, propiciando o crescimento de *Thalassiosira* sp1, *Pseudo-nitzschia “delicatissima”* e *Coscinodiscopsis jonesiana*. As espécies *Navicula pennata* e *Coscinodiscus granii* foram influenciadas pela Baía de Paranaguá, local em frente as estações. As espécies *Pleurosigma diverse-striatum* e *Delphineis surirella* ocorreram em águas costeiras influenciadas por estuários/baías de Cananeia, Sepetiba, Guanabara e Ilha de São Sebastião. A espécie *Skeletonema tropicum* (preferência por ambientes menos salinos e ricos em nutrientes) foi abundante próxima a Cabo Frio (ressurgência). As demais diatomáceas são *Pseudo-nitzschia calliantha* e *Chaetoceros messanensis*.

**Associação de ampla distribuição (Associação 4):** espécies com distribuição e contribuição relativa frequentemente maior do que as de outras, compreendendo a área da Plataforma interna, média, externa, Talude e Oceânica. Associações apenas pouco representativas no sul da Bacia de Santos sob influência da Frente Subtropical, onde é inteiramente substituída pela Associação 1. As espécies *Thalassionema nitzschioides*

(ticopelágica), *Chaetoceros lorenzianus* e outros *Chaetoceros* spp. cobriram as águas sobre a plataforma interna (<50m) e *Nitzschia “bicapitata”* (*N. bicapitata* e *N. rostrata*), *Bacteriastrum hyalinum* e *B. comosum* e *Thalassiothrix frauenfeldii* foram mais abundantes desde a plataforma média até a região oceânica.

**Associação Costeira (Associação 1):** composta por espécies bem silicificadas com crescimento rápido (estratégia-r oportunista), favorecidas pela maior concentração de nutrientes; presentes especialmente na Água Costeira, geralmente com temperaturas altas e baixa salinidade, ao longo da plataforma rasa, influenciadas pela drenagem continental, e a partir da intrusão da Frente Subtropical de Plataforma (FSP), enriquecida em fosfato e silicato. Espécies abundantes foram *Coscinodiscus radiatus* e *Thalassiosira oestrupii*. Algumas valvas de espécies de outras associações podem ser encontradas esporadicamente nestas águas rasas, devido à dinâmica oceanográfica mais complexa da região e à sazonalidade de atuação/deslocamento das correntes marinhas.

Faço aqui considerações sobre alternativas que podem ser aplicadas para estruturar mais assertivamente os resultados, gerar novos e melhorar a visualização dos resultados para discussão.

A preparação da oxidação do material seguiu o protocolo de Hasle & Fryxell (1970), mas é necessário alguns ajustes e mais exatidão sobre a quantidade de cada ácido a ser utilizada para atingir o estado ideal das amostras durante a oxidação, ao menos uma base para seguir. Sobre as lâminas não oxidadas, é interessante fazer a identificação das valvas preservadas pré-oxidação, complementando com os resultados obtidos neste trabalho.

Os tratamentos estatísticos empregados foram escolhidos para não excluir espécies raras, e ao mesmo tempo, não cortar espécies abundantes com maior importância ecológica. É possível trocar  $\log(x+1)$  pelo teste de Hellinger, que trabalha melhor com zeros, por exemplo.

Os esquemas (figuras e mapas) podem ser aperfeiçoados. Um mapa que inclua as associações de diatomáceas, a área da Plataforma onde ocorreram e as massas de água presentes. No Cluster é interessante representar algumas figuras ou formatos que representem melhor em quais áreas da Plataforma foram registradas as espécies.

De modo geral, os objetivos propostos foram alcançados e, embora os resultados endossem os levantamentos de espécies já feitas principalmente para o sul-sudeste costeiro do Brasil, a Associação 2 foi composta por espécies com crescimento incomum através do escoamento de águas dulcícolas para o oceano ou os eventos oceanográficos como ressurgência e vórtices ciclônicos. As espécies em destaque que estão agrupadas nesta associação e que tiveram o crescimento de diatomáceas em locais pontuais pela BS são *Coscinodiscus granii*,

*Coscinodiscopsis jonesiana*, *Chaetoceros messanensis*, *Delphineis surirella*, *Pleurosigma* e *Skeletonema tropicum*.

Com o levantamento das espécies de diatomáceas e as associações discriminadas na Bacia de Santos, espera-se que o presente trabalho possa contribuir como um apoio referencial para os próximos trabalhos que serão realizados na Plataforma Continental e Oceânica do Brasil, além de apoiar o monitoramento do ecossistema marinho brasileiro.

## REFERÊNCIAS

- BRANDINI F.P. & FERNANDES L.F. Microalgae of the continental shelf off Paraná State, southeastern Brazil: a review of studies. **Revista Brasileira de Oceanografia** 44: 69–80. 1996
- BRANDINI F.P. Phytoplankton assemblages of the subtropical South West Atlantic: composition and dynamics in relation to physical and chemical process. In: **Plankton Ecology of the Southwestern Atlantic** (Ed. by M.S. Hoffmeyer et al.), pp. 129–148. 2018.
- CALDAS, M.F. **Reconstituição cinemática e tectono-sedimentação associada a Domos salinos nas águas profundas da Bacia de Santos, Brasil**. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2007
- CASTRO, B.M.; LORENZZETTI, J.A.; SILVEIRA, I.C.A.; MIRANDA, L.B. **Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé e o Chuí**. In: Rossi-Wongtchowski, C. et al. (org.). O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste-Sul do Brasil. EDUSP, São Paulo, Capítulo, 1 pp. 11-120. 2006
- COX, E. J. Diatom identification in the face of changing species concepts and evidence of phenotypic plasticity, J. **Micropalaeontol.**, v. 33, pp.111–120. 2014 <https://doi.org/10.1144/jmpaleo2014-014>, 2014.
- CUPP, E.E. Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. **Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography**, v. 5, cap.1, pp. 1-238. 1943
- DOTTORI, M., D. K. et al. Hydrographic Structure of the Continental Shelf in Santos Basin and Its Causes: The SANAG and SANSED Campaigns (2019). **Ocean and Coastal Research** 71: e23013. <https://doi.org/10.1590/2675-2824071.22062md>. 2023
- DROOP, S.J.M. A morphometric and geographical analysis of two races of *Diploneis smithii/D. fusca* (Bacillariophyceae) in Britain. In Marino, D. & Montresor, M. (Eds), Proceedings of the 13th International Diatom Symposium. **Biopress**, Italy, Bristol. pp 347–369. 1995
- DROOP, S.J.M., MANN, D.G. & LOKHORST, G.M. Spatial and temporal stability of demes in *Diploneis smithii/D. fusca* (Bacillariophyta) supports a narrow species concept. **Phycologia**. v.9, pp.527–546. 2000.
- FALKOWSKI, P.G.; KATZ, M.E.; KNOLL, A.H.; QUIGG, A.; RAVEN, J.A.; SCHOFIELD, O.;

TAYLOR, F.J.R. The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. **Science**. 305:354-360pp. 2004

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Marine biotoxins. **FAO Food and Nutrition Paper 80**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, IT. p.53. 2004

FERNANDES L.F. & BRANDINI F.P. Diatom associations in shelf waters off Paraná state Southern Brazil: annual variation in relation to environmental factors. **Brazilian Journal of Oceanography** 52: 19–34. 2004.

FERNANDES L.F., TREMARIN P.I., FARIA D.M., CORREIA E.C. et al. 2022. Diversity, distribution and abundance of nano- and microplankton in the Santos Basin]. Final Report. Petrobras, Brasil. Available from: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/documents/d/comunica-bacia-de-santos/pcr-bs volume 5 sistema pelagico da bacia de santos?download=true> [Accessed 02 September 2025].

FONSECA, A. L. O. **Composição, distribuição, variabilidade sazonal e produção primária do microfítobentos entremarés na Baía de Paranaguá (Paraná, Brasil)**. Curitiba p.95. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná. 1998  
GRAHAM, L. E; GRAHAM, J.M.; WILCOX, L.W. **Algae**. 2nd edition. San Francisco: Benjamin Cummings, 2009.

HALLEGRAEFF, G.M. Ocean Climate Change, Phytoplankton Community Responses, And Harmful Algal Blooms: A Formidable Predictive Challenge. **Journal of Phycology**, v.46, pp. 220-235. 2010 <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2010.00815.x>

HALLEGRAEFF, G.M.; ANDERSON, D.M. & CEMBELLA, A.D. **Manual on harmful marine microalgae. IOC Manuals and Guides**. N° 33. UNESCO, Paris, FR. p 793. 1995

HASLE, G.R.; FRYXELL, G.A. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. **Transactions of the American Microscopical Society**, Malden, v. 89, pp. 469-474 1992, 1970

HASLE, G.R.; SYVERTSEN, E.E. Marine Diatoms. In: Tomas, C.R. (Ed.) Identifying Marine Phytoplankton. **Academic Press**, San Diego, pp. 5-385. 1997

KOOISTRA, W.H.; MEDLIN, L.K. Evolution of the diatoms (Bacillariophyta). IV. A reconstruction of their age from small subunit rRNA coding regions and the fossil record. **Mol Phylogenet Evol**. Dec;6(3):391-407. doi: 10.1006/mpev.1996.0088. PMID: 8975694. 1996

MALVIYA, S. et al. Insights into global diatom distribution and diversity in the world's ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.113 pp. 1516– 1525. 2016.

McCUNE B. & MEFFORD M.J. **PC-ORD Multivariate Analysis of Ecological Data**. Version 6.0. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon. 2011.

MOREIRA, D., DALTO, A.G., FIGUEIREDO, A.G., VALERIO, A.M., et al. Multidisciplinary Scientific Cruises for Environmental Characterization in the Santos Basin. **Ocean and Coastal Research**, in press. 2022

OBIS (2015). **Dados do Sistema de Informações Biogeográficas do Oceano**. Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO. Disponível em [www.iobis.org](http://www.iobis.org). Acessado em Janeiro de 2024

PROCOPIAK L.K., FERNANDES L.F. & MOREIRA-FILHO H. Marine and estuarine diatoms (Bacillariophyta) of Paraná, Southern Brazil: species list with emphasis on harmful species]. **Biota Neotropica** 6: 1–27. 2006.

RICARD, M. **Atlas du Phytoplankton Marin: diatomophycées**. Sournia, a. (coord.). Paris: Centre National de la Recherche Scientifique. v.2. p. 297. 1987

ROMERO O.; HENSEN C. Oceanographic control of biogenic opal and diatoms in surface sediments of the Southwestern Atlantic. **Marine Geology** 186: 263–280. 2002.

ROMERO O., ARMAND L.K., CROSTA X. & PICHON J.J.. The biogeography of major diatom taxa in Southern Ocean sediments: 3. Tropical/Subtropical Species. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 223: 49–65. 2005

ROUND, F.E.; CRAWFORD, R.M. & MANN, D.G. The diatoms. Biology and morphology of the genera. **Cambridge Press**. 1990

SCHOEMAN, F. R. A Systematical and ecological study of the diatom flora of Lesotho with special reference to water quality. **R Printers**, Pretoria, South Africa. 1973

SERIEYSSOL, K., CHATELARD, S., CUBIZOLLE, H. Diatom fossils in mires: a protocol for extraction, preparation and analysis in palaeoenvironmental studies. **Mires and Peat** 7: Art. 12. 2011 (Online: <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map07/map0712.php>)

SILVA, F. S., LAUT, V. M., LAUT, L. L., & Jr, A. G. d. F. Modern Diatom Distributions in Guanabara Bay Sediment and Oceanic Areas, Rio de Janeiro (Brazil). **Anuário do Instituto de Geociências**. 2011

SILVEIRA I.C.A., BERNARDO P.S., LAZANEO C.Z., AMORIM J.P.M., BORGES-SILVA M., MARTINS R.C., SANTOS D.M.C., DOTTORI M., BELO W.C., MARTINS R.P., GUERRA L.A.A. & MOREIRA D.L. Oceanographic conditions of the continental slope and deep waters in Santos Basin: the SANSED cruise (winter 2019). **Ocean and Coastal Research** 71 Suppl. 3: e2306icas. 2023

SIMONSEN R. The diatom plankton of the Indian Ocean Expedition of R/V Meteor 1964–1965. **Meteor-Forsch.Ergeb., D Biol.** 19: 1–107. 1974.

SMETACEK, V. Making sense of ocean biota: How evolution and biodiversity of land organisms differ from that of the plankton. **J Biosci**, v.37, cap. 4, pp.589-607. 2012

TRÉGUER, P. J., DE LA ROCHA, C.L. The world ocean silica cycle. **Annu Rev Mar Sci**. v. 5, pp. 477-501. 2013

TROBAJO, R., MANN, D.G., CHEPURNOV, V.A., CLAVERO, E. & COX, E.J. Taxonomy, life cycle and auxosporulation in *Nitzschia fonticola*. **Journal of Phycology**, v. 42 pp.1353–1372. 2006

VAN DOLAH, F.M. Marine algal toxins: origins, health effects, and their increased occurrence. **Environmental Health Perspectives**, v. 108, pp. 133-141. 2000

