

Alexandre Vanderli Berri

A INFLUÊNCIA DAS FEIÇÕES OCEANOGRÁFICAS NA  
DISTRIBUIÇÃO PICOPLANCTÔNICA AUTOTRÓFICA NA  
PLATAFORMA SUL/SUDESTE DO BRASIL

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós Graduação em Oceanografia da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de  
Mestre em Oceanografia  
Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Alessandra  
Larissa D'Oliveira Fonseca  
Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria  
Luiza Schmitz Fontes

Florianópolis  
2018

Berri, Alexandre  
A INFLUÊNCIA DAS FEIÇÕES OCEANOGRÁFICAS NA  
DISTRIBUIÇÃO PICOPLANCTÔNICA AUTOTRÓFICA NA  
PLATAFORMA SUL/SUDESTE DO BRASIL / Alexandre Berri  
; Orientadora, Alessandra Larissa D'Oliveira  
Fonseca, orientador, Maria Luiza Schmitz Fontes, 2018.  
75 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e  
Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Florianópolis,  
2018.

Inclui referências.

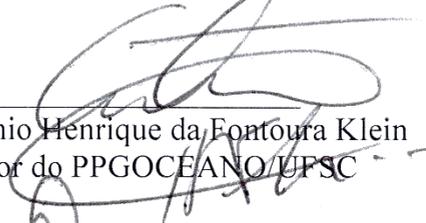
1. Oceanografia. 2. Picoplâncton. 3. Feições Oceanográficas. 4. Plataforma Continental.  
I. Fonseca, Alessandra Larissa D'Oliveira. II. Fontes,  
Maria Luiza Schmitz III. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Alexandre Vanderli Berri

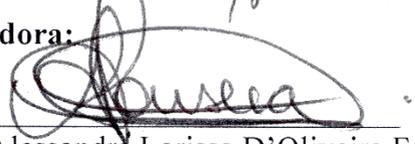
**A influência das feições oceanográficas na  
distribuição picoplanctônica autotrófica na  
plataforma sul/sudeste do Brasil**

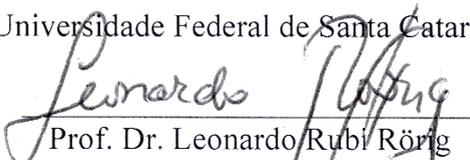
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Oceanografia”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Oceanografia.

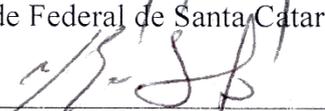
Florianópolis, 14 de março de 2018.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein  
Coordenador do PPGOCEANO/UFSC

**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr.ª Alessandra Larissa D'Oliveira Fonseca  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leonardo Rubi Rörig  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Hugo Miguel Preto de Moraes Sarmento  
Universidade Federal de São Carlos



Este trabalho é dedicado aos meus avós que foram uma base forte e uma inspiração para seguir na luta pela minha formação.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à minha família pelo apoio incondicional durante todos estes anos garimpando meus objetivos. A meus pais pela confiança e paciência. À minha mãe, em especial, por todo o apoio durante os momentos mais difíceis. À minha irmã pelo compartilhamento das aventuras e desventuras da vida acadêmica. Gostaria de agradecer especialmente à minha Vó Guida e meu Vô Fausto Berri e minha Tia Tere por serem pessoas iluminadas e por terem me apoiado como se fossem minhas próprias mães.

Agradeço a Angela Lessa pelo carinho, companheirismo e paciência durante os momentos mais importantes.

Gostaria também de agradecer à Maria Luiza Fontes e Alessandra Fonseca pela oportunidade, por terem aberto as portas da academia e por me ajudarem a crescer como acadêmico e profissional durante toda minha graduação. Obrigado principalmente pelo apoio na conclusão desta fase, a qual tiveram total influência.

Gostaria por fim de agradecer a todos os amigos que de certa forma ajudaram neste trabalho seja nos embarques, coletas, análises ou só por estarem do meu lado neste momento.

Agradeço a Deus por colocar todas estas pessoas no meu caminho.



## RESUMO

O ambiente da plataforma Sul/Sudeste do Brasil é bastante dinâmico, com a presença de importantes feições oceanográficas, como frentes, vórtices e zonas de ressurgência. Tais processos ajudam a disponibilizar nutrientes das camadas inferiores para a camada eufótica onde podem ser utilizados pelos organismos do plâncton como o picoplâncton, organismos menores que  $2\mu\text{m}$  compostos principalmente por cianobactérias autotróficas dos gêneros *Prochlorococcus* e *Synechococcus* e uma grande diversidade de piceucariotas. No estudo foram encontradas frentes e zonas de ressurgência na região da Plataforma Sul/Sudeste, e observou-se uma relação positiva entre a concentração do picoplâncton e as feições oceanográficas na área de estudo. Houve uma quebra no gradiente costa oceano esperado para *Synechococcus*, os quais estiveram presentes em abundância na área de Zona frontal em oceano aberto e de *Prochlorococcus*, os quais apresentaram um aumento em região costeira próximo da zona de ressurgência. Tal quebra de gradiente se deve pela presença das feições oceanográficas, que por processos físicos ou bioquímicos propiciam a concentração destes microrganismos nesta região.

**Palavras-chave:** Picoplâncton, frentes, ressurgência, *Synechococcus*, *Prochlorococcus*, citometria, processos oceanográficos.



## ABSTRACT

The environment of the South / Southeast Brazilian shelf is very dynamic, with the presence of important oceanographic features such as fronts, vortices and upwelling zones. Such processes help to provide nutrients from lower layers to the euphotic zone where they can be used by organisms such as the picoplankton, organisms smaller than 2µm composed mainly of autotrophic cyanobacteria of the genera *Prochlorococcus* and *Synechococcus* and a great diversity of picoeukariotes. In this study, fronts and resurgence zones were found in the South / Southeast Shelf region, and a positive correlation was observed between the picoplankton concentration and the oceanographic features in the study area. There was a break in the expected ocean coast gradient for *Synechococcus*, which were present in abundance in the open ocean front area and *Prochlorococcus*, which showed increasing in coastal region near the upwelling zone. Such break is due to the presence of those oceanographic features, which by physical or biochemical processes allow the high concentration of these microorganisms in this region.

**Keywords:** Picoplankton, fronts, upwelling, *Synechococcus*, *Prochlorococcus*, flow cytometry, oceanographic processes



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Região do Oceano Atlântico Sudoeste e Plataforma continental S-SE do Brasil. Destacadas os cabos de São Tomé e Santa Marta e a Lagoa dos Patos. .... 27
- Figura 2 - Exemplo de citograma com os principais grupos do picoplâncton e as microesferas de referência (Beads), células eucariota (Euk), *Prochlorococcus* (Proc), *Synechococcus* (Syn). (Marie *et al.*, 2000)..... 30
- Figura 3 – Representação geral da região de estudo (A). Estações amostrais (B). Nomes das estações: CST = Cabo de São Tomé, CF = Cabo Frio, ILB = Ilhabela, BAB = Baía da Babitonga, ITA = Itajaí, FLO = Florianópolis, CSM = Cabo de Santa Marta, TRA = Tramandaí, MOS = Mostardas, PAT = Lagoa dos Patos, CHU = Chuí. Destaca-se em vermelho os pontos amostrais com coleta de DNA e em Azul onde não houveram coletas para picoplâncton..... 34
- Figura 4 - Temperatura, em °C, na água superficial (A) e na profundidade do pico de fluorescência (B). O As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos. .... 39
- Figura 5 - Salinidade para superfície (A) e Pico de Fluorescência (B) para a área de estudo. As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos. .... 40
- Figura 6 - Fluorescência de clorofila ( $\text{mg.m}^{-3}$ ) para superfície (A) e Pico de Fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos. .... 42
- Figura 7 – Oxigênio dissolvido ( $\text{mL.L}^{-1}$ ) em superfície (A) e Pico de Fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos. .... 43
- Figura 8 - Distribuição de piceucariotas ( $\text{cel.mL}^{-1}$ ) na região de estudo em superfície (A) e no pico de fluorescência (B). As feições

	oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos. ....	48
Figura 9	- Distribuição de <i>Prochlorococcus</i> ( $\text{cel.mL}^{-1}$ ) na região de estudo em superfície (A) e no pico de fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos. ....	50
Figura 10	- Distribuição de <i>Synechococcus</i> ( $\text{cel.mL}^{-1}$ ) na região de estudo em superfície (A) e no pico de fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos. ....	52
Figura 11	- Picoplâncton total ( $\text{cel.mL}^{-1}$ ) para a superfície (A) e Pico de Fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos. ....	54
Figura 12	- Biomassa ( $\text{fgC.mL}^{-1}$ ) de <i>Prochlorococcus</i> para superfície (A) e pico de fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos. ....	56
Figura 13	- Biomassa de <i>Synechococcus</i> em superfície (A) e Pico de Fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos. ....	58
Figura 14	- Biomassa de piceocariotas em superfície (A) e no pico de fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão destacadas com um círculo. ....	60
Figura 15	- Principais filos agrupados no eixo costa/oceano para o transecto de Mostardas (MOS). A seta representada indica a distribuição longitudinal das amostras da mais costeira (Inshore) à mais oceânica (Offshore).....	62

Figura 16 - Contribuição das principais classes para todos os pontos amostrais com análise de DNA. ....	63
Figura 17 - Contribuição relativa dos principais gêneros de Cyanobacteria no transecto de Mostardas (MOS). A seta representada indica a distribuição longitudinal das amostras da mais costeira (Inshore) à mais oceânica (Offshore) .....	64
Figura 18 - MDS dos dados abióticos (A) e bióticos (B), na superfície (o) e pico de fluorescência (•). Sendo Depht = Profundidade, OD = Oxigênio Dissolvido, Chlor = Clorofila <i>a</i> , NH = Amonio, NO3 = Nitrato, NO2 = Nitrito, PO4= Fosfato, SiOH = Silicato, Temp = Temperatura, Sal = Salinidade, pH = pH, Picoeuc = Picoeucariotas, Synec = Synechococcus, Prochlor = Prochlorococcus e V4 é fluorescência.....	65



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Média ( $\pm$  desvio padrão) das concentrações de nutrientes e do carbono orgânico dissolvido (DOC) na Superfície (A) e Pico de Fluorescência (C), de acordo com o n amostral por transecto:  
CST = Cabo de São Tomé, CF = Cabo Frio, ILB = Ilhabela,  
BAB = Baía da Babitonga, ITA = Itajaí, FLO = Florianópolis,  
CSM = Cabo de Santa Marta, TRA = Tramandaí, MOS =  
Mostardas, PAT = Lagoa dos Patos, CHU = Chuí..... 45
- Tabela 2- Abundância relativa dos 3 filos predominantes nas amostras,  
sendo os transectos PAT = Lagoa dos Patos, MOS = Mostardas,  
CSM = Cabo de Santa Marta e FLO = Florianópolis. .... 61



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu\text{gC}$  – Micrograma de Carbono  
 $\mu\text{M}$  – Micro Molar  
 $p\text{CO}_2$  – Pressão parcial de  $\text{CO}_2$   
ACAS – Água Central do Atlântico Sul  
BAB – Transecto de Babitonga  
CB – Corrente do Brasil  
CF – Transecto de Cabo Frio  
Chl-a – Clorofila a  
CHU – Transecto de Chuí  
CNPq - Conselho Brasileiro para o Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia  
COD – Carbono Orgânico Dissolvido  
CSM – Transecto de Santa Marta  
CST – Transecto do Cabo de São Tomé  
DIN – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido  
DIP – Fosfato Inorgânico Dissolvido  
DO – Oxigênio Dissolvido  
DOM – Matéria Orgânica Dissolvida  
FLO – Transecto de Florianópolis  
ILB – Transecto de Ilhabela  
ITA – Transecto de Itajaí  
LAMEB - Laboratório Multiusuário de Estudos em Biologia  
MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia  
MOS – Transecto de Mostardas  
NHOc – Navio Hidro Oceanográfico  
N-NE – Norte - Nordeste  
PAT – Transecto da Lagoa dos Patos  
PC – Plataforma Continental  
S-SE - Sul-Sudeste  
TRA – Transecto de Tramandaí



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>24</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO E DA METODOLOGIA DE CITOMETRIA DE FLUXO .....</b>	<b>27</b>
2.1	ÁREA DE ESTUDO .....	27
<b>3</b>	<b>QUANTIFICAÇÃO DO PICOPLÂNTON POR CITOMETRIA DE FLUXO.....</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>INÍCIO DO ARTIGO CIENTÍFICO: .....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
6.1	ÁREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM.....	33
6.2	CITOMETRIA DE FLUXO.....	35
6.3	CÁLCULO DE BIOMASSA .....	36
6.4	DNA PROCARIÓTICO E SEQUENCIAMENTO DO GENE RIBOSSOMAL 16S.....	36
6.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	37
<b>7</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
7.1	VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS E FEIÇÕES OCEANOGRÁFICAS.....	38
7.2	NUTRIENTES .....	44
7.3	PICOFITOPLÂNTON.....	47
<b>7.3.1</b>	<b>Abundância .....</b>	<b>47</b>
<b>7.3.2</b>	<b>Biomassa .....</b>	<b>53</b>
7.4	DNA E 16S DE PROCARIOTAS .....	61
7.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	65
<b>8</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>70</b>
<b>10</b>	<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>71</b>
<b>11</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>



## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Ao contrário do ambiente terrestre, no qual a produção primária se dá principalmente por plantas vasculares, nos oceanos a produção primária é predominantemente realizada por microalgas que constituem o fitoplâncton marinho (Smetacek, 1999). A produção primária anual nos oceanos e nos ambientes terrestres é similar, onde estimativas mostram uma produção de cerca de 50Pg de carbono por ano por cada um deles (Field, 1998). Apesar dos produtores primários dos oceanos serem responsáveis pela metade da produção primária no planeta, estes constituem apenas 0,2% da biomassa produtora global (Falkowski e Raven, 1997; Field *et al.*, 1998), mostrando, deste modo, que a eficiência da produção primária e a fixação de carbono dos micro-organismos marinhos é extremamente superior em eficiência, quando considerada a produção primária por biomassa.

Inicialmente, até meados da década de 70, foi creditado ao fitoplâncton eucariota o papel de maior contribuinte da produção global dos oceanos, principalmente devido à restrição metodológica, pois somente a microscopia convencional era disponível até então, o que fez com que os organismos do picoplâncton fossem ignorados (Sigman e Hain, 2012). Estudos de Lawrence Pomeroy (1974), Hobbie *et al.* (1977) e Farooq Azam *et al.* (1983) mudaram esse paradigma de que a base da cadeia alimentar marinha era exclusivamente microfítotoplanctônica e de que bactérias e protozoários exercem sim um papel ecológico muito maior do que decompositores exclusivos, eles reintroduzem o carbono nas teias biológicas a partir da assimilação do carbono orgânico dissolvido, este processo ficou conhecido como “Bacterial Loop” (Azam *et al.*, 1983; Frenchel, 1988; Frenchel, 2008) e representou uma nova era na pesquisa microbiológica dos oceanos. Essa mudança de paradigma ocorreu entre o final da década de 70 e o início dos anos 80, graças ao advento de novas técnicas de contagem de células e de estimativa de produção secundária microbiana (<20µm), e.g. microscopia de epifluorescência (Porter e Feig, 1981) e utilização de isótopos para estimativa de produção bacteriana (Kirchman *et al.*, 1983).

Com isto, se começa a investigar o “invisível”, micro-organismos pertencentes ao picoplâncton, como chave no entendimento da cadeia alimentar dos oceanos. Houve então uma cascata de descobertas, destacando-se a descrição do gênero *Prochlorococcus* (Chrisholm *et al.*, 1988). Assim o picoplâncton autotrófico, antes desconhecido, passou a

ser responsável por 60-90% da produção primária marinha, sendo constituído principalmente por cianobactérias dos gêneros *Prochlorococcus* e *Synechococcus* e uma grande diversidade de piceocariotas (Sieburth *et al.*, 1978; Crisholm *et al.*, 1988; Shi *et al.*, 2009).

Como o ambiente pelágico marinho é classificado espacialmente em regiões de acordo com profundidade e distância da costa, espera-se que o picoplâncton também apresente distribuição diferenciada de acordo com características de cada região. Dentre as regiões dos oceanos, as plataformas continentais são responsáveis por até 25% da produtividade primária global marinha (Wollast *et al.*, 1998), o que equivale a uma produção de 15 PgC.ano<sup>-1</sup> (Rousseaux e Gregg, 2014). No entanto, estas áreas ocupam somente 7-10% da área total dos oceanos (Laruelle *et al.*, 2013).

As plataformas continentais apresentam uma grande dinâmica de processos hidrográficos temporal e espacialmente, o que torna os estudos biológicos extremamente complexos e dinâmicos. Essa dinâmica ocorre em função da presença comum de feições horizontais de mesoescala como frentes, que promovem maiores interações entre a biota e o ambiente físico (Le Fèvre, 1986). Os padrões de distribuição dos organismos planctônicos são modificados pela presença dessas frentes, cujas forçantes primárias são ventos, marés, aportes de água doce. O contato entre distintas massas de água faz destas regiões verdadeiros oásis nos oceanos oligotróficos (Acha *et al.*, 2015).

Frentes de plataforma e de quebra de plataforma, zonas de ressurgência, vórtices e meandros são feições constantes e bem descritas na região sul e sudeste do Brasil (Pereira *et al.*, 2009; Piola *et al.*, 2008; Castro, 2005). Tem sido mostrado que organismos planctônicos tendem a se acumular nessas regiões e a estrutura da comunidade se modifica dentro e fora de regiões frontais e de ressurgência (Acha *et al.*, 2015).

As zonas de ressurgências costeiras têm grande importância no controle dos fluxos de carbono entre o oceano e a atmosfera. Inicialmente com a intrusão de uma água mais rica em CO<sub>2</sub> e nutrientes há uma intensa produção primária, diminuindo a concentração de CO<sub>2</sub> por fixação através da produção primária, tendendo a um aumento nas concentrações de oxigênio (Le Fèvre *et al.*, 2002). Este quadro tende a inverter-se com a senescência da comunidade de produtores e do consumo de níveis tróficos maiores, havendo uma maior respiração e emissão de CO<sub>2</sub> (Chen-Tung e Borges, 2009).

No Brasil, as principais zonas de ressurgência são as do Cabo de Santa Marta, Cabo Frio e Cabo de São Tomé. A presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na região da plataforma continental do Rio de Janeiro parece exercer grande influência no aumento de organismos picoautotróficos quando estas águas atingem a zona eufótica (Moser *et al.*, 2016). Este enriquecimento picoplanctônico pode ainda estar diretamente relacionado aos fluxos de CO<sub>2</sub> observados na mesma região durante o verão (Ito *et al.*, 2016).

Sabe-se que nos oceanos oligotróficos, a contribuição do picoplâncton é de majoritária importância, por outro lado, nos oceanos costeiros e zonas de ressurgência a contribuição destes microorganismos ainda não é muito clara. Informações detalhadas sobre esse acoplamento físico-biológico são ainda raras para a costa brasileira, devido a estratégias de amostragem com cobertura espaciais e temporais inadequadas para o estudo de processos como ressurgências na quebra da plataforma associadas aos vórtices e aos meandros da Corrente do Brasil (CB) (Lopes *et al.*, 2006).

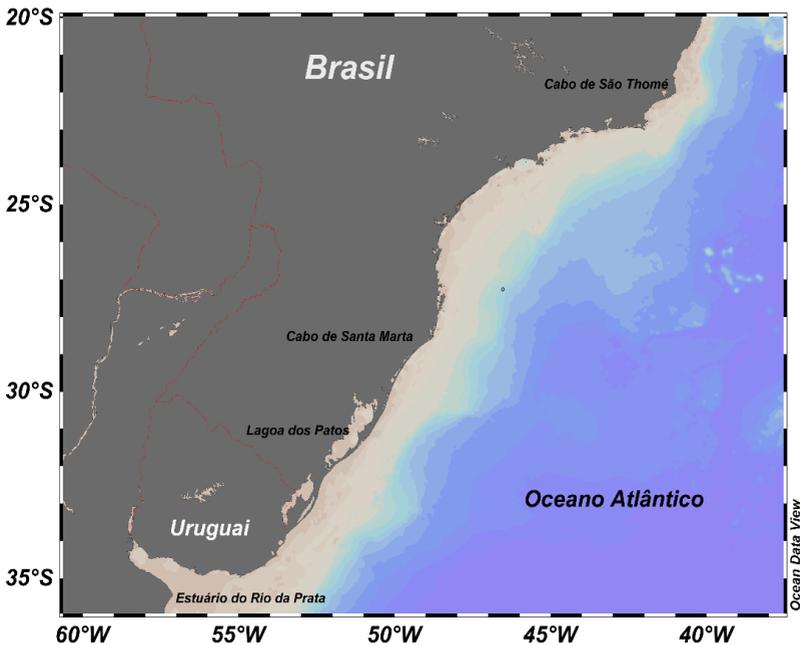
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO E DA METODOLOGIA DE CITOMETRIA DE FLUXO

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo está localizada na porção Sudoeste do Oceano Atlântico Sul, na plataforma continental e talude entre 21,5°S e 35°S de latitude, chamada plataforma Sul-Sudeste do Brasil (Figura 1).

A plataforma Sul/Sudeste do Brasil é uma região bastante dinâmica, influenciada por padrões de circulação atmosférica e desembocadura de estuários de médio e grande porte (Piola *et al.*, 2004; Moller *et al.*, 2008; Piola *et al.*, 2008a; Piola *et al.*, 2008b; Campos *et al.*, 2013; Brandini *et al.*, 2014).

Figura 1 – Região do Oceano Atlântico Sudoeste e Plataforma continental S-SE do Brasil. Destacadas os cabos de São Tomé e Santa Marta e a Lagoa dos Patos.



Há um comportamento sazonal bem definido, cuja principal forçante é a mudança nos regimes de ventos (Moller *et al.*, 2008). Durante o inverno há uma predominância de ventos do quadrante S-SO,

intensificado pela maior abrangência de frentes frias. A predominância de ventos do quadrante S-SO aumenta consideravelmente a penetração de águas mais frias vindas de Sul, da região da desembocadura do rio da Prata, no Uruguai, vindo a se misturar com águas da desembocadura da Lagoa dos Patos e podendo chegar a latitudes em torno de 25° (Piola *et al.*, 2004; Moller *et al.*, 2008; Piola *et al.*, 2008a; Piola *et al.*, 2008b; Campos *et al.*, 2013; Brandini *et al.*, 2014). Esta água mais fria vinda do Sul possui grande importância para a produtividade primária, enriquecendo as águas ao longo da plataforma S/SE brasileira com nutrientes, principalmente fosfato e silicato (Braga *et al.*, 2008).

Já no verão, o comportamento do padrão de ventos é inverso, uma vez que a menor pressão das massas de ar polares faz com que haja uma menor incidência de ventos de S/SO. Deste modo, há a predominância de ventos de N/NE. Os ventos do quadrante norte influenciam a penetração de águas da Corrente do Brasil mais quentes e pobres em nutrientes sobre a água superficial da plataforma (Braga *et al.*, 2008), além de impedir que águas mais frias de Sul avancem pela costa brasileira (Piola *et al.*, 2004; Moller *et al.*, 2008; Piola *et al.*, 2008a; Piola *et al.*, 2008b; Campos *et al.*, 2013; Brandini *et al.*, 2014, Acha, 2004).

Apesar de eventos como vórtices, meandros e frentes serem encontrados durante todo o ano na região (Pereira *et al.*, 2009, Brandini *et al.*, 2014; Acha, 2004) é notável a importância dos ventos de N/NE para promover a ressurgência costeira. A associação dos ventos e da morfologia da costa faz com que as regiões de Cabo Frio e Cabo de Santa Marta sejam as principais regiões onde este fenômeno seja observado durante o verão e primavera (Castro *et al.*, 2005, Ito *et al.*, 2016, Odebrecht, 1996). Estas regiões são importantes para a pesca e dinâmicas com relação ao fluxo de CO<sub>2</sub> na interface água-atmosfera (Ito, *et al.*, 2016)

### 3 QUANTIFICAÇÃO DO PICOPLÂNCTON POR CITOMETRIA DE FLUXO

A partir dos avanços das últimas décadas do século passado observou-se que os organismos picofitoplanctônicos procariotas, mais especificamente dos gêneros *Synechococcus* e *Prochlorococcus*, são os grandes representantes da produtividade primária nos oceanos, superando majoritariamente em número e biomassa os outros constituintes do fitoplâncton em regiões tropicais e subtropicais, comumente oligotróficas (Waterbury *et al.* 1979, Chisholm *et al.*, 1988).

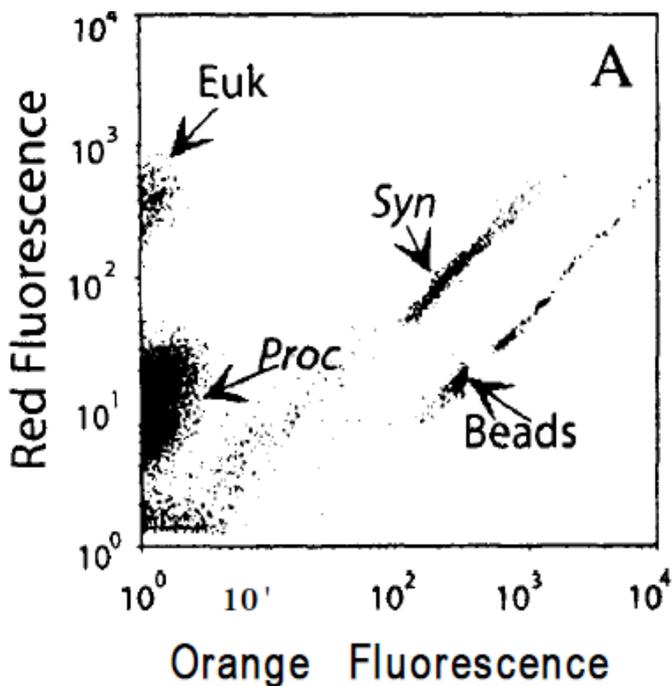
O picoplâncton está presente em todos os meios aquáticos e é caracterizado por organismos com tamanho menor que 2  $\mu\text{m}$ , já o picofitoplâncton, representando a menor parte do fitoplâncton descrito até o momento, são os organismos picoplanctônicos que realizam a produção primária. Estes organismos são divididos em 3 principais grupos: *Prochlorococcus*, *Synechococcus* e os piceoeucariotas. Estes pequenos organismos dominam a biomassa no oceano aberto, com concentrações respectivas de  $10^5$  a  $10^3$ ,  $10^5$  a  $10^3$  e  $10^4$  a  $10^2$  células por ml (Marie *et al.*, 2000).

Estudos do picoplâncton tanto autotrófico quanto heterotrófico na costa brasileira são ainda raros e pontuais (Moser *et al.*, 2016, Fontes *et al.*, 2018, Berri *et al.*, submitted, Rigonato *et al.*, 2016; Bergo *et al.*, 2017). Tais estudos buscam caracterizar os principais grupos do picoplâncton e correlacionam-se com os padrões de distribuição encontrados globalmente nos oceanos tropicais.

A contagem de células em citometria de fluxo de organismos autotróficos se baseia na autofluorescência dos pigmentos fotossintéticos que fluorescem em comprimentos de onda diferenciados quando excitados por uma fonte luminosa de comprimento de onda conhecido (Marie, *et al.*, 2000). Cada célula passa por um capilar, sendo excitada por uma fonte luminosa e o sinal da fluorescência é recebido e identificado por diversos sensores específicos que o transforma em um citograma (Figura 2). Deste modo, o citômetro além de efetuar a contagem (número de eventos) também separa qualitativamente os organismos constituintes do picoplâncton, oferecendo suporte para análises mais robustas como estimativas mais rápidas e precisas de abundância de células e estimativas de distribuição de grupos específicos na coluna da água.

Os gêneros *Prochlorococcus* e *Synechococcus* são os principais gêneros representativos do picoplâncton e apresentam em seu aparato fotossintético clorofila-*a* e -*b*. A diferenciação entre estes organismos ocorre pelo fato de apenas o gênero *Synechococcus* possuir pigmentos acessórios chamados de ficobilinas (Ting *et al.*, 2002). Assim, a separação dos dois grupos no citograma se dá pela observação dos sinais captados pela fluorescência deste pigmento acessório (Marie *et al.*, 2000). A diferenciação dos picoeucariotas se dá pelo seu maior tamanho e maior fluorescência da clorofila-*a* em relação ao grupo dos *Prochlorococcus* (Figura 2).

Figura 2 - Exemplo de citograma com os principais grupos do picoplâncton e as microesferas de referência (Beads), células eucariota (Euk), *Prochlorococcus* (Proc), *Synechococcus* (Syn). (Marie *et al.*, 2000)



#### 4 INÍCIO DO ARTIGO CIENTÍFICO:

### “A INFLUÊNCIA DAS FEIÇÕES OCEANOGRÁFICAS NA DISTRIBUIÇÃO PICOPLÂNTÔNICA AUTOTRÓFICA NA PLATAFORMA SUL/SUDESTE DO BRASIL”

Alexandre Berri, Maria Luiza S. Fontes e Alessandra L. D’Oliveira Fonseca

Deste ponto em diante segue inserção na íntegra do artigo científico submetido à revista científica *Brazilian Journal of Oceanography* conforme a resolução do programa de Pós Graduação em Oceanografia UFSC.

#### 5 INTRODUÇÃO

A região do oceânico Atlântico sudoeste é uma região bastante dinâmica, apresentando feições oceanográficas como frentes, zonas de ressurgência, meandros e vórtices ao longo de toda a sua extensão (Ito, 2016; Lopes *et al.*, 2006; Piola *et al.*, 2008; Castro, 2005). Durante os meses de verão é comum a intrusão de águas mais frias e ricas em nutrientes da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) nas zonas de ressurgência de Santa Marta e Cabo Frio pela intensificação dos ventos de NE na região (Castro *et al.*, 2006), que pelo transporte de Ekman empurram as águas superficiais mais quentes e pobres em nutrientes para oceano aberto e propiciam a intrusão de uma água mais fria e rica em nutrientes (Moller *et al.*, 2008).

Estas águas mais frias intensificam o aporte de nutrientes para a zona fótica, aumentando a produção do picoplâncton (Brandini *et al.*, 2014 e Bergo *et al.*, 2017). Além disto, as frentes formadas pela intrusão de águas superficiais mais frias vindas do Sul e de águas menos salinas da região da Foz do Rio da Prata são importantes formadores de frentes térmicas e halinas na região mais ao Sul (Campos *et al.* 2013; Brandini *et al.*, 2014, Acha, 2015), principalmente no inverno associado a ventos do quadrante sul. Apesar de tais feições serem bem descritas e estudadas na região, estudos visando o entendimento sobre a correlação entre estas feições oceanográficas e o picoplâncton autotrófico ainda são poucos e de baixa cobertura espacial e temporal. (Bergo, 2017; Ribeiro, 2016a; Gregoracci, 2015; Berri *et al.*, submetido; Fontes *et al.*, 2018)

O picoplâncton autotrófico ocupa lugar de destaque na teia trófica dos oceanos, sendo o principal contribuinte na produção primária nos oceanos, principalmente nas regiões oligotróficas (Shi *et al.*, 2009), Os

três principais constituintes do picoplâncton autotrófico, *Prochlorococcus*, *Synechococcus* e picoeucariotas representam a maior parte da produção primária nos oceanos oligotróficos das médias e baixas latitudes, assim como tem importante participação na ciclagem de carbono nos oceanos e produzem uma grande influência nas relações ecológicas e na ciclagem de nutrientes nestas regiões (Grob *et al.*, 2007; Lin, 2012; Bell e Kalf, 2001; Murrell e Lores, 2004; Gaulke *et al.*, 2010). O entendimento da resposta destes organismos a sistemas costeiros e oceânicos como frentes, zonas de ressurgência, desembocaduras de estuários é de suma importância em vários aspectos ecológicos e até econômicos. (Acha, 2015).

Buscando correlacionar os dados encontrados com informações globais, o presente estudo pretende caracterizar o picoplâncton autotrófico da plataforma e do talude da região Sul/Sudeste do Brasil, relacionando-o às feições oceanográficas e aos dados físico-químicos da coluna da água. Espera-se que as feições oceanográficas promovam uma maior concentração e biomassa do picoplâncton autotrófico, avaliado pela citometria de fluxo e pelo DNA bacteriano, por funcionarem como acumuladores destes organismos por fenômenos biogeoquímicos ou físicos.

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

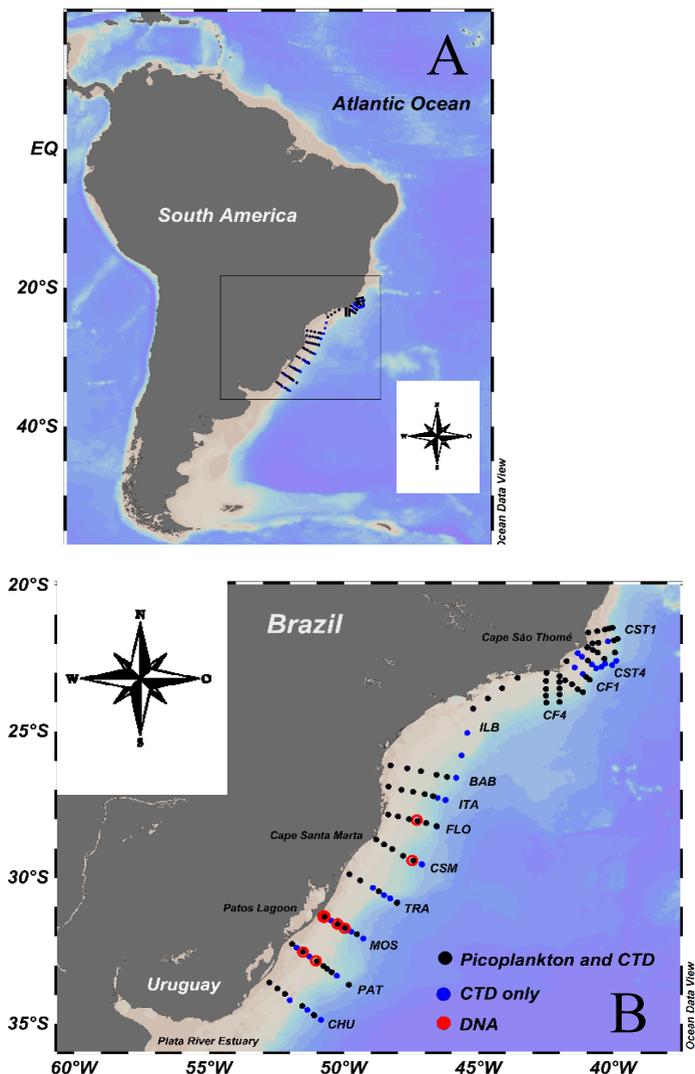
### 6.1 ÁREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM

Como o objetivo principal do trabalho foi descrever a distribuição do picoplâncton autotrófico sobre a plataforma continental S-SE do Brasil e sua correlação com as feições oceanográficas da região como frentes e ressurgências, foram realizadas expedições oceanográficas entre os meses de Dezembro de 2010 e Janeiro de 2011, no verão austral, a bordo do NHOc. Cruzeiro do Sul da Marinha do Brasil entre as latitudes de 34°S e 21°S, totalizando 16 transectos transversais à linha de costa e 108 pontos amostrais (Figura 3).

Para evidenciar as massas d'água presentes na região de estudo, foram utilizados os intervalos termohalinos propostos por Piola *et al.* (2000) e Moller *et al.* (2008). As zonas de ressurgência foram identificadas quando observada a intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na zona eufótica. Já a delimitação da zona frontal utilizada foi baseada nos critérios propostos por Fedorov (1983) que assume valores de gradientes para regiões frontais em duas ordens de grandeza maiores do que os gradientes médios. Para regiões tropicais e temperadas os gradientes médios variam entre  $2 \times 10^{-3}$  e  $4 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C km}^{-1}$  (Fedorov, 1983). Deste modo, o gradiente mínimo para detecção de frentes foi de  $0,2 \text{ } ^\circ\text{C km}^{-1}$ . O trabalho de Ito (2016) realizado durante o mesmo cruzeiro oceanográfico também foi utilizado para auxiliar na delimitação das feições oceanográficas.

As amostras de água em cada ponto amostral foram coletadas com o auxílio de garrafas de Niskin acopladas ao sistema de Rosette/CTD (SBE911p, Sea-BirdInc.) com diversos sensores acoplados (temperatura, salinidade, pressão, oxigênio dissolvido, fluorescência) auxiliando na seleção das amostras discretas de água.

Figura 3 – Representação geral da região de estudo (A). Estações amostrais (B). Nomes das estações: CST = Cabo de São Tomé, CF = Cabo Frio, ILB = Ilhabela, BAB = Baía da Babitonga, ITA = Itajaí, FLO = Florianópolis, CSM = Cabo de Santa Marta, TRA = Tramandaí, MOS = Mostardas, PAT = Lagoa dos Patos, CHU = Chuí. Destaca-se em vermelho os pontos amostrais com coleta de DNA e em Azul onde não houveram coletas para picoplâncton.



As amostras de água na superfície (A) e no pico de fluorescência (C) foram amostradas para análise dos descritores químicos e biológicos. .

Alíquotas de água para nutrientes (NID – nitrito, nitrato e amônio; DIP e silicato) e carbono orgânico dissolvido (COD) foram filtradas em filtros de fibra de vidro Whatman GF/F e preservadas a -20 °C. As análises de nutrientes foram realizadas por colorimetria num analisador automático por análise por injeção em fluxo (FIA) fabricado pela FOSS modelo FiaStar 5000.

Outras cinco alíquotas, de cerca de 2 mL, de cada amostra foram fixadas com glutaraldeído 1% (concentração final) em campo e rapidamente congeladas em nitrogênio líquido. Posteriormente, foram transferidas para freezer (-80°C) até o preparo das amostras para contagem de células em citometria em fluxo, no laboratório (mais detalhes abaixo).

Outras alíquotas de 500 mL foram filtradas em filtros de membrana com porosidade de 0.2 µm (Millipore) e estes mantidos em criotubos de 2mL e transferidos para nitrogênio líquido até armazenamento em -80°C, em laboratório. No entanto, foram selecionadas somente sete amostras superficiais e representativas da região sul a fim de representar a comunidade microbiana desta região.

## 6.2 CITOMETRIA DE FLUXO

As análises citométricas, ou obtenção dos dados brutos, foram realizadas no citômetro de fluxo BD FACS-Canto II presente no Laboratório Multiusuário de Estudos em Biologia (LAMEB) - Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Para tanto, cada alíquota foi previamente preparada para análise de citometria em fluxo adicionando-se uma concentração conhecida de microesferas de referência coradas de 1µm de tamanho (BD Biosciences), agitadas e a autofluorescência de cada grupo avaliada de acordo com Marie *et al.* (1997).

O processamento dos arquivos gerados foi realizado com o auxílio do software livre Cyflogic (CyFlo Ltd. FI), específico para contagem de células e identificação dos grupos de picofitoplâncton: *Synechococcus* sp., *Prochlorococcus* sp. e piceocariotas, de acordo com Marie *et al.* (1997, 2000). O tempo de aquisição dos dados de cada amostra foi constante, 90s, sob uma taxa de aquisição de 0.826 µLs<sup>-1</sup>.

Após as delimitações dos principais grupos, a sua abundância em células mL<sup>-1</sup> foi calculada utilizando-se a fórmula seguinte.

$$C_{pop} = \frac{N_{pop}}{R * T} * \left( \frac{V_{tot}}{V_{samp}} \right) * 1000$$

Onde:  $C_{pop}$  = Abundância ou concentração, em cels mL<sup>-1</sup>,  $N_{pop}$  = número de eventos (= células),  $R$  = taxa de aquisição dos dados, em  $\mu\text{L s}^{-1}$ ,  $T$  = tempo de aquisição, em s,  $V_{tot}/V_{samp}$  = diluição da amostra.

A distribuição da abundância de cada grupo picofitoplantônico foi mostrada em interpolações horizontais feitas no software livre “*Ocean Data View*” (ODV 4.7.7) (Schlitzer, 2016).

### 6.3 CÁLCULO DE BIOMASSA

Os valores de biomassa bacteriana em fgC.ml<sup>-1</sup> foram calculados baseados nos fatores de 60fgC.cel<sup>-1</sup> para *Prochlorococcus* e 200fgC.cel<sup>-1</sup> para *Synechococcus* (Charpy *et al.*, 1999) e 1500fgC.cel<sup>-1</sup> para os Picoeucariotas (Zubkov, 1998).

### 6.4 DNA PROCARIÓTICO E SEQUENCIAMENTO DO GENE RIBOSSOMAL 16S

DNA concentrado nos filtros foi extraído com auxílio do DNA Isolation Kit (MO BIO Laboratories, Inc., USA), seguindo o protocolo do fabricante e adicionando-se uma etapa prévia de pré-aquecimento em banho-maria (65°C) por 10 minutos. O DNA foi quantificado em fluorômetro Qubit® 2.0 antes da amplificação do gene 16S e posteriormente o sequenciamento paired-end foi realizado nas instalações da Neoprospecta pela plataforma Illumina Miseq.

Posteriormente, as amostras de DNA extraído foram mantidas em freezer -80°C até serem enviadas para sequenciamento. A região do DNA amplificada anteriormente ao sequenciamento pela plataforma de *paired-reads* Illumina Miseq foi o fragmento multivariável V3-V4 do gene procariótico 16S RNA usando-se os *primers* (U341F e 806R), (Takahashi *et al.*, 2014) e resultando em amplicons de aproximadamente 400 pares de bases (bp).

As análises computacionais usadas foram: os fragmentos de gene F e R foram agrupados no software *PEAR 0.9.10* e somente sequências agrupadas com alta qualidade foram consideradas (Zhang *et al.*, 2014). As análises das sequências foram realizadas de acordo com o workflow modificado do BMPOS (Brazilian Microbiome Project Operational System) (Pylro *et al.*, 2016) usando-se os softwares *QIIME* (Quantitative Insights Into Microbial Ecology) 1.9.1 (Caporaso *et al.*, 2010) e *USEARCH7* (Edgar, 2013)

O parâmetro utilizado de similaridade das unidades taxonômicas operacionais (OTUs) foi de 97% e então classificadas taxonomicamente usando-se a base de dados SILVA 119 (Quast *et al.*, 2013) e a tabela BIOM gerada foi normalizada pela amostra com menor número de OTUs.

## 6.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram realizadas duas análises de “multidimensional scaling” (MDS) (uma para dados de picoplâncton autotrófico e outra para dados abióticos) para verificar presença de agrupamentos espaciais entre as amostras superficiais e de pico de fluorescência, utilizando o software PRIMER 6.0 (Clarke e Gorley, 2006). Previamente às análises, os dados foram transformados e matrizes de similaridade construídas utilizando os métodos de Bray-Curtis para dados biológicos e distancia euclidiana para abióticos. Além disso, a análise de correlação de Spearman entre os descritores foi realizada e plotada sobre o MDS para determinar as principais variáveis reguladoras da abundância do picoplâncton autotrófico.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS E FEIÇÕES OCEANOGRÁFICAS

Um gradiente crescente de temperatura foi observado no eixo sul-norte da PCS-SE, exceto nas ressurgências e frentes, tanto para águas superficiais quanto para a profundidade do pico de fluorescência. O menor valor de temperatura (14,70°C) foi encontrado no pico de fluorescência à 35m de profundidade na isóbata de 1000m do transecto de Chuí. Já para as águas superficiais, o menor valor (19,41°C) foi encontrado no ponto mais costeiro deste mesmo transecto. A maior temperatura foi encontrada na costa do Rio de Janeiro (26,87°C) em água superficial da isóbata de 1200m no transecto de São Tomé.

As zonas de ressurgência foram identificadas para as regiões de Cabo de Santa Marta e de Cabo Frio, que apresentaram águas até 3,00°C mais frias do que os pontos adjacentes. A região de ressurgência do Cabo de Santa Marta apresentou águas superficiais cerca de 2°C mais frias em relação à zona de ressurgência identificada na costa do Rio de Janeiro.

Os menores valores de salinidade (Figura 5) foram encontrados no transecto mais ao Sul (Chuí), com mínimo de 28,90 em superfície no ponto mais costeiro. Já o máximo foi 36,94 a 63m de profundidade, na isóbata de 1700m do transecto da Ilha de Florianópolis. Em geral, as regiões costeiras apresentaram menores valores de salinidade em relação às oceânicas. As regiões próximas das zonas de ressurgência apresentaram um leve incremento da salinidade em relação aos pontos próximos em torno de 0,3.

Além das zonas de ressurgência, uma frente térmica foi observada entre as isóbatas de 90m e 500m no transecto Lagoa dos Patos (Figura 4), na região da quebra de plataforma/talude. Outras duas feições oceanográficas foram observadas (Figura 4) uma frente no transecto mais austral, entre as isóbatas de 1000m e 2700m no talude, e um vórtice na região mais externa, já no talude da plataforma entre 900m e 1800m nos pontos mais externos dos transectos da costa do Rio de Janeiro, contudo amostras de picoplâncton não foram coletadas nesta última feição.

Figura 4 - Temperatura, em °C, na água superficial (A) e na profundidade do pico de fluorescência (B). O As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos.

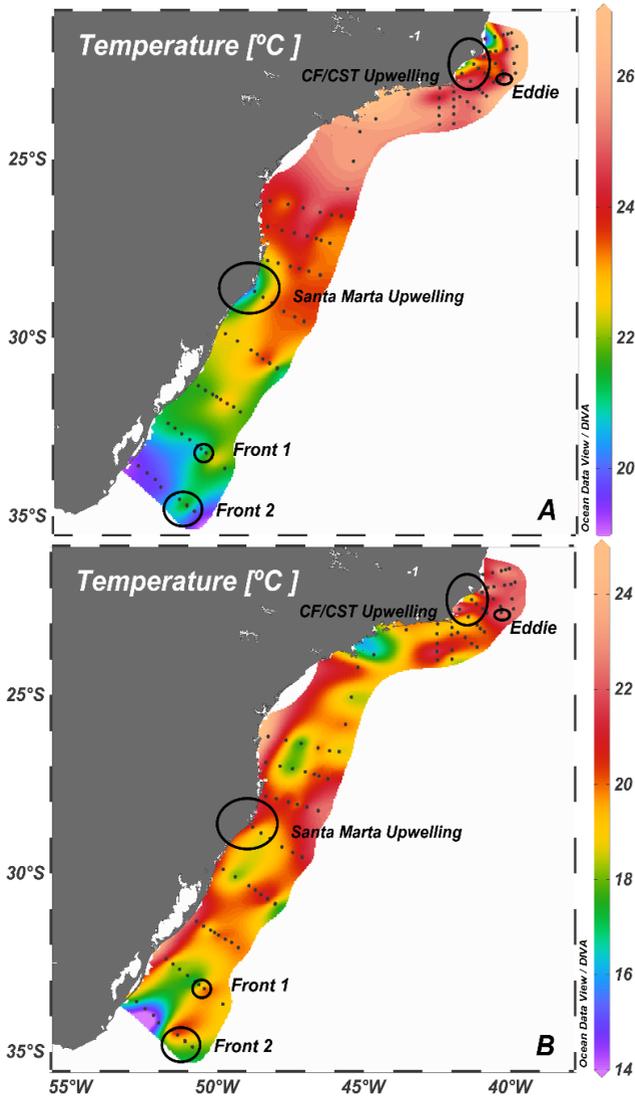
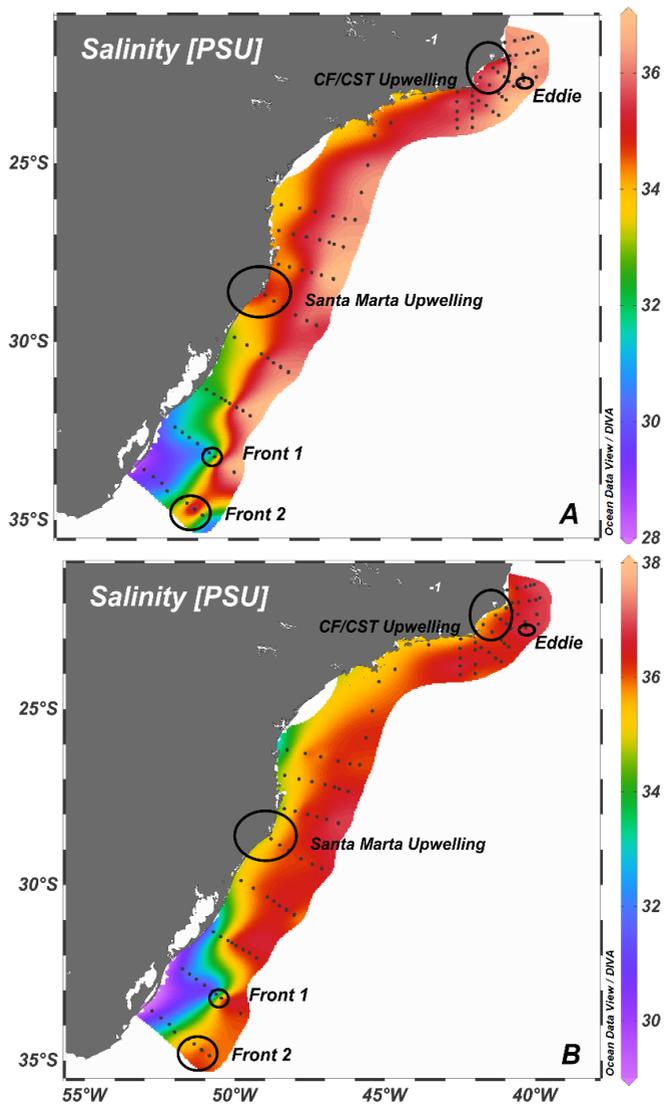


Figura 5 - Salinidade para superfície (A) e Pico de Fluorescência (B) para a área de estudo. As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos.



As regiões da ressurgência de Cabo Frio e de Santa Marta apresentaram os maiores valores superficiais de fluorescência de clorofila-a para todos os pontos amostrais (Figura 6), com valores de  $1,51 \text{ mg.m}^{-3}$  para o Cabo de Santa Marta e valores entre  $3,75 \text{ mg.m}^{-3}$  e  $2,17 \text{ mg.m}^{-3}$  nos pontos mais costeiros entre Cabo Frio e São Thomé. Um leve incremento em relação aos pontos adjacentes de até  $0,8 \text{ mg.m}^{-3}$  foi observado na região do vórtice do Rio de Janeiro (Eddie) e de  $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$  na região da frente térmica do transecto da Lagoa dos Patos (Frente 1).

Por fim, o oxigênio dissolvido (DO) (Figura 7) não apresentou um padrão de distribuição longitudinal definido. Os pontos costeiros de Santa Marta (CSM) e Foz da Lagoa dos Patos (PAT) apresentaram os valores mínimos de OD, com  $2,53$  e  $3,60 \text{ mL.L}^{-1}$  respectivamente. Estes valores foram até duas vezes menores do que nos pontos adjacentes. Os máximos foram  $5,84 \text{ mL.L}^{-1}$  no pico de fluorescência, na isóbata de 150m do transecto de Chuí (CHU) e na região costeira do transecto de Cabo de São Tomé (CST4) e Cabo Frio (CF1), com  $5,15$  e  $5,12 \text{ mL.L}^{-1}$  respectivamente.

Figura 6 - Fluorescência de clorofila ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) para superfície (A) e Pico de Fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos.

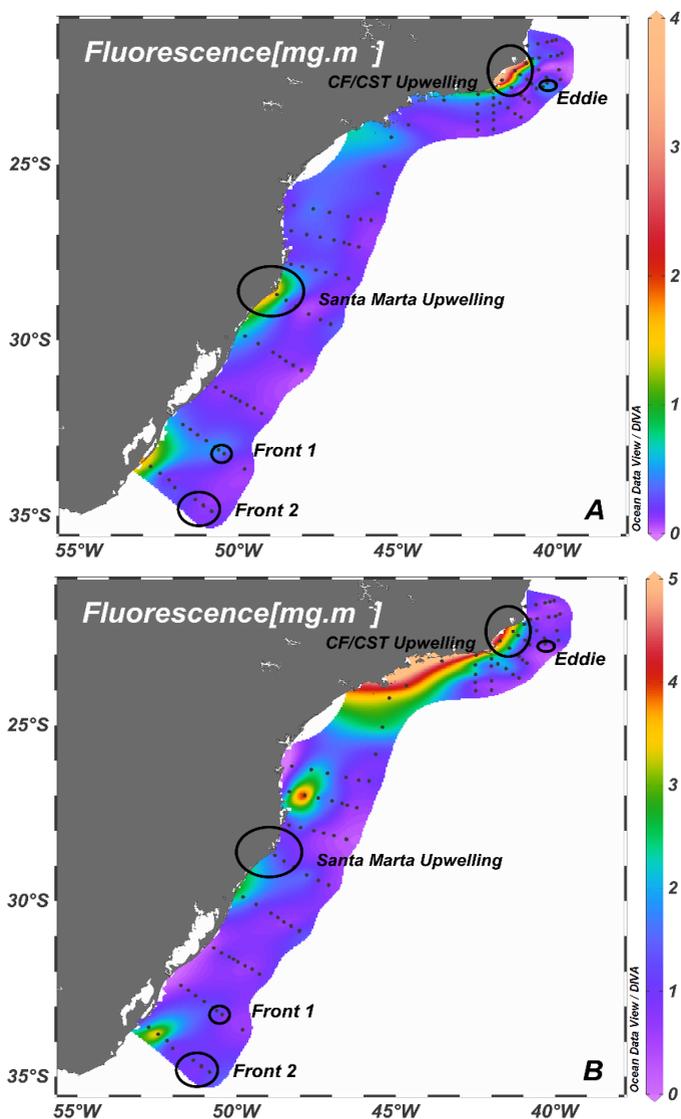
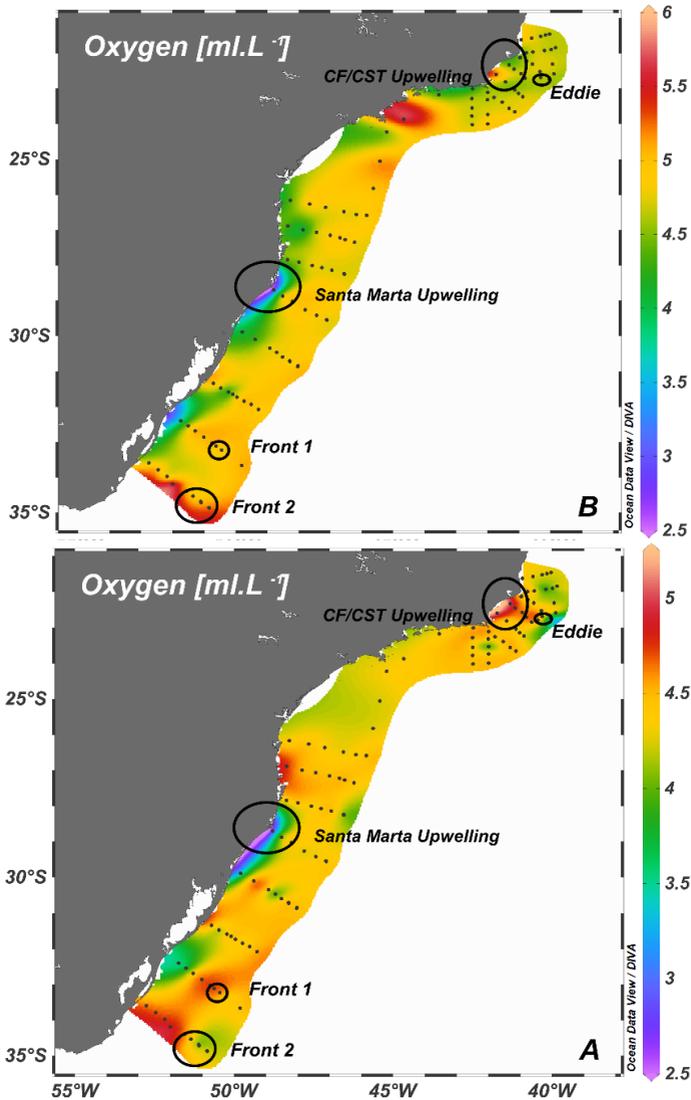


Figura 7 – Oxigênio dissolvido ( $\text{mL.L}^{-1}$ ) em superfície (A) e Pico de Fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos.



## 7.2 NUTRIENTES

O máximo de silicato, 20,61  $\mu\text{M}$ , foi observado na água de superfície do ponto mais costeiro do transecto do Chuí (Tabela 1). No geral, os maiores valores de silicato foram encontrados na região costeira no transecto de Chuí e da Lagoa dos Patos, com valores de 19,1 e 16,4  $\mu\text{M}$ , respectivamente. Nos transectos de Santa Marta e da Ilha de Florianópolis foi possível observar uma variação espacial significativa, onde as regiões costeiras apresentaram cerca de 1,5 $\mu\text{M}$  silicato acima dos seus pontos adjacentes. A região da frente térmica, no transecto da Lagoa dos Patos, também apresentou um aumento local, com 9,67  $\mu\text{M}$  em superfície.

Os maiores valores de fosfato também foram encontrados nos pontos mais costeiros dos transectos da Lagoa dos Patos e Chuí, 0,77  $\mu\text{M}$  e 0,86  $\mu\text{M}$ , respectivamente. A concentração máxima de nitrito ocorreu no ponto mais costeiro do transecto do Chuí, com 0,96  $\mu\text{M}$  no pico de fluorescência, seguido de 0,38  $\mu\text{M}$  na superfície do ponto mais costeiro da região do Cabo de Santa Marta.

Tabela 1 - Média ( $\pm$  desvio padrão) das concentrações de nutrientes e do carbono orgânico dissolvido (DOC) na Superfície (A) e Pico de Fluorescência (C), de acordo com o n amostral por transecto: CST = Cabo de São Tomé, CF = Cabo Frio, ILB = Ilhabela, BAB = Baía da Babitonga, ITA = Itajaí, FLO = Florianópolis, CSM = Cabo de Santa Marta, TRA = Tramandaí, MOS = Mostardas, PAT = Lagoa dos Patos, CHU = Chuí

		Amonia ( $\mu\text{M}$ )	Nitrito ( $\mu\text{M}$ )	Nitrato ( $\mu\text{M}$ )	Fosfato ( $\mu\text{M}$ )	Silicato ( $\mu\text{M}$ )	COD (mmol.L <sup>-1</sup> )
CHU (n=10)	A	0.19 $\pm$ 0.09	0.18 $\pm$ 0.04	0.77 $\pm$ 0.36	0.29 $\pm$ 0.14	8.75 $\pm$ 7.02	144.6 $\pm$ 74.84
	C	0.24 $\pm$ 0.1	0.41 $\pm$ 0.29	3.55 $\pm$ 3.27	0.53 $\pm$ 0.35	5.55 $\pm$ 6.54	278.3 $\pm$ 0
PAT (n=12)	A	0.26 $\pm$ 0.09	0.14 $\pm$ 0.06	1.09 $\pm$ 0.51	0.4 $\pm$ 0.21	7.91 $\pm$ 4.41	206.7 $\pm$ 91.68
	C	0.28 $\pm$ 0.11	0.21 $\pm$ 0.1	1.21 $\pm$ 0.3	0.48 $\pm$ 0.2	6.86 $\pm$ 4.78	162.9 $\pm$ 138.85
MOS (n=8)	A	0.2 $\pm$ 0.02	0.12 $\pm$ 0.03	1.11 $\pm$ 0.21	0.33 $\pm$ 0.13	3.99 $\pm$ 2.03	192.5 $\pm$ 0
	C	0.21 $\pm$ 0.03	0.21 $\pm$ 0.05	4.39 $\pm$ 2.44	0.27 $\pm$ 0.16	3.62 $\pm$ 2.14	186.7 $\pm$ 0
TRA (n=8)	A	0.23 $\pm$ 0.07	0.21 $\pm$ 0.05	0.96 $\pm$ 0.34	0.26 $\pm$ 0.1	1.06 $\pm$ 0.34	219 $\pm$ 133.05
	C	0.26 $\pm$ 0.04	0.28 $\pm$ 0.11	1.47 $\pm$ 0.74	0.29 $\pm$ 0.07	1.43 $\pm$ 1.64	153.8 $\pm$ 89.4
CSM (n=10)	A	0.24 $\pm$ 0.07	0.26 $\pm$ 0.1	0.81 $\pm$ 0.29	0.23 $\pm$ 0.11	2.04 $\pm$ 1.15	159.7 $\pm$ 139.44
	C	0.3 $\pm$ 0.08	0.26 $\pm$ 0.07	2.98 $\pm$ 1.41	0.27 $\pm$ 0.06	2.23 $\pm$ 0.89	205 $\pm$ 121.58
FLO (n=12)	A	0.2 $\pm$ 0.18	0.16 $\pm$ 0.08	0.46 $\pm$ 0.28	0.09 $\pm$ 0.07	1.41 $\pm$ 1.11	184.6 $\pm$ 39.48
	C	0.24 $\pm$ 0.12	0.2 $\pm$ 0.07	0.89 $\pm$ 0.6	0.19 $\pm$ 0.09	3.16 $\pm$ 3.75	112.1 $\pm$ 54.8
ITA (n=10)	A	0.12 $\pm$ 0.06	0.13 $\pm$ 0.06	0.36 $\pm$ 0.16	0.04 $\pm$ 0.03	1.07 $\pm$ 0.25	198.8 $\pm$ 8.84
	C	0.17 $\pm$ 0.03	0.14 $\pm$ 0.05	0.49 $\pm$ 0.21	0.25 $\pm$ 0.08	2.53 $\pm$ 1.6	233.8 $\pm$ 90.16
BAB (n=10)	A	0.18 $\pm$ 0	0.12 $\pm$ 0.06	0.42 $\pm$ 0.11	0.12 $\pm$ 0.09	2.19 $\pm$ 1.02	177.5 $\pm$ 14.14
	C	0.2 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.05	0.66 $\pm$ 0.14	0.25 $\pm$ 0.19	2.58 $\pm$ 0.68	238.8 $\pm$ 72.48
ILB (n=8)	A	0.23 $\pm$ 0.04	0.1 $\pm$ 0.04	0.47 $\pm$ 0.14	0.07 $\pm$ 0	2.63 $\pm$ 1.59	-
	C	0.24 $\pm$ 0.07	0.17 $\pm$ 0.1	1.06 $\pm$ 0.82	0.23 $\pm$ 0.05	4.51 $\pm$ 2.76	-
CST (n=28)	A	0.22 $\pm$ 0.05	0.09 $\pm$ 0.04	0.24 $\pm$ 0.11	0.13 $\pm$ 0.07	1.16 $\pm$ 0.35	-
	C	0.2 $\pm$ 0.03	0.14 $\pm$ 0.04	0.43 $\pm$ 0.57	0.15 $\pm$ 0.06	0.9 $\pm$ 0.25	-
CF (n=17)	A	0.19 $\pm$ 0.01	0.07 $\pm$ 0.02	0.17 $\pm$ 0.05	0.1 $\pm$ 0.09	1.5 $\pm$ 1.28	-
	C	0.19 $\pm$ 0.01	0.1 $\pm$ 0.04	0.65 $\pm$ 0.84	0.2 $\pm$ 0.13	1.6 $\pm$ 1.17	-

Fonte: O autor.

Dentro das regiões das feições, observou-se um claro incremento de nitrato nas águas superficiais das frentes 1 e 2, com  $2,04 \mu\text{M}$  e  $1,15 \mu\text{M}$  respectivamente, e no segundo ponto da ressurgência de Santa Marta, com  $1,33 \mu\text{M}$ . Altos valores de nitrato também foram observados na desembocadura da lagoa dos Patos ( $1,53 \mu\text{M}$ ). As Frentes 1 e 2 e da ressurgência de Santa Marta também apresentaram valores acima da média para COD, nitrito e amônio. A ressurgência de Santa Marta apresentou valor máximo para COD de  $407,50 \text{ mM.L}^{-1}$ , para nitrito de  $0,38 \mu\text{M}$  e para amônio  $0,31 \mu\text{M}$ . A Frente 1 apresentou  $288,33 \text{ mM.L}^{-1}$ ,  $0,20 \mu\text{M}$  e  $0,35 \mu\text{M}$  respectivamente e a Frente 2  $278,33 \text{ mM.L}^{-1}$ ,  $0,21 \mu\text{M}$  e  $0,25 \mu\text{M}$ .

## 7.3.PICOFITOPLÂNCTON

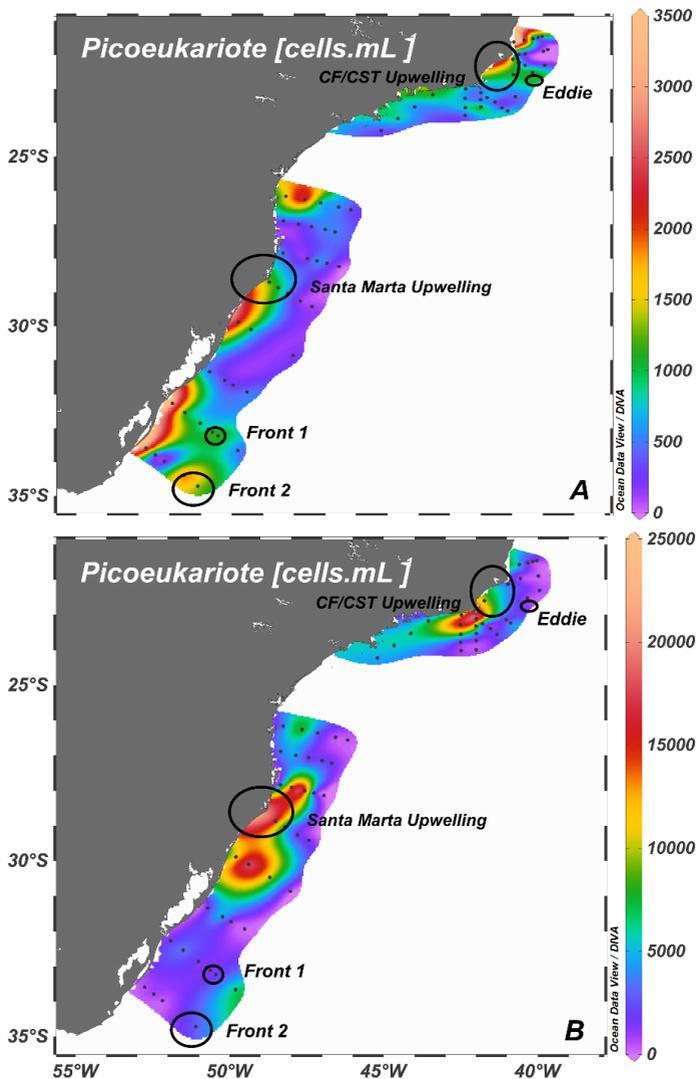
### 7.3.1 Abundância

A densidade de picofitoplâncton total, em geral, apresentou um aumento no sentido costa- oceano em águas superficiais, onde o máximo de  $2,9 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup> foi observado no transecto da Lagoa dos Patos, dentro da frente 1, seguido do ponto mais oceânico do transecto de Tramandaí com  $2,55 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup>. Por fim, o ponto mais oceânico de Chuí (Frente 2) e Cabo Frio apresentaram  $2,47 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup>. Os únicos pontos costeiros com alta densidade foram os das zonas de ressurgência de Santa Marta e Cape São Thomé 4 e Chuí, com  $2,08 \times 10^5$ ,  $1,99 \times 10^5$  e  $1,70 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Os demais pontos mais costeiros tiveram concentrações em torno de  $1 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup>.

Já as densidades observadas na profundidade do pico de fluorescência atingiram o dobro do máximo observado nas águas superficiais, sendo que os maiores valores ocorreram na região costeira de Cabo Frio com  $4,7 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup> e na região próxima à Frente 1 com  $3,39 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup> e Frente 2 com  $2,83 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup>.

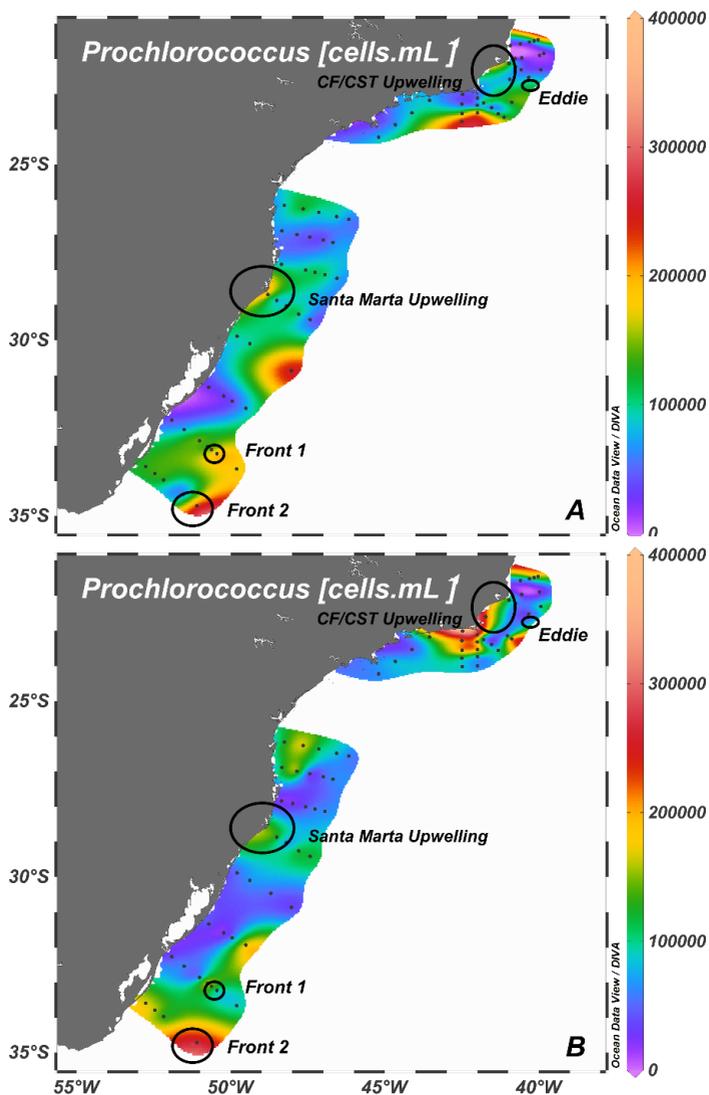
Ao avaliar cada grupo picofitoplâncton separadamente (picoeucariotas, *Synechococcus* e *Prochlorococcus*), verificou-se que os picoeucariotas chegaram a ser uma ordem de magnitude mais abundantes na profundidade do pico de fluorescência se comparado a água superficial (Figura 8). A densidade na água superficial foi maior nas regiões costeiras, por exemplo, as regiões costeiras da Lagoa dos Patos e do Chuí apresentaram um máximo de  $3,19$  e  $2,93 \times 10^3$  cels.mL<sup>-1</sup>, respectivamente, já as regiões costeiras de Babitonga atingiram valores de  $1,42 \times 10^3$  cels.mL<sup>-1</sup> e  $2,48 \times 10^3$  cels.mL<sup>-1</sup>. No entanto, nas regiões frontais 1 e 2 as densidades chegaram a  $1,33 \times 10^3$  cels.mL<sup>-1</sup> na frente 1 e  $1,97 \times 10^3$  cels.mL<sup>-1</sup> na frente 2 (Figura 8A). Nas profundidades do pico de fluorescência (Figura 8B), as densidades máximas foram encontradas próximas às zonas de ressurgência costeiras de Santa Marta e Cabo Frio com  $2,27 \times 10^4$  cels.mL<sup>-1</sup> e  $1,86 \times 10^4$  cels.mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Na região costeira de transecto de Araranguá chegaram a  $1,69 \times 10^4$  cels.mL<sup>-1</sup>. A média de todos os pontos amostrados foi de  $2,08 \times 10^3$  cels.mL<sup>-1</sup>, sendo que os pontos localizados no pico de fluorescência tiveram uma densidade média 5 vezes maior.

Figura 8 - Distribuição de picoeucariotas ( $\text{cel.mL}^{-1}$ ) na região de estudo em superfície (A) e no pico de fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos.



Cianobactérias do gênero *Prochlorococcus* apresentaram uma média de  $0,97 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup> para todos os pontos amostrais, cerca de 5 vezes mais abundantes do que os picoeucariotas. Em águas superficiais (Figura 9A) as maiores densidades ocorreram nas regiões mais oceânicas dos transectos do Chuí (Frente 2), Lagoa dos Patos, Tramandaí e Cabo Frio,  $2,4 \times 10^5$ ,  $1,76 \times 10^5$ ,  $2,54 \times 10^5$  e  $2,46 \times 10^5$  cels.ml<sup>-1</sup>, respectivamente. As regiões de Cabo de Santa Marta e Cabo de São Tomé apresentaram um leve incremento em relação aos pontos adjacentes (maiores valores de  $1,91$  e  $1,55 \times 10^5$  cels.ml<sup>-1</sup>, respectivamente). Já na profundidade do pico de fluorescência (Figura 9B), a distribuição espacial costa-oceano não foi bem definida, com máximos na região mais costeira no transecto de Cabo Frio, com  $3,72 \times 10^5$  cels.ml<sup>-1</sup>. Na região mais oceânica do transecto do Chuí, próxima à frente 2 os valores chegaram a  $2,40 \times 10^5$  cels.ml<sup>-1</sup>. Os pontos amostrais do pico de fluorescência apresentaram um leve incremento de cerca de 10% em relação a águas superficiais.

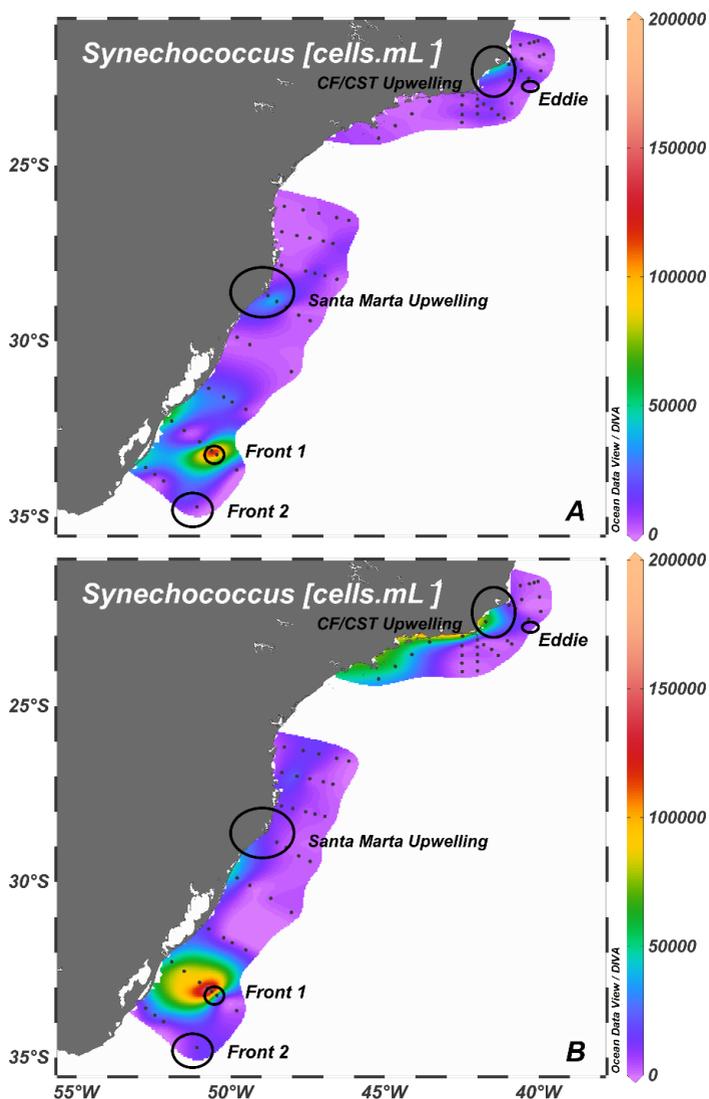
Figura 9 - Distribuição de *Prochlorococcus* (cel.mL<sup>-1</sup>) na região de estudo em superfície (A) e no pico de fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos.



Por fim, as cianobactérias do gênero *Synechococcus* estiveram em maior densidade nas águas superficiais da região mais costeira, com exceção do mais oceânico dentro da zona frontal 1 no transecto da Lagoa dos Patos, cujo valor foi o maior de todos os pontos amostrais,  $1,86 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup> (Figura 10A). Para o restante dos pontos, as regiões costeiras da Lagoa dos Patos, Cabo de Santa Marta e Cabo de São Tomé apresentaram valores mais elevados em relação aos pontos adjacentes,  $5,12 \times 10^4$ ,  $4,99 \times 10^4$  e  $4,54 \times 10^4$  cels.mL<sup>-1</sup>, respectivamente.

A sua distribuição na profundidade do pico de fluorescência (Figura 10B) condissse com as de superfície, contudo os pontos do transecto da Lagoa dos Patos apresentaram um aumento no número de células no gradiente costa-oceano, em direção à zona frontal, partindo de  $4,95 \times 10^4$  cels.ml<sup>-1</sup> na costa e chegando a  $2,15 \times 10^5$  cels.mL<sup>-1</sup> na zona frontal. Após a frente, os valores caíram drasticamente, chegando a  $0,6 \times 10^4$  cels.mL<sup>-1</sup> no ponto mais oceânico. De modo geral, os pontos amostrais no pico de fluorescência apresentaram valores 37,5% maiores em relação à superfície.

Figura 10 - Distribuição de *Synechococcus* (cel.mL<sup>-1</sup>) na região de estudo em superfície (A) e no pico de fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos.

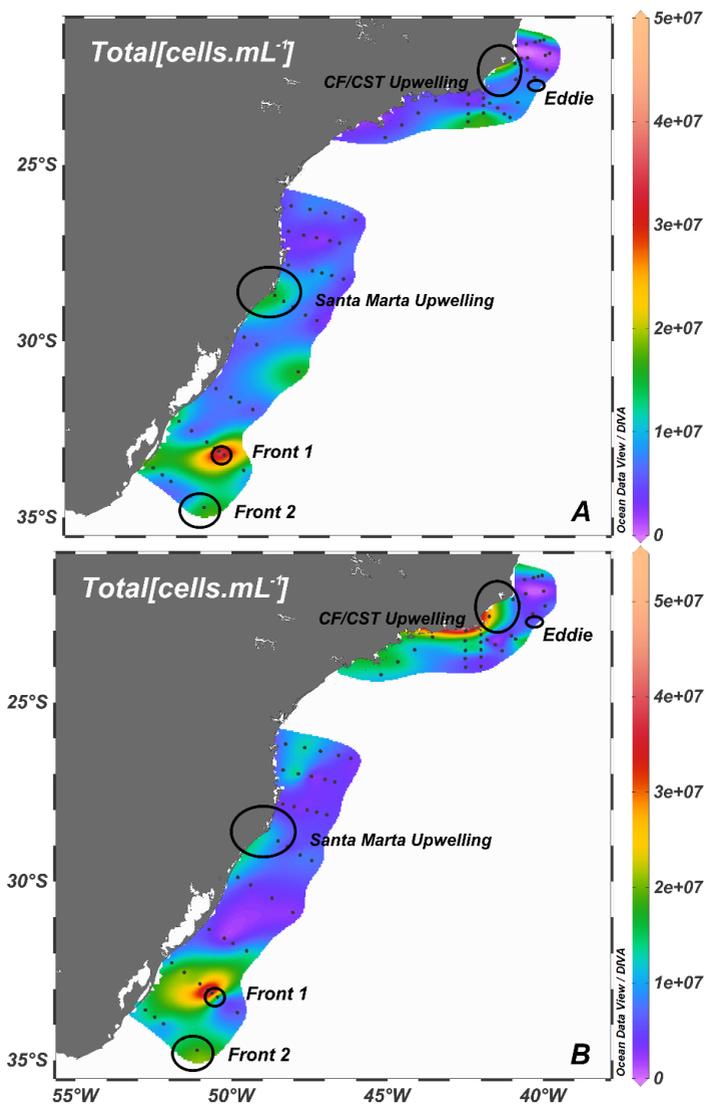


### 7.3.2 Biomassa

A biomassa bacteriana em superfície (figura 11A) apresentou de forma geral maiores valores nas regiões próximas às feições oceanográficas, com uma média total de  $8,44 \times 10^5$  ugC.mL<sup>-1</sup>. O maior valor apresentado porém foi encontrado longe da costa na região da Frente 1 no transecto da lagoa dos patos com  $4,60 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup> no ponto 5 deste transecto. As regiões costeiras do Chuí, Lagoa dos Patos e Santa Marta também apresentaram valores elevados de  $1,55 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup>,  $1,29 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup> e  $1,49 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup> respectivamente.

Já nas amostras do pico de fluorescência (Figura 11B) a média foi 19% maior que na região superficial, com  $1,01 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup>. Os maiores valores para todos os pontos amostrais foram encontrados na Frente 1 e ponto mais costeiro do transecto mais ao Sul de Cabo Frio (CF4), com  $5,07 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup> e  $4,04 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup> respectivamente. A região da frente 1 apresentou um valor elevado com  $1,9 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup>.

Figura 11 - Picoplâncton total ( $\text{cel.mL}^{-1}$ ) para a superfície (A) e Pico de Fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos.

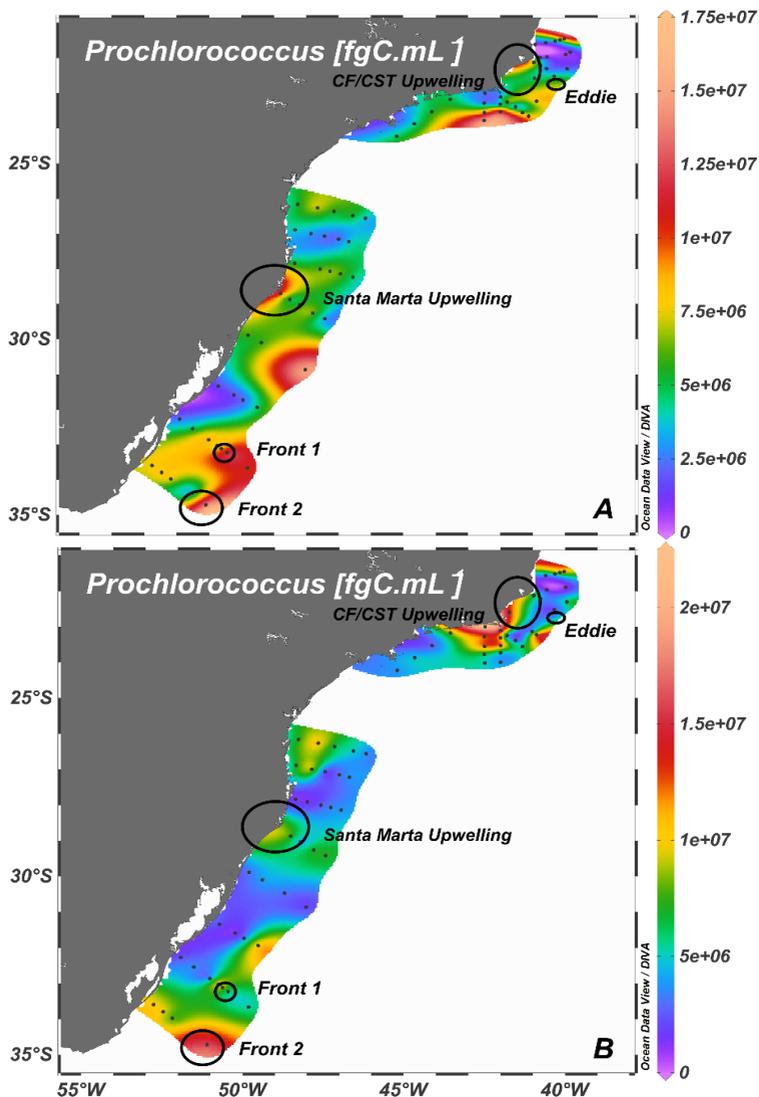


As amostras de *Prochlorococcus* em superfície (Figura 12A) apresentaram maiores concentrações de biomassa nas regiões oceânicas, dominando estas regiões, com uma média de  $5,69 \times 10^5 \text{ugC.mL}^{-1}$  representando 59,6% de toda a biomassa de picoplâncton em superfície para a área de estudo.

Os pontos com maior biomassa foram encontrados nas estações mais afastadas da costa no transecto de Chuí (CHU), Cabo Frio (CF3) e Tramandaí (TRA) com  $1,52 \times 10^6 \text{ugC.mL}^{-1}$ ,  $1,48 \times 10^7 \text{fgC.mL}^{-1}$  e  $1,44 \times 10^7 \text{fgC.mL}^{-1}$ . Destaca-se ainda a estação mais costeira do Transecto de Santa Marta com  $1,15 \times 10^6 \text{ugC.mL}^{-1}$ , este ponto apresentou o maior valor para todas as estações costeiras. Para os pontos amostrais do pico de fluorescência (Figura 12B) os valores foram cerca de 11,5% superiores aos encontrados em superfície, com uma média de  $6,34 \times 10^5 \text{ugC.mL}^{-1}$  tendo uma representatividade de 38,7% na biomassa picoplanctônica para esta região. Os pontos amostrais que apresentaram os maiores valores foram os dois transectos mais ao sul de Cabo Frio (CB4) e (CB3) e o transecto de Chuí (CHU) com  $2,23 \times 10^6 \text{ugC.mL}^{-1}$ ,  $1,74 \times 10^6 \text{ugC.mL}^{-1}$  e  $1,61 \times 10^6 \text{ugC.mL}^{-1}$  respectivamente.

Houve um incremento em relação aos pontos adjacentes na região costeira do transecto do Chuí (CHU), da ressurgência de Santa Marta (CSM) e nos pontos mais costeiros dos transectos de Itajaí (ITA) e Babitonga (BAB), com valores de  $1,34 \times 10^6 \text{ugC.mL}^{-1}$ ,  $0,92 \times 10^6 \text{ugC.mL}^{-1}$ ,  $1,08 \times 10^6 \text{ugC.mL}^{-1}$  e  $1,36 \times 10^6 \text{ugC.mL}^{-1}$  respectivamente.

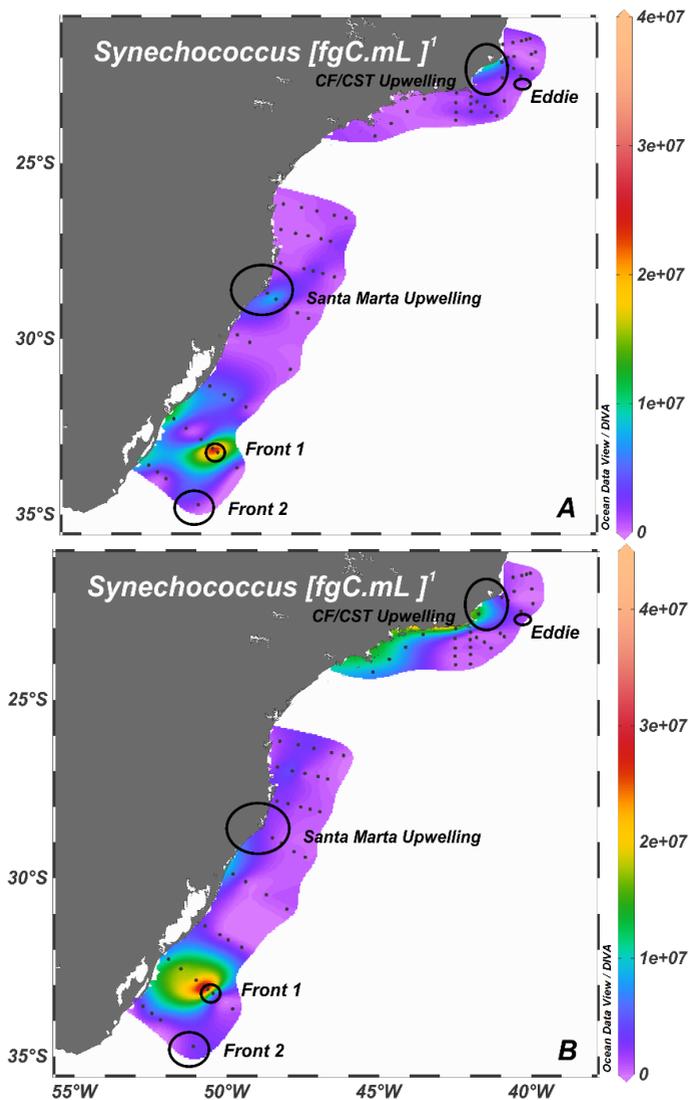
Figura 12 – Biomassa ( $\text{fgC}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) de *Prochlorococcus* para superfície (A) e pico de fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos.



O grupo dos *Synechococcus* apresentou em superfície (Figura 13A) uma biomassa média de  $2,64 \times 10^5$  ugC.mL<sup>-1</sup>, sendo que neste estrato o grupo representou 27,6% da biomassa total, sendo o segundo grupo mais representativo. Os maiores valores foram encontrados em dois pontos na região da Frente 1 (PAT) com valores de  $3,72 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup>,  $1,66 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup>. Outros pontos com concentração elevada foram os pontos mais costeiros da Lagoa dos Patos (PAT) e do Chuí (CHU), e na Ressurgência de Santa Marta (CSM), com  $1,02 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup>,  $0,76 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup> e  $0,99 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup>.

Os pontos na zona de pico de fluorescência (Figura 13B) apresentaram média de  $3,63 \times 10^5$  ugC.mL<sup>-1</sup>, estes pontos apresentaram uma concentração de biomassa cerca de 11.5% maior que em superfície. Os maiores valores foram também encontrados no primeiro e segundo ponto região da Frente 1 (PAT), com valores de  $4,30 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup> e  $2,60 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Os pontos costeiros de Cabo Frio (CF4 e CF1) e Lagoa dos Patos (PAT) apresentaram também valores elevados, com  $1,76 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup>,  $1,41 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup> e  $0,99 \times 10^6$  ugC.mL<sup>-1</sup>.

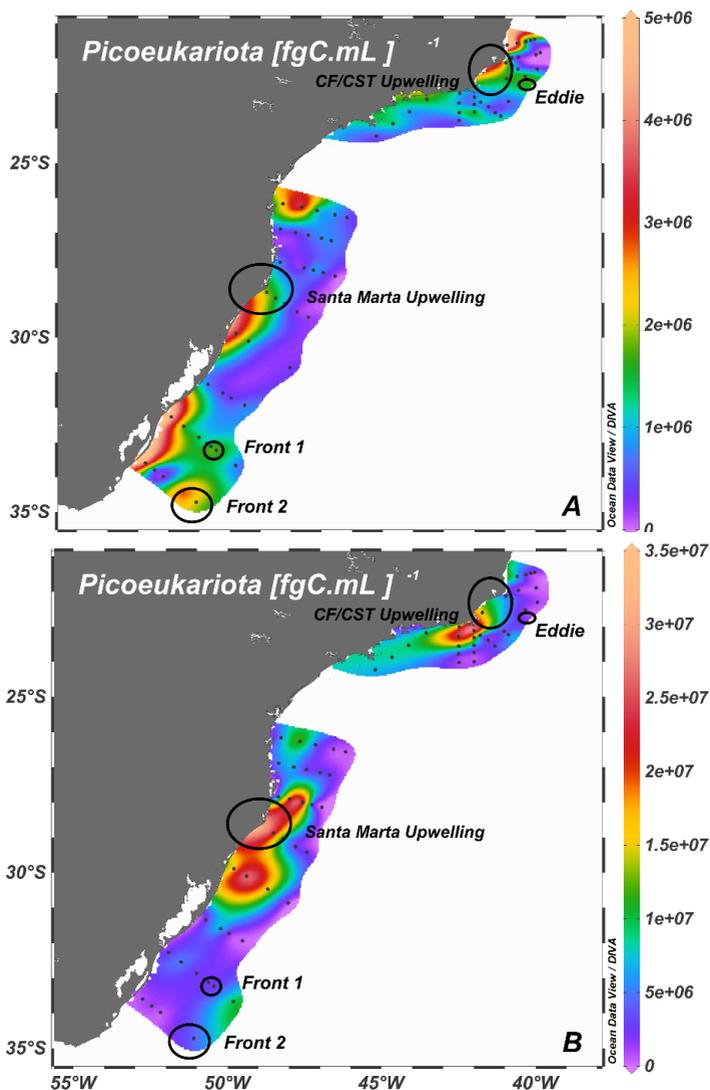
Figura 13 - Biomassa de *Synechococcus* em superfície (A) e Pico de Fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão ressaltadas pelos círculos.



Por fim, a biomassa dos picoeucariotas em superfície (Figura 14A) apresentou uma média de  $1,22 \times 10^5 \text{ ugC.mL}^{-1}$ , sendo representativo de apenas 12,7% da biomassa superficial para a região de estudo. Os pontos que apresentaram maiores valores foram encontrados nas regiões costeiras do transecto da Lagoa dos Patos (PAT) com  $4,79 \times 10^5 \text{ ugC.mL}^{-1}$ , seguido do ponto costeiro do transecto do Chuí (CHU) com  $4,40 \times 10^5 \text{ ugC.mL}^{-1}$  e o segundo ponto de Babitonga com  $3,74 \times 10^5 \text{ ugC.mL}^{-1}$ . As regiões das Frentes 1 e 2 apresentaram os maiores valores para as regiões oceânicas com  $2,96 \times 10^5 \text{ ugC.mL}^{-1}$  e  $2 \times 10^5 \text{ ugC.mL}^{-1}$ .

Os valores médios encontrados no pico de fluorescência (Figura 14B) foram 5.2 vezes maiores que os encontrados em superfície, neste estrato o picoplâncton eucariota representou a maior contribuição na biomassa picoplanctônica com 39,2%. A biomassa média foi de  $6,44 \times 10^5 \text{ ugC.mL}^{-1}$  e os maiores valores foram encontrados na região costeira de Cabo Frio (CF3), no terceiro transecto de Florianópolis (FLO) e no segundo ponto do transecto de Mostardas (MOS), com  $3,41 \times 10^6 \text{ ugC.mL}^{-1}$ ,  $3,17 \times 10^6 \text{ ugC.mL}^{-1}$  e  $2,79 \times 10^6 \text{ ugC.mL}^{-1}$ . A região de Santa Marta também apresentou valores elevados com  $2,54 \times 10^6 \text{ ugC.mL}^{-1}$ .

Figura 14 - Biomassa de picoeucariotas em superfície (A) e no pico de fluorescência (B). As feições oceanográficas, frentes (Front) e vórtices (Eddie), e as ressurgências de Santa Marta (Santa Marta Upwelling) e Cabo Frio/Cabo de São Tomé (CF/CST Upwelling) estão destacadas com um círculo.



## 7.4DNA E 16S DE PROCARIOTAS

As análises de 16S (diversidade taxonômica) mostraram a predominância de três principais filos nas amostras, sendo que Proteobactérias, Cianobactérias e Actinobactérias perfizeram de 80,77% a 93,61% do total de filos (Tabela 2).

As Proteobactérias dominaram todos os pontos amostrais, sendo que a maior proporção foi encontrada em superfície do ponto mais oceânico do transecto de Santa Marta, 63,99 % do total de procariotas.

Tabela 2- Abundância relativa dos 3 filos predominantes nas amostras, sendo os transectos PAT = Lagoa dos Patos, MOS = Mostardas, CSM = Cabo de Santa Marta e FLO = Florianópolis. .

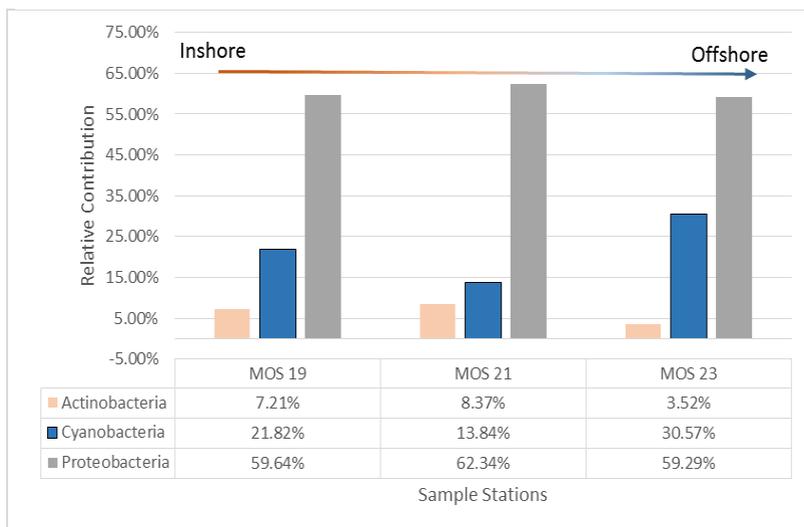
Section	PAT		MOS			CSM	FLO
Station	PAT 14	PAT 16	MOS 19	MOS 21	MOS 23	CSM 39	FLO 48
<b>Actinobacteria</b>	8.33%	7.99%	7.21%	8.37%	3.52%	2.65%	3.42%
<b>Cyanobacteria</b>	15.35%	19.51%	21.82%	13.84%	30.57%	24.24%	40.63%
<b>Proteobacteria</b>	61.17%	53.27%	59.64%	62.34%	59.29%	63.99%	49.56%

Fonte: O autor.

As Cianobactérias vieram em seguida, com as maiores abundâncias nas amostras mais afastados da costa, nos transectos de Mostardas (MOS), Santa Marta (CSM) e Florianópolis (FLO) com 30,57%, 24,24% e 40,63% respectivamente (Tabela 2).

Observando apenas o transecto de Mostardas (MOS) em um eixo costa-oceano (Figura 15) observa-se que a contribuição de Proteobactérias se mantém praticamente constante, a contribuição de Cianobactérias por outro lado aumenta de 21,82% na região costeira para 30,57% na região da plataforma externa e as Actinobactérias apresentam o padrão inverso, diminuem de 7,21% para 3,52% no eixo costa-oceano.

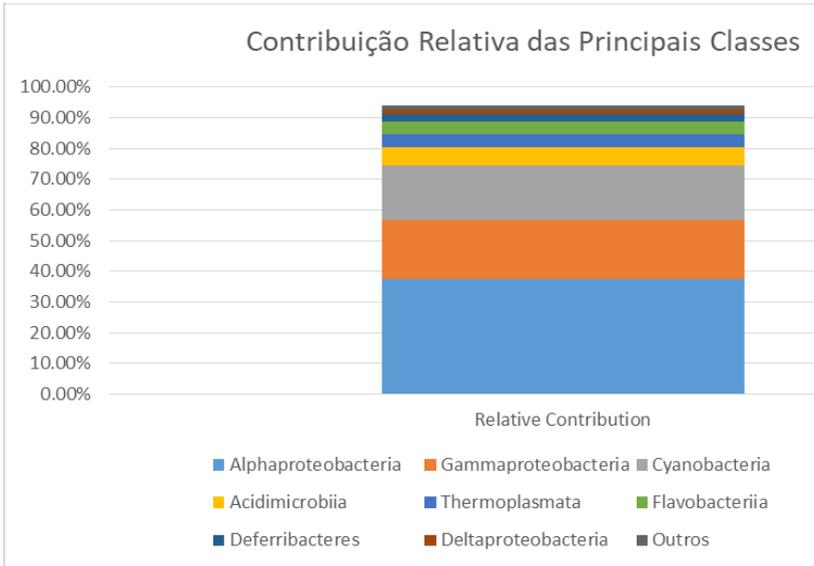
Figura 15 - Principais filos agrupados no eixo costa/oceano para o transecto de Mostardas (MOS). A seta representada indica a distribuição longitudinal das amostras da mais costeira (Inshore) à mais oceânica (Offshore)



As principais classes encontradas para todos os pontos amostrais podem ser observadas na Figura 16, com Alpha e Gammaproteobactérias como as duas principais classes com contribuições relativas de 37,33% e 19,31% respectivamente, Cianobactérias representaram 17,76% do total.

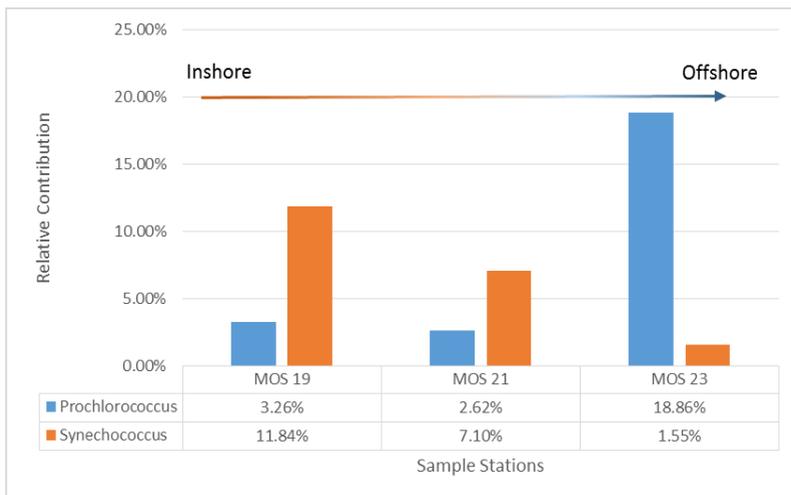
Dentro das cianobactérias, os gêneros *Prochlorococcus* e *Synechococcus* se destacaram, representando 43,57% e 30,95% do total de cianobactérias.

Figura 16 - Contribuição das principais classes para todos os pontos amostrais com análise de DNA.



Os pontos no transecto da Lagoa dos Patos (14 -PAT, 16 -PAT) e o ponto mais costeiro do transecto Mostardas (19 - MOS) apresentaram as maiores concentrações de *Synechococcus*, 11,3, 9,91 e 11,84%, respectivamente. As menores concentrações foram encontradas nos pontos mais afastados da costa (23 - MOS e 48 -FLO), com 1,25 e 2,25%, respectivamente. Já para os *Prochlorococcus*, os maiores valores foram encontrados nesses pontos mais afastados da costa (23 -MOS e 48 -FLO), 18,86 e 32,31% e os menores nos pontos mais costeiros (14 - PAT e 16 -PAT) com 0,47% e 2,17%, respectivamente.

Figura 17 - Contribuição relativa dos principais gêneros de Cyanobacteria no transecto de Mostardas (MOS). A seta representada indica a distribuição longitudinal das amostras da mais costeira (Inshore) à mais oceânica (Offshore)



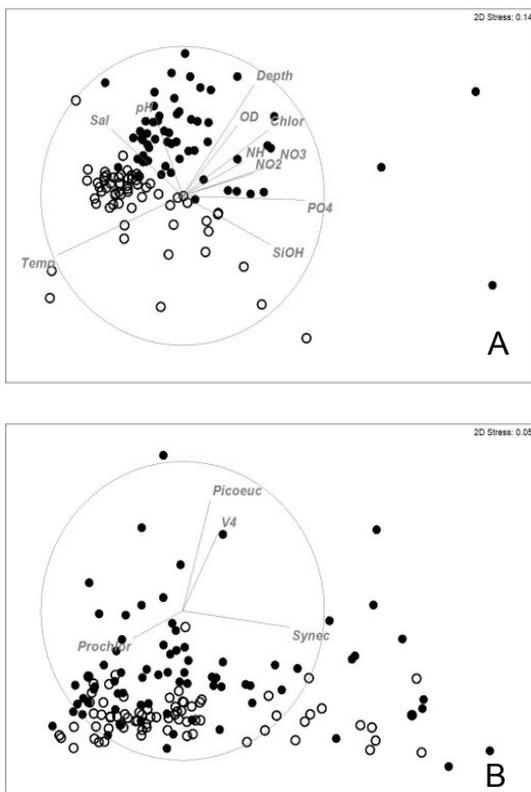
Observando o eixo costa-oceano do transecto de Mostardas (MOS) há um aumento na contribuição relativa do gênero *Prochlorococcus* e um decréscimo de *Synechococcus* (Figura 17), ou seja, uma relação inversa horizontalmente bem definida entre esses gêneros.

## 7.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas demonstraram uma separação clara entre os extratos de Superfície e Pico de Fluorescência, tanto para dados abióticos quanto para os parâmetros biológicos.

As variáveis que melhor explicaram os dados biológicos de biomassa picoplanctônica foram temperatura, fosfato, nitrato e silicato.

Figura 18 - MDS dos dados abióticos (A) e bióticos (B), na superfície (o) e pico de fluorescência (•). Sendo Depth = Profundidade, OD = Oxigênio Dissolvido, Chlor = Clorofila *a*, NH = Amonio, NO<sub>3</sub> = Nitrato, NO<sub>2</sub> = Nitrito, PO<sub>4</sub>= Fosfato, SiOH = Silicato, Temp = Temperatura, Sal = Salinidade, pH = pH, Picoeuc = Picoeucariotas, Synecc = Synechococcus, Prochlor = Prochlorococcus e V4 é fluorescência.



## 8 DISCUSSÃO

As feições oceanográficas observadas neste estudo são feições bastante comuns na região de estudo durante os meses de verão (Campos *et al.*, 1995; Castro e Miranda, 1998; Campos *et al.*, 2000; Ito *et al.*, 2016; Kampel, 2003). Nos meses mais quentes, o enfraquecimento dos ventos de Sul proporciona uma maior intensificação das águas da Corrente do Brasil sobre a plataforma, ocasionando meandros e vórtices como os observados no presente estudo (Pereira *et al.* 2009). As frentes térmicas também podem ocorrer no verão, contudo ficam confinadas mais ao Sul, próximo à desembocadura do Rio da Prata onde há o encontro das águas mais quentes da corrente do Brasil com águas mais frias vindas de sul na Frente Subtropical de Plataforma (Piola *et al.*, 2000; Piola *et al.*, 2008a; Moller *et al.*, 2008), tal qual observado para as frentes 1 e 2 do presente estudo. Além disso, durante o verão, a intensificação dos ventos N/NE proporciona que as águas mais frias e ricas em nutrientes da ACAS aflorem nas regiões de ressurgências do Cabo de Santa Marta e Cabo Frio, como foi observado no presente estudo. Estes eventos contribuem positivamente no enriquecimento local por nutrientes e conseqüentemente, na produção primária do local (Chen *et al.*, 2007; Acha, 2015).

O aumento localizado de silicato nas regiões frontais, vórtices e nas regiões de ressurgência, juntamente com um aumento na fluorescência destes locais pode evidenciar um aumento local na produção primária (Acha, *et al.* 2004). Contudo, os maiores valores de silicato observados para a área de estudo estão relacionados com a região da desembocadura do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos, indicando uma maior contribuição terrígena nessas regiões costeiras (Castello e Moller, 1977; Braga, 2000; Braga *et al.*, 2008).

As zonas de mínimo oxigênio encontradas nas regiões da ressurgência de Santa Marta e na desembocadura da Lagoa dos Patos se diferenciaram das demais feições oceanográficas, que por sua vez apresentaram concentrações de oxigênio dissolvido normais ou até mesmo aumentos na sua concentração. Esta diminuição pode estar indicando maior respiração aeróbica pelos organismos e degradação de matéria orgânica, principalmente por microrganismos picoplanctônicos heterotróficos. Ito *et al.* (2016) evidenciaram altos valores de  $p\text{CO}_2$  nestas regiões e também no vórtice encontrado na costa do Rio de Janeiro. Já na ressurgência de Cabo Frio, tanto a pressão parcial de  $\text{CO}_2$  quanto as concentrações de DO foram diferentes da região de Santa

Marta. A maior saturação de oxigênio esteve associada a um grande aumento nas concentrações de clorofila-a (Ito *et al.* 2016). Isso indica uma produção primária nova causada pela intrusão de águas de fundo ricas em nutrientes, proporcionando um rápido crescimento dos produtores primários e, conseqüentemente, incremento nos níveis de oxigênio (Metzler *et al.*, 1997).

A distribuição de picoplâncton autotrófico total seguiu, em geral, o padrão de biomassa fitoplanctônica descrito por Ito *et al.* (2016). A densidade esteve aumentada em regiões frontais e em zonas costeiras para *Synechococcus* e nas regiões mais oligotróficas para *Prochlorococcus*, tal qual observado por Bergo *et al.* (2017) para a região da plataforma SE. Observa-se que a ressurgência estimula o crescimento do picoplâncton em plataforma, a combinação de aporte de nutrientes inorgânicos conduz as maiores biomassas nestes pontos (Pan, 2005). De forma geral, os valores encontrados para o estudo foram semelhantes a outros estudos realizados em regiões oceânicas e na região de estudo, na ordem de  $10^5$  cells.ml<sup>-1</sup> para *Prochlorococcus* e *Synechococcus* e  $10^4$  cells.ml<sup>-1</sup> para piceocariotas (Pan, 2005; Fresenius, 2009; Lin *et al.*, 2012; Bergo *et al.*, 2017).

Os *Prochlorococcus* possuem uma maior concentração em águas de baixas e médias latitudes, possuindo uma correlação positiva com a temperatura (Lin *et al.*, 2012), sendo que a temperatura de 25°C foi considerada como ótima para estes organismos (Johnson *et al.*, 2006). As águas quentes e oligotróficas são fatores importantes na distribuição destes organismos, sendo que este é seu padrão de distribuição global, além da irradiância que também parece ter um papel importante na distribuição destes organismos (Bouman, 2006; Jiao, 2005). Este padrão de distribuição pode ser observado com as maiores concentrações longe da costa para estes organismos, em águas oligotróficas, com valores elevados de irradiância e em águas quentes. Por outro lado, águas de baixa salinidade não suportam o desenvolvimento dos *Prochlorococcus*, estes organismos estiveram praticamente ausentes em regiões costeiras mesmo em condições ótimas de temperatura, sendo que padrões de correntes e massas d'água podem sobrepor a temperatura como fatores determinantes na distribuição destes organismos (Lin *et al.*, 2012). O incremento relativo no eixo costa oceano como observado pelos dados de DNA bacteriano se repete em várias partes do mundo, com máximos em regiões offshore, sendo dominantes em biomassa e abundância nestes ambientes (Calvo-Diaz, 2006; Pan, 2006; Pan, 2007) e com baixas concentrações nas regiões costeiras de baixa salinidade e alta

turbidez (Pan, 2005). As menores concentrações em regiões costeiras podem também ser influenciadas pela herbivoria (*grazing*) de outros microrganismos, impedindo que haja uma recuperação populacional pelas menores taxas de crescimento nestas regiões (Worden, 2004; Guillou, 2001).

*Synechococcus* estão mais presentes na plataforma interna, região sob influência de rios e ressurgência, diminuindo sua concentração em direção ao oceano aberto (Pan, 2005; Bergo *et al.*, 2017). Para o oceano atlântico as maiores concentrações estão entre 33N e 50S, estes organismos aparentam necessitar mais de nutrientes em relação à *Prochlorococcus*, por isto sua menor presença em regiões pobres em nutrientes. As ressurgências podem explicar a presença destes organismos em outras regiões pela quebra da estratificação e elevação de nutrientes e DOM com o enriquecimento local. (Lin *et al.*, 2012; Pan, 2005, Jiao, 2005; Acha, 2015).

Na região costeira e da plataforma interna, os *Synechococcus* possuem uma maior taxa de crescimento em relação aos *Prochlorococcus*, resistindo com maior sucesso à herbivoria de outros organismos e tendo uma vantagem competitiva nesta região (Worden, 2004; Guillou, 2001). Além disto, *Synechococcus* se adaptam melhor a regiões com menos DIP (P-depleted), dominando sobre os *Prochlorococcus* por terem uma maior afinidade com ortofosfato (Moutin, 2002; Ikeya, 1997). Este padrão foi observado na frente 1, onde os valores de DIP estavam cerca de 3 vezes menores em relação à região costeira e os valores observados para biomassa de *Synechococcus* foram os maiores para todos os pontos amostrais. Observou-se uma correlação positiva entre *Synechococcus*, DOC e Amônia (Bergo, 2017), como observado na região da Frente 1 (PAT).

*Synechococcus* podem ser menores em águas mais superficiais, porém mais produtivas, por outro lado diferenças metabólicas adaptadas às variações verticais na coluna d'água conduzem a uma baixa taxa de divisão e acabam aumentando seu tamanho em regiões mais profundas, contrabalanceado por uma maior eficiência fotossintética (Callieri, 2007). A presença de zonas de frentes em regiões mais afastadas e enriquecidas por nutrientes e DOM autóctones (Acha, 2015), aqui como COD, pode explicar a predominância de biomassa e concentração destes organismos nas zonas das frentes 1 e 2. A região do Estuário do Prata, com alta descarga fluvial e a confluência com a Corrente das Malvinas, contribuem para a concentração destes organismos nesta região do Atlântico Sudoeste (Lin *et al.*, 2012). Há uma correlação positiva com

os valores de Chl a, demonstrando que estes organismos desenvolvem-se bem em regiões eutróficas como desembocaduras de rios e grandes estuários ou regiões como frentes e ressurgências, onde há uma entrada de nutrientes suportando a produção primária nova.

Por fim, os Picoeucariotas aparentam necessitar de um maior aporte de nutrientes, estando presentes em regiões costeiras com estado trófico mais elevado (de meso à eutrófico) ou em regiões com ressurgência e aporte de nutrientes de águas mais profundas, como aportes rápidos de nitrato (Pan, 2004; Fresnius, 2009; Shalapionok, 2001), como em condições de ressurgência costeira ou em regiões frontais. Regiões como a da Baía da Babitonga, da desembocadura da lagoa dos patos e de ressurgência onde há aumentos de nitrito e fosfato foram observados altos valores de biomassa e concentração destes organismos na região de estudo.

Fatores como a relação com porções maiores do picoplâncton, concentrações de nutrientes orgânicos dissolvidos, concentração de Ferro (Cavender, 1999), quantidade de *grazing* (Chang, 2003, Worden, 2004; Guillou, 2001), presença de vírus e possíveis infecções das populações do picoplâncton, agregação em partículas sólidas e outros fatores podem afetar a distribuição destes organismos e deveriam ser tomadas em conta em futuros estudos.

## 9 CONCLUSÕES

Observa-se pelo presente estudo a presença das importantes feições oceanográficas, como as Frentes na região mais ao Sul da área de estudo e as zonas de ressurgência na região do Cabo de Santa Marta e do Cabo Frio/São Tomé. Tais feições influenciaram a distribuição do picoplâncton autotrófico, onde houve um grande acúmulo de *Synechococcus* na região da frente 1, distante da região costeira, enquanto os *Prochlorococcus* foram encontrados em abundância na região costeira, próxima às zonas de ressurgência. Assim, o padrão de distribuição esperado no eixo costa-oceano, que seria de incremento para o caso dos *Prochlorococcus* e de decréscimo para os *Synechococcus*, foi alterado. Para o transecto de Mostardas, observou-se, com base nos dados de DNA Bacteriano, um aumento na contribuição relativa de *Prochlorococcus* seguido da diminuição dos *Synechococcus* com o afastamento da costa.

Estudos com maior escala temporal são necessários para compreender como a formação destas feições influencia sazonalmente a distribuição destes organismos pela região. Por fim, um estudo mais detalhado na escala vertical ajudaria a evidenciar a formação e a distribuição dos acúmulos de microrganismos em toda a coluna d'água em que ocorrem estas feições.

## **10 AGRADECIMENTOS**

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Brasileiro para o Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia (CNPq) pelo projeto no. 558267/2009-2 e com bolsa de estudos DTI-C através do INCT-Mar COI pelo processo 380582/2016-3. Gostaria de agradecer à Marinha do Brasil e à toda a tripulação do NHOc. Cruzeiro do Sul, assim como aos pesquisadores, pelo apoio durante os trabalhos de campo. Agradeço aos pesquisadores Ricardo Pollery e Carlos Alberto Eiras Garcia pelos dados físicos e de nutrientes dissolvidos utilizados no estudo

## 11 REFERÊNCIAS

- ACHA, E.M.; MIANZAN, H.W.; GUERRERO, R.A.; FAVERO, M.; BAVA, J. (2004); **Marine fronts at the continental shelves of austral South America**. *Journal of Marine Systems* 44:83-105.
- ACHA, E.M.; PIOLA, A.; IRIBARNE, O.; MIANZAN, E. (2015); **Ecological Processes at Marine Fronts: Oases in the Ocean**. Springer, Cham.
- AZAM, F. (1983); The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10:257–263 (1983).
- BELL, T., AND KALFF, J. (2001); **The contribution of picophytoplankton in marine and freshwater systems of different trophic status and depth**. *Limnol. Oceanogr.* 46,1243–1248.
- BERGO, N. M.; SIGNORI, C. N.; AMADO, A. M.; BRANDINI, F. P.; PELLIZARI, V. H. (2017); **The Partitioning of Carbon Biomass among the Pico- and Nano-plankton Community in the South Brazilian Bight during a Strong Summer Intrusion of South Atlantic Central Water**. *Frontiers Marine Science*, 28 July 2017 doi: 10.3389/fmars.2017.00238
- BERRI, A. V.; FONTES, M. L. S., FONSECA, A. L. O.; GARÇA, C. E. (2016); **Distribution of bacterioplankton on the continental shelf of Santa Catarina in the winter of 2010 under the shelf front influence**. Em processo de finalização.
- BRAGA, E.S.; CHIOZZINI, V.C.; BERBEL, G.B.B.; MALUF, J.C.C.; AGUIAR, V.M.C.; CHARO, M.; MOLINA, D.; ROMERO, S.I.; EICHLER, B.B. (2008); **Nutrient distributions over the Southwestern South Atlantic**

- continental shelf from Mar del Plata (Argentina) to Itajaí(Brazil): Winter– summer aspects.** Continental Shelf Research 28:1649–1661
- BOUMAN H. A., ULLOA O., SCANLAN D. J., (2006); **Oceanographic basis of the global surface distribution of Prochlorococcus ecotypes.** Science, 312: 918–921
- M.; MOLINA, D.; ROMERO, S.I.; EICHLER, B.B. (2008); **Nutrient distributions over the Southwestern South Atlantic continental shelf from Mar del Plata (Argentina) to Itajaí(Brazil): Winter– summer aspects.** Continental Shelf Research 28:1649–1661.
- BRANDINI, F.P.; JÚNIOR, M.N.; SIMIÃO, M.; CODINA, J.C.U.; NOERNBERG, M.C.A. (2014); **Deep chlorophyll maximum and plankton community response to oceanic bottom intrusions on the continental shelf in the South Brazilian Bight.** Continental Shelf Research 89:61–75.
- CALLIERI C., CORNO G., CARAVATI E., (2007); **Photosynthetic characteristics and diversity of freshwater Synechococcus at two depths during different mixing conditions in a deep oligotrophic lake,** J. Limnol., vol. 66 (pg. 81-89)
- CALVO-DIAZ, A. AND MORAN, X.A.G. (2006); **Seasonal dynamics of picoplankton in shelf waters of the southern Bay of Biscay.** Aquat. Microb. Ecol. 42, 159-174.
- CAMPOS, P.C.; MÖLLER, O. O.;PIOLA, A.R.; PALMA, E.D. (2013);**Seasonal variability and coastal upwelling near Cape Santa Marta (Brazil).** Journal Of Geophysical Research: Oceans, VOL. 118:1420–1433.

- CASTRO, B.M.; MIRANDA, L.B. (2005); **“A Plataforma Continental Sudeste”**.  
**In: Estrutura Termohalina e Circulação da Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e Chuí (RS)** cap I. O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste- Sul do Brasil. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- CAVENDER-BARES, K.K., MANN, E.L., CHISHOLM, S.W., ONDRUSEK, M.E. AND BIDIGARE, R.R. (1999); **Differential response of equatorial Pacific phytoplankton to iron fertilization**. *Limnol. Oceanogr.* 44, 237–246.
- CHANG, J., LIN, K.H., CHEN, K.M., GONG, G.C. AND CHIANG, K.P. (2003); **Synechococcus growth and mortality rates in the East China Sea: range of variations and correlation with environmental factors**. *Deep-Sea Res. II* 50, 1265–1278.
- CHARPY, L. AND BLANCHOT, J. (1998); **Photosynthetic picoplankton in French Polynesia atoll lagoon: Estimation of taxa contribution to biomass and production by flow cytometry**. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 162, 57-70.
- CHEN- TUNG, A.C.; BORGES, A.V. (2009); **Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: Continental shelves as sinks and near- shore ecosystems as sources of atmospheric CO<sub>2</sub>**. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 8- 10:578- 590
- CHISHOLM, S. W. et al. (1988). **A novel free-living prochlorophyte occurs at high cell concentrations in the oceanic euphotic zone**. *Nature* 334: 340-3.

- CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. (2006). **PRIMER v6: User Manual/Tutorial**. PRIMER-E, Plymouth, 192pp.
- FALKOWSKI P.G. ; RAVEN J.A. (1997) **Aquatic Photosynthesis**. Blackwell Science, Malden,MA.
- FIELD, C. B.; BEHRENFELD, M. J.; RANDERSON, J.T.; FALKOWSKI, P. (1998); **Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components**. Science. – 281 ,237
- FONTES, M. L. S.; BERRI, A. V.; CARVALHO, M.; FONSECA, A. L. O.; FREIRE, A. S.; ANTÔNIO, R. V. (2016); **Bacterioplankton distribution over the continental shelf off Santa Catarina, Brazil (26°S to 29°S)**. Em publicação.
- FENCHEL, T. (1988); **Marine plankton food chains, Annual Review of Ecology and Systematics**, 19, 19–38
- FENCHEL, T. (2008); “**The microbial loop – 25 years later**”. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 99-103
- GRASSHOFF, K., EHRHARDT, M., KREMLING, K., (1983); **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie, Weinheim.
- GREGORACCI G. B.; DOS SANTOS SOARES A. C.; MIRANDA M. D.; COUTINHO R. & THOMPSON F. L (2015); **Insights into the microbial and viral dynamics of a coastal downwelling-upwelling transition**. PLoS ONE 10, 1–14.
- GROB, C.; ULLOA, O.; CLAUSTRE, H.; HUOT, Y. ALARCON, G. & MARIE, D. (2007); **Contribution of picoplankton to the total particulate**

- organic carbon concentration in the eastern South Pacific.**  
Biogeosciences, 4(5), 837-852 doi:10.5194/bg-4-837-2007
- GUILLOU, L., JACQUET, S., CHRETIENNOT-DINET, M.J. AND VAULOT, D. (2001); **Grazing impact of two small heterotrophic flagellates on *Prochlorococcus* and *Synechococcus*.** Aquat. Microb. Ecol. 26, 201-207.
- HOBBIE, J.E.; DALEY, R.J.; JASPER, S. (1977); **Use of Nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy.** Applied and Environmental Microbiology 33, 1225–1228.
- IKEYA, T., OHKI, K., TAKAHASHI, M. AND FUYUTA, Y. (1997); **Study on phosphate uptake of the marine cyanophyte *Synechococcus* sp. NIBB 1071 in relation to oligotrophic environments in the open ocean.** Mar. Biol. 129, 195-202.
- ITO, R. G.; GARCIA, C. A. E.; TAVANO, V. M. (2016); **Net sea-air CO<sub>2</sub> fluxes and modelled pCO<sub>2</sub> in the southwestern subtropical Atlantic continental shelf during spring 2010 and summer 2011.** Continental Shelf Research 119; 68–84
- JIAO, N.; YANG, Y.; HONG, N. (2005); **Dynamics of autotrophic picoplankton and heterotrophic bacteria in the East China Sea.** Continental Shelf Research, 25(10): 1265–1279
- JOHNSON Z. I., ZINSER E. R., COE A. (2006); **Niche partitioning among *Prochlorococcus* ecotypes along ocean-scale environmental gradients.** Science, 311:1737–1740

- KIRCHMAN, D. (1983); **The production of bacteria attached to particles suspended in a freshwater pond.** *Limnology Oceanography* 28(5): 858-872
- LARUELLE, G. G.; DURR, H. H.; LAUERWALD, R. (2013); **Global multi-scale segmentation of continental and coastal waters from the watersheds to the continental.** *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 2029–2051
- LEFÈVRE, J. (1986); **Aspects of the biology of frontal systems.** *Advances in Marine Biology* 23:163- 299
- LEFÈVRE, N.; AIKEN, J.; RUTLLANT, J; DANERI, G.; LAVENDER, S.; SMYTH, T. (2002); **Observations of pCO<sub>2</sub> in The coastal upwelling off Chile: Spatial and temporal Extrapolation using satellite data.** *J.Geophys. Res.*107, 3055.
- LIN, L., HE, J., ZHAO, Y., ZHANG, F., AND CAI, M. (2012); **Flow cytometry investigation of picoplankton across latitudes and along the circum Antarctic Ocean,** *Acta Oceanol. Sin.*, 31, 134–142.
- LOPES, R.M.; et al. (2006) **Zooplankton and ichthyoplankton distribution on the southern Brazilian shelf: an overview.** *Scientia Marina* 2006
- MARIE, D.; SIMON, N.; GUILLOU, L. (2000); **In Living Color, Protocols in Flow Cytometry and Cell Sorting. Flow Cytometry Analysis of Marine Picoplankton.** Springer Lab Manual Section 5 Chapter 7 421-454.
- MARIE, D.; PARTENSKY, F.; JACQUET, S.; VAULOT, D. (1997). **Enumeration and cell cycle analysis of natural populations of marine picoplankton by flow cytometry using the nucleic acid stain SYBR Green-I.** *Appl. Environ. Microbiol.* 93:186-193.

- MOLLER, O.O.; PIOLA, A.R.; FREITAS, A.C.; CAMPOS, E.J.D. (2008); **The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America**. Continental Shelf Research 28:1607–1624.
- MOSER, G. A. O; CASTRO, N. O. ; TAKANOHASHI, N. O. (2016) **The influence of surfasse low-salinity waters and cold subsurface water masses on picoplankton and ultraplankton distribution in the continental shelf off Rio de Janeiro, SE Brazil**. Continental Shelf Research 120; 82–95.
- MOUTIN, T., THINGSTAD, T.F., VAN WAMBEKE, F., MARIE, D., SLAWYK, G., RAIMBAULT, P. AND CLAUSTRE, H. (2002); **Does competition for nanomolar phosphate supply explain the predominance of the cyanobacterium Synechococcus?** Limnol. Oceanogr. 47, 1562-1567.
- ODEBRECHT, C.; DJURFELDT, L. (1996) **The role of nearshore mixing on phytoplankton size structure off Cape Santa Marta Grande, southern Brazil (Spring 1989)**.. Archive of Fishery and Marine Research , Alemanha, v. 43, n.3, p. 217-230, 1996.
- PAN, L.A., ZHANG, J. AND ZHANG, L.H. (2007); **Picophytoplankton, nanophytoplankton, heterotrophic bacteria and viruses in the Changjiang Estuary and adjacent coastal waters**. J. Plankton Res. 29, 187-197.
- PAN, L.A., ZHANG, J., CHEN, Q. AND DENG, B. (2006); **Picoplankton community structure at a coastal front region in the northern part of the Sout China Sea**. J. Plankton Res. 28,337-343.

- PEREIRA, M.D.; SCHETTINI, C.A.F.; OMACHI, C.Y. (2009); **Caracterização De Feições Oceanográficas Na Plataforma De Santa Catarina Através de Imagens Orbitais**. Revista Brasileira de Geofísica 27(1):81-93.
- PIOLA, A.; MOLLER JR, O.; GUERRERO, R.; CAMPOS, E. (2008A); **Variability of the subtropical shelf front off eastern South America: Winter 2003 and summer 2004**. Continental Shelf Research 28, 1639-1648.
- PIOLA, A.; ROMERO, S.; ZAJACZKOVSKI, U. (2008B); **Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color**. Continental Shelf Research 28, 1556-1567.
- PIOLA, A.R.; JR., O.O.M.; PALMA, E.D. (2004); **El impacto del Plata sobre el océano Atlántico**. Ciencia Hoy 14:28-38.
- POMEROY, L. R. (1974); **The ocean's food web, a changing paradigm**. Bioscience 24:499–504.
- PORTER, K.G.; FEIG, Y.S. (1980); **The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora**. Limnology and Oceanography 25:943-948
- RIBEIRO, C. G.; MARIE, D.; SANTOS, A. L.; BRANDINI, F. P. ; Pellizari, V. H.; VAULOT, D. (2016a); **Pico and nanoplankton abundance and carbon stocks along the Brazilian Bight**. PeerJ, 4, e2587.
- RIBEIRO, C. G.; MARIE, D.; SANTOS, A. L.; BRANDINI, F. P. ; VAULOT, D. (2016); **Estimating microbial populations by flow cytometry: Comparison between instruments**. Limnology and Oceanography, Methods , v. 00, p. 00-00.

- ROUSSEAU, C. S.; GREGG, W. W. (2014); **Interannual Variation in Phytoplankton Primary Production at A Global Scale** Remote Sensing 2014, 6(1), 1-19
- SIGMAN, D.M.; HAIN, M.P. (2012); **The Biological Productivity of the Ocean.** Nature Education Knowledge 3 (6): 1–16. Retrieved 2015-06-01
- SCHLITZER, R., Ocean Data View, <http://odv.awi.de>, 2016.
- SHALAPYONOK, A., OLSON, R.J. AND SHALAPYONOK, L.S. (2001); **Arabian Sea phytoplankton during southwest and northeast monsoons 1995: composition, size structure and biomass from individual cell properties measured by flow cytometry.** Deep-Sea Res. Pt II 48, 1231-1261
- SHI, X. L.; MARIE, D.; JARDILLIER, L.; SCANLAN, D. J.; VAULOT, D. (2009); **Groups without cultured representatives dominate eukaryotic picophytoplankton in the oligotrophic South East Pacific Ocean.** Plos. One. 4, e7657.
- SIEBURTH, J. M. C. N.; SMETACEK, V.; LENZ, J.; (1978); **Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions.** Limnol.Oceanogr.23,1256–1263.
- SIGMAN, D. M.; HAIN M. P. (2012); **The Biological Productivity of the Ocean,** Nature Education, Vol 3, Issue 6.
- SMETACEK, V. (1999); **Revolution in the ocean.** Nature 401:647
- TING, C. S.; ROCAP, G.; KING, J.; CHISHOLM, S.W. (2002) **Cyanobacterial photosynthesis in the oceans: the origins and significance of divergent light-harvesting strategies.** Trends Microbiol. 10, 134–142.

- WATERBURY, J. B. ET AL. (1979); **Wide-spread occurrence of a unicellular, marine planktonic, cyanobacterium.** *Nature* 277: 293-4.
- WOLLAST, R. (1998); **Evaluation and comparison of the global carbon cycle in the coastal zone and in the open ocean.** In: Brink, K.H., Robinson, A.R. (Eds.), *The Sea*, Vol. 10. John Wiley & Sons, New York, pp. 213–252
- WORDEN, A.Z., NOLAN, J.K. AND PALENIK, B. (2004); **Assesing the dynamics and ecology of marine picophytoplankton: the importance of the eukaryotic component.** *Limnol. Oceanogr.* 49, 168-179.
- ZUBKOV, M.V., SLEIGH, M.A., TARRAN, G.A., BURKILL, P.H. AND LEAKEY, R.J.G. (1998); **Picoplanktonic community structure on an Atlantic transect from 50°N to 50°S.** *Deep-Sea Res. Pt I* 45, 1339–1355.

