

LUAN SAYEG MICHELAZZO

**Dinâmica da comunidade microbiana na cadeia  
Vitória-Trindade, Atlântico Sul Ocidental**

São Paulo

2023

LUAN SAYEG MICHELAZZO

**Dinâmica da comunidade microbiana na cadeia  
Vitória-Trindade, Atlântico Sul Ocidental**

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Biológica

Orientador: Prof. Dr. Frederico Pereira Brandini

São Paulo

2023

MICHELAZZO, Luan Sayeg. **Dinâmica da comunidade microbiana na cadeia Vitória-Trindade, Atlântico Sul Ocidental.** Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Biológica.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca Examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição \_\_\_\_\_

Julgamento \_\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição \_\_\_\_\_

Julgamento \_\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição \_\_\_\_\_

Julgamento \_\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os corpos que derramaram seu sangue suor e lágrimas na trágica história deste país. Viva aos povos indígenas e negros. Viva aos trabalhadores explorados. E viva a destruição de todas as condições que promovem o sofrimento do povo brasileiro.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço este trabalho a todos que fizeram parte dele e de mim durante a sua composição, direta ou indiretamente.

Agradeço especialmente a tripulação de todas embarcações do Instituto Oceanográfico, pelos conhecimentos transmitidos conversas, risos e pela possibilidade de obter os dados apresentados neste trabalho.

Agradeço também aos colegas do IO, LabMAR e ao professor Frederico por todo apoio acadêmico e emocional neste período.

E finalmente agradeço aos meus pais e as lindas amizades que preenchem minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

MICHELAZZO, Luan Sayeg. **Dinâmica da comunidade microbiana na cadeia Vitória-Trindade, Atlântico Sul Ocidental**. 2023. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Este trabalho apresenta a análise de dados biogeoquímicos obtidos em dois cruzeiros realizados sobre a cadeia de montes submarinos Vitória-Trindade, um no verão e outro no inverno de 2017. Foram realizadas análises de biomassa microbiana por citometria de fluxo, produtividade primária por C14, nutrientes e lançamentos de CTD. Os resultados mostraram que a biomassa variou de 14,0 a 69,2 gC.m/2 no verão e 16,0 a 45,0 gC.m/2 no inverno. A produtividade primária nas proximidades da cadeia foi de 0,2 a 0,7 gC/m<sup>2</sup>/dia no verão e de 0,1 a 3,0 gC./m<sup>2</sup>/dia no inverno. Foram observadas diferenças entre a comunidade microbiana e produtividade primária entre as estações do ano, influenciadas fortemente pelo estado de estratificação da colua de água na zona eufótica, e em diferentes setores da cadeia. Concluiu-se que os montes submarinos da cadeia Vitória-Trindade podem estender as condições biogeoquímicas de plataforma continental para a região oceânica.

Palavras-chave: Biogeoquímica; Montes Submarinos; Produtividade primária; Fotossíntese; Fitoplâncton; Cianobactérias.

## ABSTRACT

MICHELAZZO, Luan Sayeg. **Microbial community dynamics at the Vitória-Trindade seamount chain, Western South Atlântic**. 76 f. 2023. Dissertation (Masters) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

This work presents the analysis of biogeochemical data obtained in two cruises carried out on the Vitória-Trindade seamount chain, one in summer and one in winter of 2017. Microbial biomass analysis by flow cytometry, primary productivity by C14, nutrients and CTD releases were performed. The results showed that biomass ranged from 14.0 to 69.2 gC.m/2 in summer and 16.0 to 45.0 gC.m/2 in winter. Primary productivity in the vicinity of the chain was 0.2 to 0.7 gC/m2/day in summer and 0.1 to 3.0 gC/m2/day in winter. Differences were observed between microbial community and primary productivity between seasons, strongly influenced by the state of stratification of the water column in the euphotic zone, and in different sectors of the chain. It was concluded that the seamounts of the Vitória-Trindade chain can extend the biogeochemical conditions of the continental shelf to the oceanic region.

Keywords: Biogeochemistry; Seamounts; Primary productivity; Photosynthesis; Phytoplankton; Cyanobacteria.

## Abstract Lista de Figuras

1.1	Hidrodinâmica em montes submarinos . . . . .	4
1.2	Isopicnais em montes submarinos . . . . .	5
1.3	Cadeia Vitória-Trindade . . . . .	6
1.4	Dipolo cadeia Vitória-Trindade . . . . .	7
1.5	Clo-a MODIS . . . . .	8
3.1	Malha amostral . . . . .	11
4.1	Perfis batimétricos Verão . . . . .	17
4.2	Temperatura Verão . . . . .	17
4.3	kpar Verão . . . . .	18
4.4	Nitrat, fosfato e silicatos - Verão . . . . .	19
4.5	NP - Verão . . . . .	20
4.6	Clo-a - Verão . . . . .	21
4.7	Procariotos - Verão . . . . .	22
4.8	Eucariotos - Verão . . . . .	23
4.9	Biomassa total integrada Verão . . . . .	25
4.10	Biomassa eucariota integrada Verão . . . . .	26
4.11	Biomassa picoplanctônica integrada Verão . . . . .	27
4.12	Produtividade primária Verão . . . . .	27
4.13	Perfis batimétricos Inverno . . . . .	28
4.14	Temperatura Inverno . . . . .	29
4.15	Salinidade Inverno . . . . .	30
4.16	Oxigênio Inverno . . . . .	31
4.17	kpar Inverno . . . . .	31
4.18	Nitrato Inverno . . . . .	32

4.19	Fosfato Inverno . . . . .	33
4.20	Silicatos Inverno . . . . .	34
4.21	NP Inverno . . . . .	35
4.22	Clo-a Inverno . . . . .	36
4.23	Bactérias heterotróficas Inverno . . . . .	37
4.24	<i>Prochlorococcus</i> Inverno . . . . .	38
4.25	<i>Synechococcus</i> Inverno . . . . .	39
4.26	Pico eucariotos Inverno . . . . .	40
4.27	Nano eucariotos Inverno . . . . .	41
4.28	<i>Cryptophyceae</i> Inverno . . . . .	42
4.29	Biomassa total integrada Inverno . . . . .	43
4.30	Biomassa eucariota integrada Inverno . . . . .	44
4.31	Biomassa picoplanctônica integrada Inverno . . . . .	45
4.32	Produtividade primária Inverno . . . . .	46
5.1	Diagrama TS . . . . .	47
5.2	Clo-a, $zNO_3$ e CM . . . . .	48
5.3	PCA - Verão . . . . .	53
5.4	PCA - Inverno . . . . .	54

## Lista de Tabelas

3.1	Coefficientes utilizados na calibração dos dados de concentração de clorofila <i>in situ</i> . <i>CE</i> : Corrente no escuro; <i>s</i> : Fator de calibração . . . . .	12
4.1	Composição percentual na biomassa total - Verão . . . . .	25
4.2	Composição percentual na biomassa eucariota - Verão . . . . .	26
4.3	Composição percentual na biomassa do picoplâncton - Verão . . . . .	27
4.4	Composição percentual na biomassa total - Inverno . . . . .	43
4.5	Composição percentual na biomassa eucariota - Inverno . . . . .	44
4.6	Composição percentual na biomassa do picoplâncton - Inverno . . . . .	45
5.1	Comparação da biomassa . . . . .	49
5.2	Comparação da PP . . . . .	51
5.3	Resultados da análise de componentes principais no cruzeiro de verão. . . . .	53
5.4	Resultados da análise de componentes principais no cruzeiro de inverno. . . . .	54

# Sumário

1. <i>Introdução</i> . . . . .	1
1.1 Hipótese . . . . .	8
2. <i>Objetivos principal e específicos</i> . . . . .	9
2.1 Objetivo principal . . . . .	9
2.2 Objetivos específico . . . . .	9
3. <i>Materiais e método</i> . . . . .	10
3.1 Malha amostral . . . . .	10
3.2 Batimetria . . . . .	11
3.3 Dados ambientais (CTD) . . . . .	11
3.4 Pigmentos fotossintéticos . . . . .	12
3.5 Nutrientes . . . . .	12
3.6 Produção primária fotossintética . . . . .	13
3.7 Citometria de fluxo . . . . .	14
4. <i>Resultados</i> . . . . .	16
4.1 Verão . . . . .	16
4.1.1 Batimetria . . . . .	16
4.1.2 Descritores físicos . . . . .	17
4.1.2.1 CTD . . . . .	17
4.1.2.2 Transparência da água . . . . .	18
4.1.3 Nutrientes . . . . .	19
4.1.4 Descritores biológicos . . . . .	21

4.1.4.1	Clorofila-a . . . . .	21
4.1.4.2	Citometria . . . . .	22
4.1.4.3	Biomassa integrada . . . . .	24
4.1.4.4	Produtividade primária . . . . .	27
4.2	Inverno . . . . .	28
4.2.1	Batimetria . . . . .	28
4.2.2	Descritores físicos . . . . .	29
4.2.2.1	CTD . . . . .	29
4.2.2.2	Transparência da água . . . . .	31
4.2.3	Nutrientes . . . . .	32
4.2.4	Descritores biológicos . . . . .	35
4.2.4.1	Clorofila-a . . . . .	35
4.2.4.2	Citometria . . . . .	36
4.2.4.3	Biomassa integrada . . . . .	42
4.2.4.4	Produtividade primária . . . . .	45
5.	<i>Discussão</i> . . . . .	47
6.	<i>Conclusões</i> . . . . .	56
7.	<i>Conclusões</i> . . . . .	56
	<i>Referências</i> . . . . .	58

## 1

## Introdução

Os regiões oceânicas tropicais e sub-tropicais recebem radiação solar de grande intensidade ao longo de todo o ano, ocasionando colunas de água usualmente estratificadas, nas quais o transporte vertical de águas profundas para a superfície é muito baixo ou inexistente, inviabilizando a reposição de nutrientes na camada eufótica por processos físicos e tornando estes ambientes oligotróficos (Lewis et al., 1986) . Este cenário pode ser observado na maior parte do oceano global, uma vez que estão sob este regime os grandes giros do Atlântico e Pacífico, que compõe mais de 60% da área de superfície do oceano global e contribuem com pelo menos 30% da fixação de carbono no oceano (Marañón et al., 2003) .

Para compreender a relação entre a disponibilidade de nutrientes, os produtores primários dominantes e o balanço metabólico na zona eufótica, é preciso discriminar a comunidade microbiana em termos de grupos funcionais (Ward et al., 2012) baseados em suas dimensões, papéis ecológicos e representatividade no reservatório de carbono microbiano.

Comunidades abundantes do microfitoplâncton ( $> 20 \mu m$ ), como diatomáceas, coccolitoforídeos e dinoflagelados, não se sustentam em condições oligotróficas pois estão limitadas pelas baixas concentrações de compostos nitrogenados e silicato (Howarth, 1988; Beardall et al., 2001; Mousing et al., 2018). Portanto, nessas circunstâncias são observadas poucas células, que se sustentam através do microcosmo, chamado de fcoesfera, formado ao seu redor, onde a regeneração bacteriana permite sua sobrevivência até que fontes externas de nutrientes sejam disponibilizadas (Azam et al., 1983). Em cenários como regiões costeiras e de ressurgência, este grupo alcança grande concentrações de células, formando florações com altas taxas de produtividade primária (Gaeta, 1999; Dore et al., 2008).

O nanofitoplâncton (entre 2 e 20  $\mu m$ ) é composto também por clorofíceas, criptofíceas,

prasinofíceas e dinoflagelados menores. São importantes contribuidores para a produção primária na maioria das comunidades planctônicas (Detmer e Bathmann, 1997; Tarran et al., 2001). Além da autotrofia, parte significativa da obtenção de energia deste grupo vem da mixotrofia, (Hartmann et al., 2012; Flynn et al., 2012; Caron, 2016; Ward e Follows, 2016), o que torna esta fração do fitoplâncton um importante reservatório de carbono que vincula o picoplâncton aos níveis superiores da teia trófica.

O grupo de autótrofos com o menor tamanho é o picofitoplâncton ( $< 2 \mu m$ ), essenciais em termos de biomassa, diversidade e produtividade nas águas de todo o planeta (Veldhuis et al., 2005; Denaro et al., 2013), especialmente em águas oligotróficas (Partensky et al., 1996; Landry et al., 1996). Organismos desta escala podem ser eucariotos e procariotos, com a fração procariota representada principalmente por cianobactérias do gênero *Prochlorococcus* e *Synechococcus*, capazes de realizar a fotossíntese com concentrações sub-micromolares de nitrogênio e fósforo (Partensky et al., 1999). Sua abundância é controlada por organismos bacterívoros do nanoplâncton. A diversidade genética dos pico eucariotos é enorme com representantes em praticamente todos os grupos algais (Moon-van der Staay et al., 2001; Simon et al., 1994; Buitenhuis et al., 2012).

Todavia, a manutenção da base da teia trófica e do ciclo do carbono nos oceanos não depende exclusivamente dos autótrofos; o picoplâncton procarioto heterótrofo, que domina o oceano em termos de abundância, diversidade e atividade metabólica (Azam e Malfatti, 2007). São bactérias heterótrofas que utilizam a matéria orgânica dissolvida como fonte de energia, utilizando um reservatório de carbono indisponível à teia trófica tradicional (Azam, 1998; Ducklow e Carlson, 1992; Ducklow, 2000), configurando a alça microbiana. Parte deste material é incorporado em sua biomassa enquanto o restante é respirado ( $CO_2$ ) e excretado novamente em matéria orgânica dissolvida e nutrientes (remineralização) (Legendre e Rassoulzadegan, 1995). São comumente predados pelo nanoplâncton (Azam et al., 1983), configurando o elo entre o reservatório de carbono orgânico dissolvido e o microzôoplancton, e conseqüentemente, entre os níveis superiores da teia trófica (Legendre e Rassoulzadegan, 1995).

O papel desses grupos no ciclo do carbono está intrinsecamente ligado às condições físicas do ambiente. Alterações no regime de correntes e no transporte vertical podem modificar a composição da comunidade microbiana na escala de horas (Harding Jr et al., 1987; Stocker, 2012), dependendo das circunstâncias nutritivas/ecológicas a qual estes são

submetidos.

Em locais onde a fertilização por processos físicos persistir por tempo suficiente (ambientes eutróficos), o microfitoplâncton é o mais representativo em biomassa entre os autótrofos (Gaeta et al., 1995), configurando uma teia trófica curta na qual a transferência energética entre níveis tróficos é otimizada pela elevada produtividade primária. Esse tipo de produção primária é chamada de produção nova, em razão da introdução de nutrientes "novos" na camada eufótica, principalmente  $NO_3^-$  e  $NO_2^-$ . A produtividade primária líquida (PPL) nesses ambientes é positiva (diferença entre o carbono reduzido pelos produtores primários e o carbono oxidado pela respiração celular), o que faz com que ambientes eutróficos sejam exportadores de matéria orgânica (Duarte et al., 2013; Williams et al., 2013).

Em situações oligotróficas a produção regenerada ganha importância. Esta é baseada na fixação de carbono pelo fitoplâncton vinculada aos nutrientes (principalmente amônio) excretados por bactérias heterotróficas na decomposição da matéria orgânica. A produção primária neste caso é protagonizada por células autótrofas menores, o nano e picofitoplâncton, cujas demandas nutritivas são menores. No entanto, as taxas de eficiência de transferência energéticas entre níveis da teia trófica e fixação de carbono são expressivamente mais baixas, o que faz com que a PPL em ambientes oligotróficos seja muito pequena ou negativa (Duarte et al., 2013; Williams et al., 2013).

Feições batimétricas alteram a circulação vertical da coluna de água na zona eufótica em águas oligotróficas, e pode aumentar a PPL, deslocando o balanço metabólico heterotrofo para autotótrofo. É o que ocorre na zona eufótica sobre montes submarinos (Duarte et al., 2013; Williams et al., 2013). Estes se destacam do assoalho adjacente em regiões oceânicas sem alcançar a superfície. São, via de regra, de origem vulcânica com o formato cônico e base circular ou elíptica (Wessel, 2007). A distribuição dos montes submarinos ocorre nos oceanos de todo o planeta, com área aproximada de 29 milhões de quilômetros quadrados, maior que a de plataformas continentais ( $24 \text{ km}^2$ ) (Etnoyer et al., 2010). Devido à estrutura abrupta dos montes submarinos em relação ao assoalho oceânico, são esperadas anomalias no campo de correntes local (Royer, 1978; Roden, 1987). Quando o topo de montes submarinos está próximo ou dentro da zona eufótica, essas anomalias podem alterar a profundidade da picnoclina, modificando o estado nutricional da região e a produtividade primária do fitoplâncton (Boehlert e Genin, 1987) e mudando a composição

da comunidade biológica quando comparada à mesmas profundidades na plataforma continental e talude (Hubbs, 1959). Algumas propriedades dos montes e do ambiente oceânico ao redor determinam o modo e intensidade do efeito nos montes na hidrodinâmica local. Essas propriedades incluem o tamanho e formato dos montes, representados pela largura ( $L$ ) e altura relativa do monte ( $h_o$ ) em relação a profundidade  $H$ ; o campo de correntes local, representado pelo fluxo médio ( $U$ ), fluxo de maré ( $U_t$ ); e o campo de densidade local ( $\rho$ ) e os efeitos planetários de rotação ( $\Omega$ ) (Fig. 1.1).

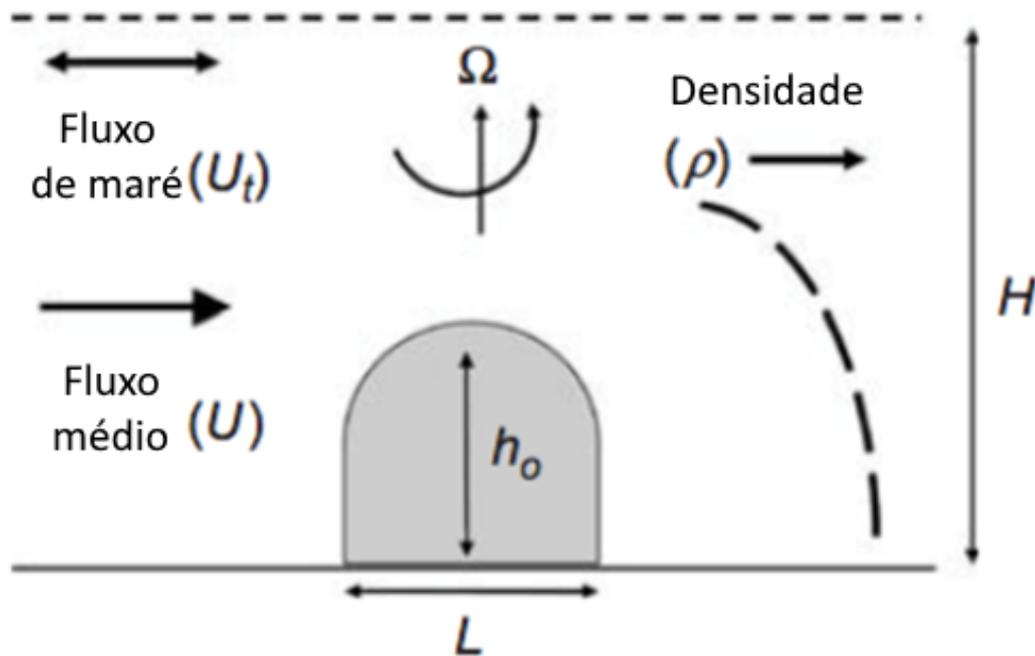


Figura 1.1: Esquema dos principais fatores físicos que afetam a hidrodinâmica local próxima a montes submarinos. Adaptado de White et al. (2007).

Quando um fluxo hidrodinâmico homogêneo e estável em um referencial em rotação encontra um obstáculo, a tendência é a aceleração do fluxo em um dos lados (dependendo do hemisfério), formando um padrão isolado de circulação anti-ciclônica sobre a estrutura. Caso não haja estratificação significativa na coluna d'água, essa estrutura hidrodinâmica alcança a superfície, formando as chamadas Colunas de Taylor (Huppert e Bryan, 1976). Em caso de estratificação, o movimento perde energia em direção a superfície formando o Cone de Taylor. Este último efeito já foi observado em montes submarinos (Dower et al., 1992; Genin e Dower, 2007) e está associado à elevação das picnoclinas sobre os montes (Genin e Boehlert, 1985; Genin e Dower, 2007), como observado por Genin e Boehlert (1985) (Fig. 1.2).

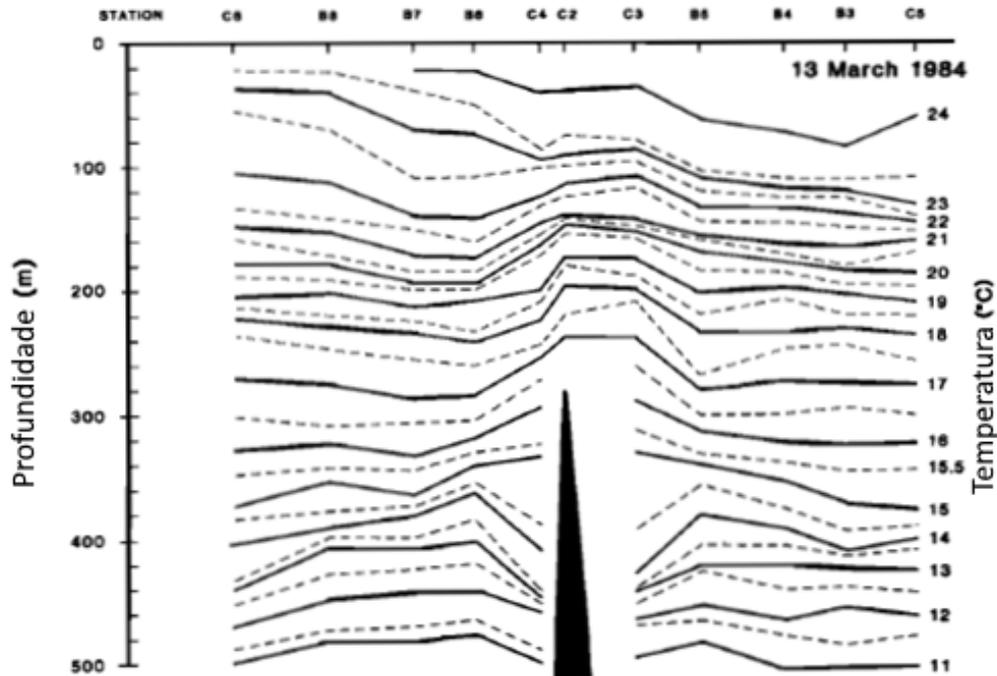


Figura 1.2: Elevação das isopicnais sobre o monte submarino Minami-Kasuga (Japão). Adaptado de Genin e Boehlert (1985).

A colisão de giros e vórtices com montes submarinos é comum em muitas regiões do globo (White et al., 2007). Esse fenômeno é responsável pela advecção de diferentes massas d'água e suas propriedades para os montes, que podem alterar as condições locais (Bower et al., 1995; Richardson et al., 2000; Miller et al., 2005).

Fluxos gerados por maré também podem gerar células de circulação anti-ciclônica. A retificação da maré acontece a partir das interações não-lineares entre as correntes de maré com inclinações na batimetria, que por um efeito combinado da aceleração topográfica e fricção com o fundo resulta uma assimetria no transporte durante um ciclo de maré (Eriksen, 1991), podendo elevar as picnoclinas de maneira semelhante ao efeito do Cone de Taylor (White et al., 2007).

Em situações nas quais a inclinação do leito marinho está na mesma direção do ângulo de propagação de ondas internas, é possível que haja quebra destas ondas causando mistura turbulenta na interface entre massas d'água. Este efeito pode se somar aos cones de Taylor, fazendo com que as taxas de mistura vertical sobre montes submarinos sejam de 10 a 100 vezes maior do que quando comparadas à regiões oceânicas longe de interferência batimétricas (Toole et al., 1997; Kunze e Boss, 1998).

Os efeitos dos fenômenos hidrodinâmicos gerados pelos montes submarinos na produção

biológica já foram avaliados em diversos estudos (Meincke, 1971; Vastano e Warren, 1976; Tokarev et al., 2003; Christiansen e Wolff, 2009; Mendonça et al., 2012), nos quais foram observadas elevação dos máximos de clorofila, aumento da produtividade primária e mudanças na composição de micro-organismos fotossintetizantes. No entanto, é difícil no meio natural dissociar o efeito dessas anomalias batimétricas à interferência de fenômenos locais, devido ao fato de cada monte submarino ser um caso único (Tokarev et al., 2003).

A cadeia Vitória-Trindade no Oceano Atlântico Sul Ocidental, é formada por cerca de 30 montes submarinos caracterizados como edifícios vulcânicos, dos quais 17 tem mais de 2500 metros de altura relativa (Motoki et al., 2012), e 11 estão com o topo entre 10 e 110 m de profundidade (Meirelles et al., 2015). A cadeia tem distribuição praticamente zonal em  $20,5^{\circ}S$ , desde a quebra da plataforma continental até as ilhas Trindade e Martin Vaz, com cerca de 950 km de extensão. (Fig. 1.3)

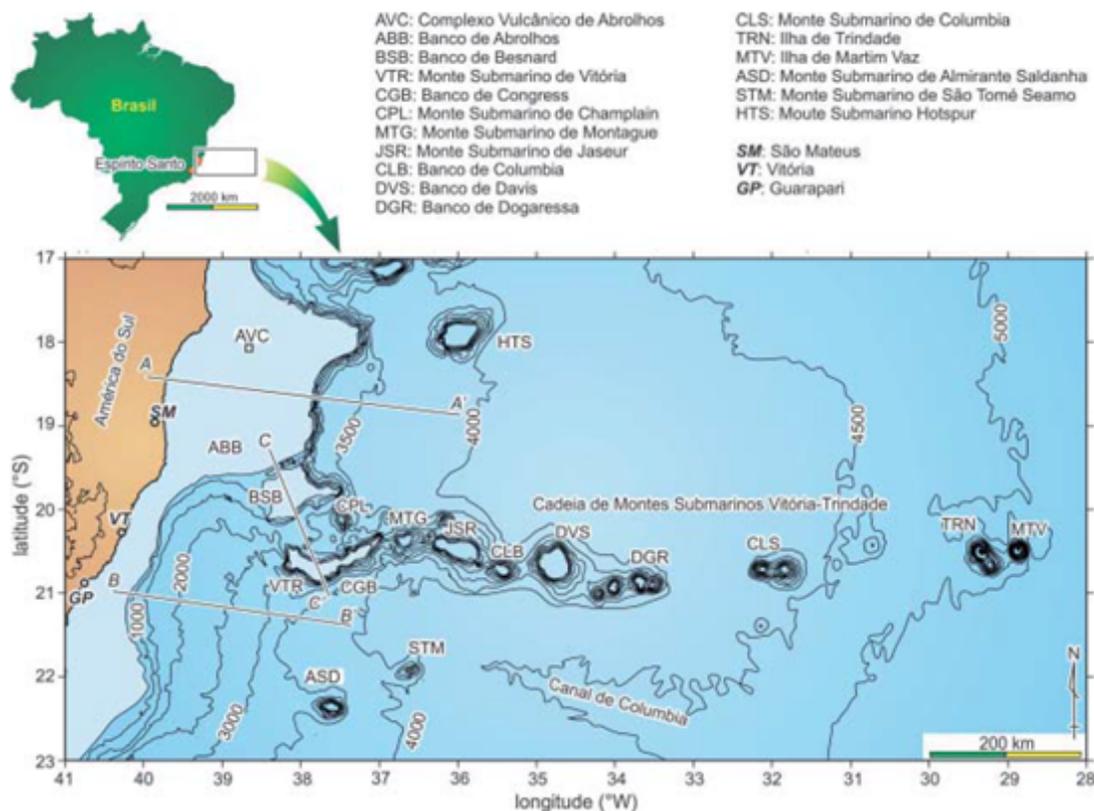


Figura 1.3: Cadeia Vitória-Trindade. Retidado de Motoki et al. (2012).

Lubiana e Dias Júnior (2016) publicaram um trabalho sobre a composição do micro e mesoplâncton na região da cadeia. Foi encontrada grande diversidade de organismos nesta escala de tamanho, principalmente dinoflagelados, muitos deles mixotróficos ou associados a bactérias diazotróficas. Os autores também evidenciaram a escassez de estudos sobre

o fitoplâncton na região e no país, e recomendaram que sejam feitos trabalhos sobre as frações menores dos autótrofos na cadeia Vitória-Trindade.

Meirelles et al. (2015) sugerem em seu estudo sobre recifes mesofóticos na cadeia, indícios de acoplamento bento-pelágico devido a alta diversidade, abundância e riqueza microbiana associada aos leitos de rodolitos e ao aumento de concentração de clorofila-a e feofitinas na coluna de água. A cadeia também já foi identificada como um foco de produtividade bacteriana por Andrade et al. (2004).

Do ponto de vista hidrodinâmico, a cadeia é fortemente influenciada pela Corrente do Brasil (CB) na porção oeste, com a formação do Vórtice de Vitória (VV) ao sul da cadeia a partir de meandros ciclônicos na CB (Arruda et al., 2013). Pode haver interação do VV com o Vórtice de Abrolhos (VA) e formando uma estrutura dipolo que se propaga para o norte (Fig. 1.4).

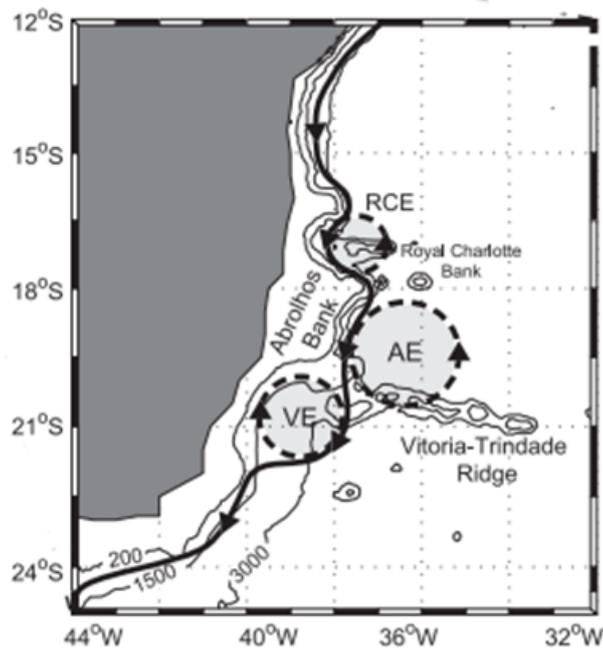


Figura 1.4: Formação de um dipolo entre o VV e VA. Modificado de Arruda et al. (2013).

Entre os vórtices de um dipolo, há potencial para geração de velocidades verticais intensas devido a processos de submesoescala (Pidcock et al., 2013). Este fenômeno pode proporcionar o transporte de nutrientes para a zona eufótica, tornando estas estruturas hidrodinâmicas importantes para a produção primária.

Devido à ausência de fatores que interfiram na produtividade primária na região dos montes, principalmente na região mais afastada da plataforma continental, espera-se que as

variações na produtividade primária e na comunidade microbiana sejam associadas apenas a presença dos montes. Pela média anual da concentração de clorofila-a em 2017, obtida pelo conjunto de dados do sensor MODIS a bordo do satélite Aqua da NASA, é possível observar concentrações maiores na região da cadeia (Fig. 1.5).

Desde janeiro de 2014 está em discussão a criação de uma unidade de conservação na cadeia Vitória-Trindade, justificada pela grande biodiversidade (Pinheiro et al., 2014, 015a,b, 2017) e pela alta biomassa de peixes recifais na região (Pinheiro et al., 2011; Moraes et al., 2017). Os resultados obtidos neste trabalho podem ajudar a entender os processos na base da teia trófica que viabilizam tamanha diversidade, auxiliando na tomada de decisões, além de preencher uma lacuna de estudos sobre a comunidade microbiana na região. Neste contexto, este trabalho pretende avaliar o efeito da cadeia de montes submarinos Vitória-Trindade na composição da comunidade microbiana do Oceano Atlântico Ocidental.

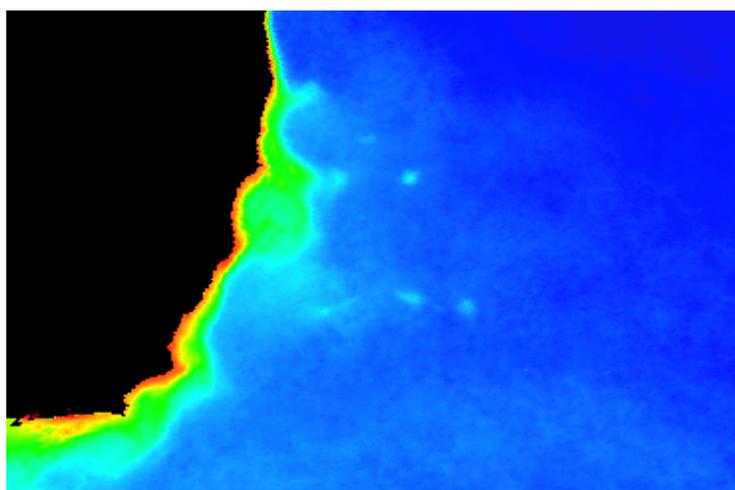


Figura 1.5: Concentração de clorofila-a, componente anual, 2017 (MODIS Aqua: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/13>)

## 1.1 Hipótese

A topografia ao longo da cadeia Vitória-Trindade muda a composição da comunidade microbiana, aumentando a produtividade primária nas águas oligotróficas do Atlântico Sul

---

Ocidental.

## 2

---

# Objetivos principal e específicos

## 2.1 *Objetivo principal*

Observar o efeito dos montes submarinos na produtividade primária e na dinâmica espacial da comunidade microbiana na base da teia trófica nas águas oligotróficas do Oceano Atlântico Sul Ocidental.

## 2.2 *Objetivos específico*

1. Medir taxas de fotossíntese em estações selecionadas ao longo da cadeia Vitória-Trindade através da técnica do C-14 e incubações in situ simulado
2. Identificar alterações no tamanho e composição da comunidade microbiana na presença de montes submarinos através de análises de citometria de fluxo.
3. Correlacionar as variáveis ambientais locais e macronutrientes com a composição da comunidade microbiana sobre a cadeia Vitória-Trindade.

---

# 3

---

## Materiais e método

### 3.1 Malha amostral

Este trabalho utilizou dados coletados nas campanhas amostrais no verão (janeiro) e inverno (agosto) de 2017 a bordo do N.Oc. Alpha Crucis do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo no âmbito do projeto FAPESP 15/21729 – 4 "*The role of the Vitória-Trindade Ridge in the generation of sub and meso-scale dynamics*" em parceria com a Universidade Federal de Rio Grande (FURG) e *Station Biologique* de Roscoff, França. A amostragem na campanha de verão se deu em 18 estações ao longo da cadeia de montes submarinos (#318 a #335), em um transecto zonal entre as latitudes 21S e 20S. Na campanha de inverno, devido a mudanças no projeto FAPESP, foram priorizados os extremos da cadeia, nas regiões oceânica (#380 a #385) e costeira (#389 a #404), com transectos a norte e a sul em ambos extremos, e sobre a cadeia apenas na região costeira. (Fig. 3.1).

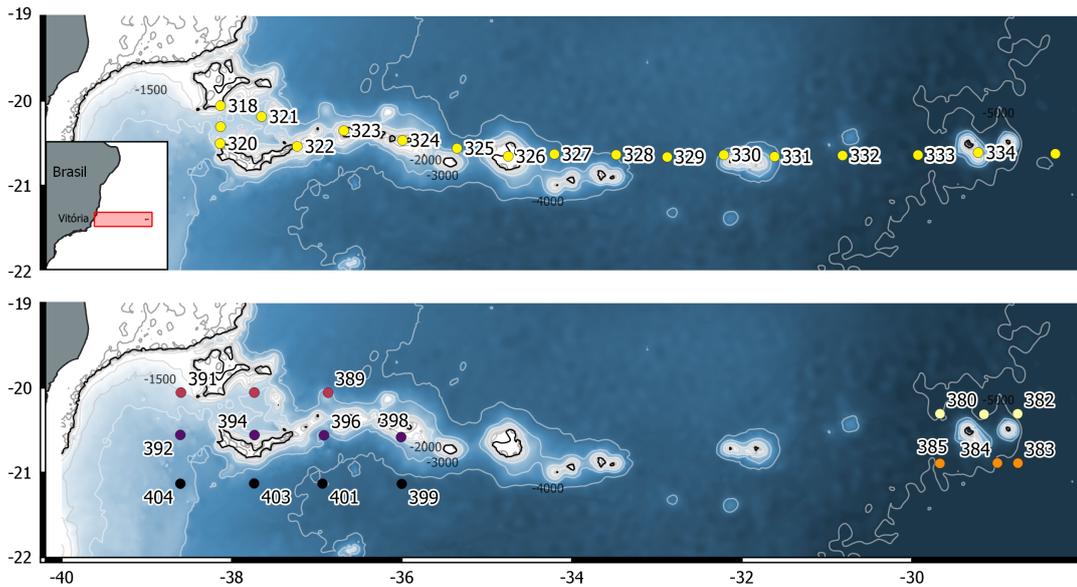


Figura 3.1: Mapas dos cruzeiros oceanográficos. (A) Janeiro de 2017; (B) Agosto de 2017. As cores na figura B representam os diferentes transectos amostrados na campanha de inverno.

## 3.2 Batimetria

A batimetria ao longo da cadeia Vitória-Trindade foi retirada do banco de dados de livre acesso GEBCO. Os dados rasterizados foram carregados no software QGIS 3.2 para o cálculo das isóbatas. As distâncias entre estações foram calculadas à partir do trajeto realizado pela embarcação, em oposição a distância geográfica entre os pontos, de maneira que a batimetria nas regiões entre estações representam a profundidades navegadas.

## 3.3 Dados ambientais (CTD)

Dados de temperatura, condutividade e pressão *in situ* foram coletados com o CTD 911Plus da Seabird. Nele também estavam acoplados sensores ópticos Turner Cyclops de fluorescência da clorofila-a, oxigênio dissolvido. Estes dados foram analisados pelo Laboratório de Dinâmica Oceânica (LaDO) do Instituto Oceanográfico da USP. A profundidade da camada de mistura foi determinada como a profundidade em que a temperatura foi 0.5 °C menor em relação a superfície.

As concentrações de clorofila-a foram calculadas a partir da equação: 3.1.

$$[clo - a] = (V - CE) * s \quad (3.1)$$

onde  $V$  representa a voltagem medida pelo sensor,  $CE$  a corrente lida pelo sensor na água destilada no escuro, e  $s$  o fator de calibração obtido em laboratório comparando as medidas do sensor com padrões conhecidos apenas para a clorofila-a, em função da impossibilidade de obter um padrão para o pigmento. Durante as coletas os sensores foram utilizados em sensibilidade de 10 e 100 vezes de ganho eletrônico, carecendo de duas equações com os coeficientes na tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Coeficientes utilizados na calibração dos dados de concentração de clorofila-a *in situ*.  $CE$ : Corrente no escuro;  $s$ : Fator de calibração

Sensor	Ganho	$CE$	$s$
Clo-a	10x	0.0127	3.565
	100x	0.1770	0.303

### 3.4 Pigmentos fotossintéticos

Para análises de pigmentos, foram selecionadas 6 profundidades na zona eufótica. Cerca de 1-2 L da água coletada pelo sistema CTD-Rosette foram imediatamente filtradas em membranas de  $0,7 \mu m$  (GF/F, 25 mm de diâmetro) com auxílio do manifold e da bomba a vácuo. As membranas foram armazenadas em nitrogênio líquido até a extração e análise no Laboratório de Produção Primária (LaPP, IO-USP), segundo Welschmeyer (1994).

### 3.5 Nutrientes

Cerca de 50 mL de água foram filtrados em membranas GF/F com auxílio da bomba a vácuo, e conservados em tubos Falcon e armazenados a  $-20^{\circ}C$  até a análise. Dessas amostras foram analisados nitrito, nitrato, fosfato e silicato em um analisador automático AA3 da SEAL Analytical Inc., de acordo com Grasshoff et al. (2009) adaptado segundo o protocolo fornecido pelo fabricante. Para amônio, alíquotas de 50 mL de água do mar foram filtradas através da membrana GF/F e conservadas em frascos âmbar de 75 mL a  $-20^{\circ}C$  para posterior quantificação em espectrofotômetro Hitachi U100, seguindo o método descrito por Grasshoff et al. (2009).

### 3.6 Produção primária fotossintética

As amostras para os experimentos foram coletadas com o sistema CTD-Rosette. Com auxílio do radiômetro PNF 300 (*Profiling Natural Fluorometer System*) da *Biospherical Instruments Inc.*, foram medidas a radiação de superfície ( $I_0$ ) e os coeficientes de extinção da luz ( $k$ ), podendo assim serem calculadas, de acordo com a equação 3.2, 10 profundidades ( $z$ ) da zona eufótica que representassem 10 diferentes níveis de luz: 100%, 67%, 30%, 20%, 14%, 10%, 6%, 4%, 2% e 0,56%. Esses níveis foram selecionados devido a disponibilidade comercial de filtros de luz azul.

$$I_z = I_0 e^{-kz} \quad (3.2)$$

No cruzeiro de verão foram realizados três experimentos de produção primária, nos quais as estações foram selecionadas de acordo com a transparência da água, das áreas muito oligotróficas influenciadas pelo Giro Subtropical ( $k = 0,03$ ) e mais produtivas e costeiras ( $k = 0,04$ ), influenciadas pela ressurgência de Cabo Frio. No inverno foram realizados seis experimentos; três na porção leste da cadeia, nas proximidades da Ilha Trindade, e três na porção oeste, próximo a quebra da plataforma, de acordo com a disponibilidade do experimento durante o embarque.

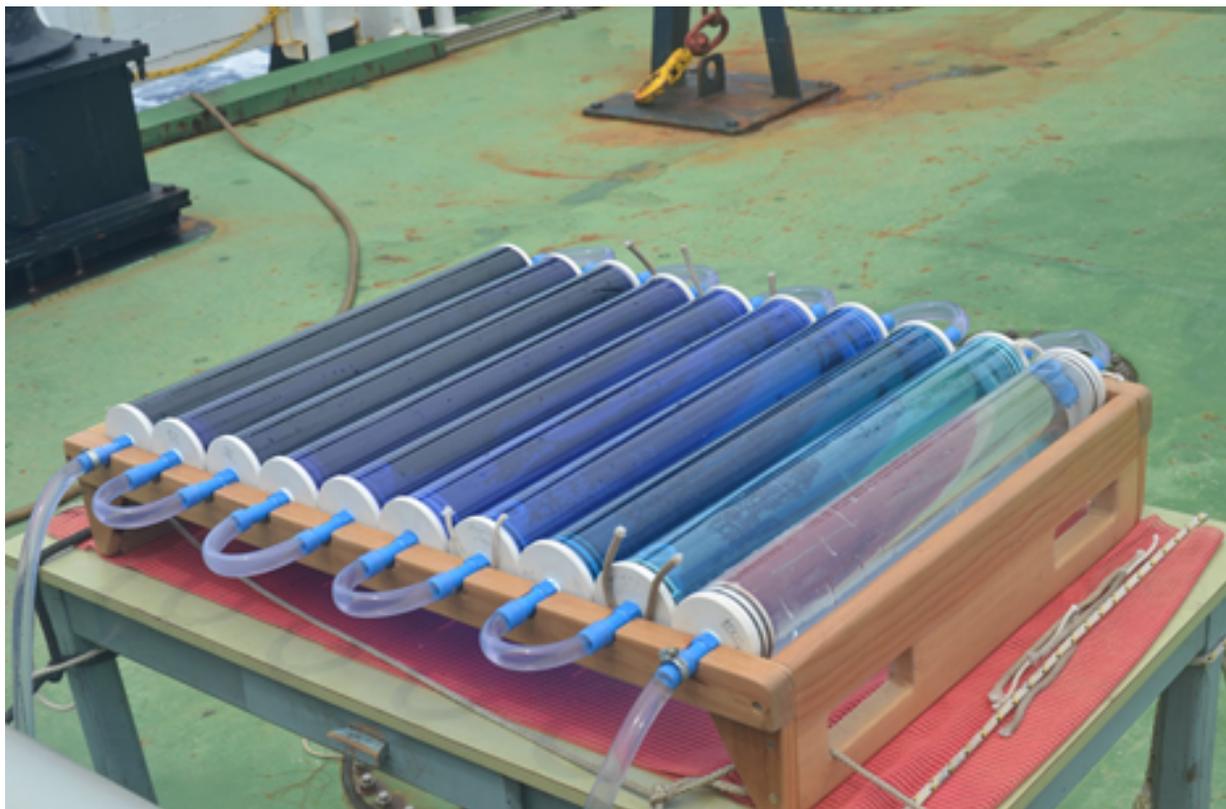


Figura 3.2: Amostras incubadas *in situ* simulado nos 10 níveis de luz

Para os ensaios *in situ* simulado foram coletados cerca de 60 mL de amostra de água, colocadas em frascos claros (réplicas) e escuros (controles) e incubados com  $HC^{14}O_3^-$  na incubadora em temperatura semelhante a ambiental e controlada com uso de resfriadores e bombas de água. Após cerca de doze horas de incubação, as amostras foram filtradas em membranas de  $0,22 \mu m$  com auxílio de bomba a vácuo. Essas membranas foram fumegadas com ácido clorídrico para eliminar o  $^{14}CO_2$  excedente, e colocadas em vials de cintilação com 5-10 mL de líquido de cintilação (Steeman-Nielsen, 1952; Teixeira, 1973). As amostras foram conservadas no escuro em geladeira até a leitura no cintilador líquido (PerkinElmer Tri-Carb 2810) disponível no Laboratório de Radioisótopos do Departamento de Oceanografia Biológica do IOUSP (devidamente licenciado junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear).

### 3.7 Citometria de fluxo

Foram coletadas amostras de água fixadas em glutaraldeído 2,5% (concentração final) e armazenadas em nitrogênio líquido. As amostras foram analisadas em parceria com no

---

Station Biologique de Roscoff na França, em parceria com o Dr. Daniel Vaultot.

A abundância de *Synechococcus*, *Prochlorococcus*, pico e nanoeucariotos autótrofos e *Cryptophyceae* foi determinada de acordo com Marie et al. (1999, 2014) em um citômetro FACSCanto™ II da BD, e calculada com o software FlowJo v10. Os resultados de abundância foram convertidos em biomassa ( $gC$ ) a partir de taxas de conversão para os diferentes grupos, 36, 255 e 2590  $fgC.celula^{-1}$  para *Synechococcus*, *Prochlorococcus*, pico autótrofos, respectivamente (Buitenhuis et al., 2012); 20  $fgC.celula^{-1}$  para bactérias heterótrofas Lee e Fuhrman (1987); 132005  $fgC.celula^{-1}$  para nano eucariotos autótrofos, baseado na biomassa média de dinoflagelados menores que 20  $\mu m$  de Menden-Deuer e Lessard (2000) e 500000  $fgC.celula^{-1}$  para *Cryptophyceae* (Morgan e Kalff, 1979).

## 4

## Resultados

## 4.1 Verão

## 4.1.1 Batimetria

No cruzeiro de verão, o trajeto da embarcação foi utilizado com base para organização espacial dos dados, com a estação 318, sobre o Banco de Besnard, representando a origem do eixo das abscissas.

As estações 318, 320, 322, 323, 324 326 se foram coletadas sobre as estruturas submersas cujo topo se encontra dentro da zona eufótica. Estes montes são Banco de Besnard (BSB), monte Vitória (VTR) (320 e 322), monte Montague (MTG), monte Jaseur (JSR), Banco de Davis (DVS), respectivamente.

As estações 319, 321, 330, 331 e 334 foram coletadas sobre estruturas cujo ponto mais raso não alcança a zona eufótica.

As estações 327, 328 329, 332, 333 e 335 foram coletadas entre os montes submarinos.

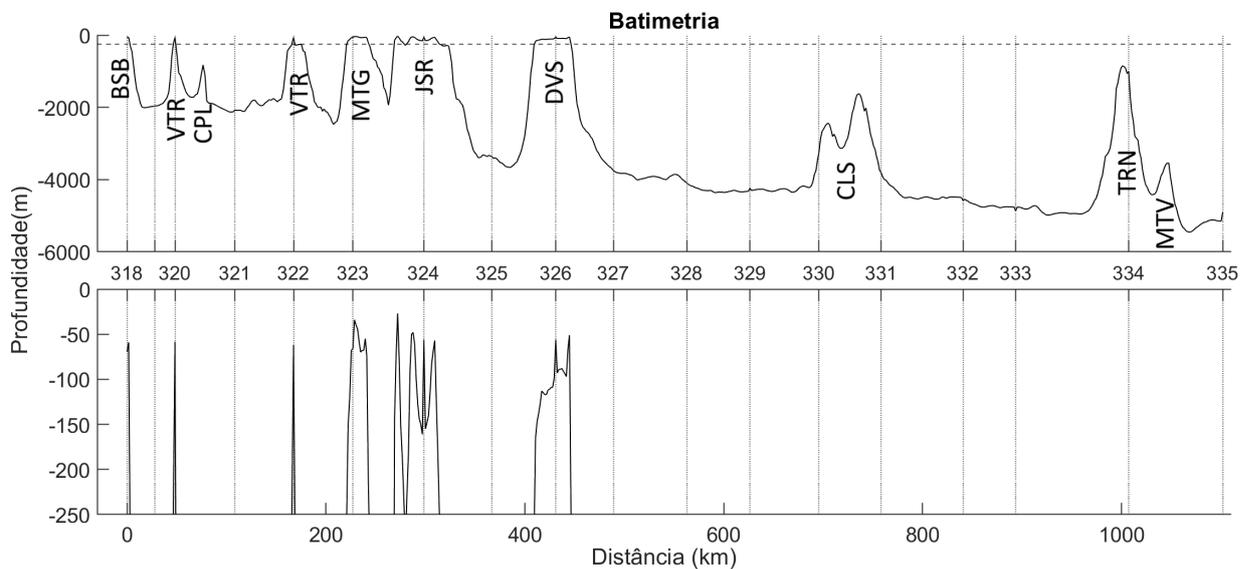


Figura 4.1: Perfis representando a batimetria no trajeto percorrido no cruzeiro de verão. A linha pontilhada (cima) representa a profundidade máxima amostrada para descrição da zona eufótica. Os eixos horizontais representam a distancia percorrida pela embarcação, numerados com as estações amostradas (cima).

#### 4.1.2 Descritores físicos

##### 4.1.2.1 CTD

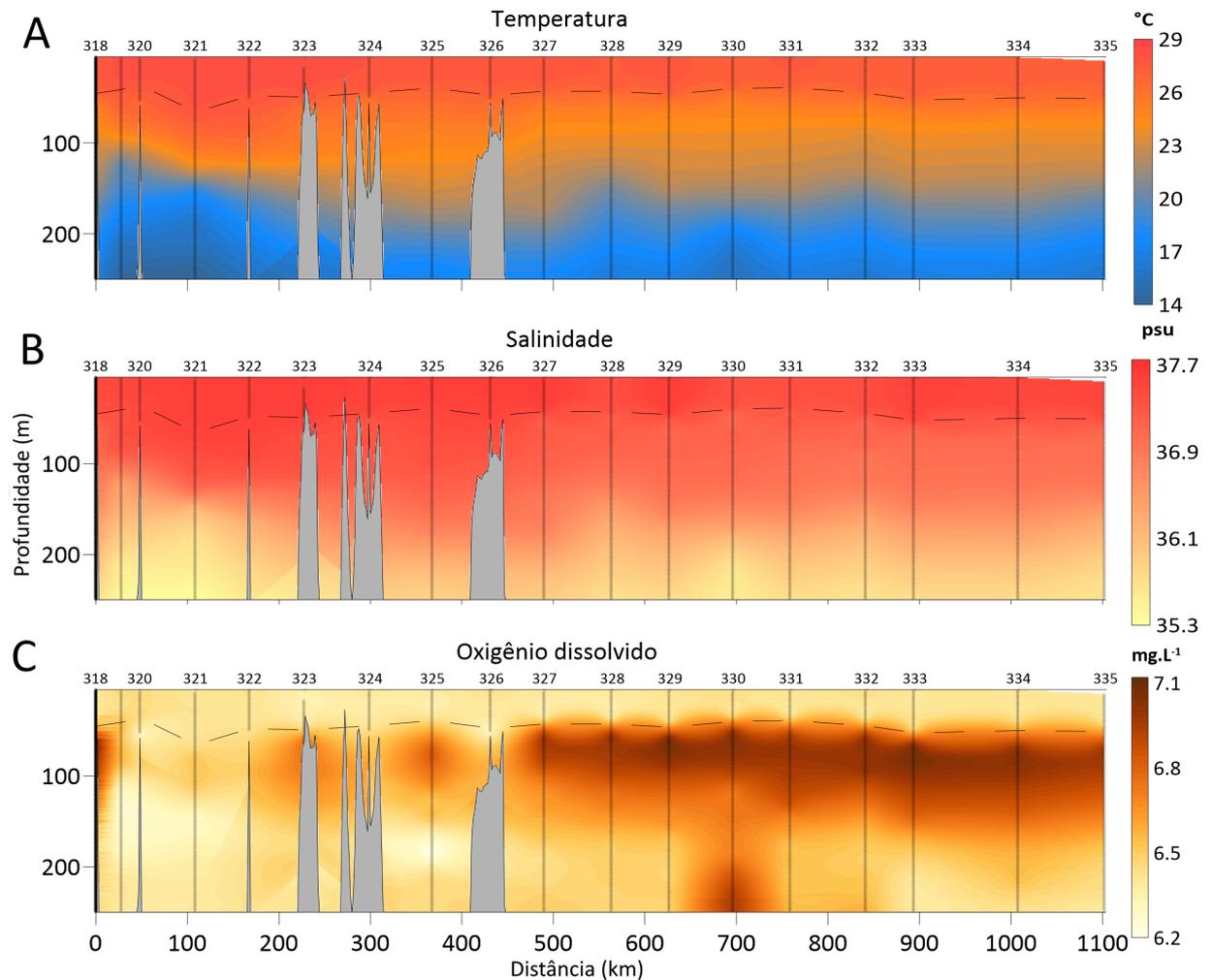


Figura 4.2: Mapa dos dados de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido interpolados coletados no verão. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

O limite inferior da camada de mistura mais profundo foi observada em 66,7 m de profundidade na estação 321, entre o Banco de Besnard e o Monte Submarino de Vitória. As temperatura e salinidade nesta camada variaram entre 27,0 °C na estação 335 e 28,2 °C na estação 322. Ainda na camada de mistura, a salinidade manteve-se entre 37.4 psu

na estação 330 e 37.6 psu na estação 332. Abaixo da camada de mistura temperatura e salinidade diminuíram em direção ao fundo. Os mínimos medidos em profundidade foram 14,0 °C e 35,4 psu, ambos na estação 321 (Fig. 4.2 A, B).

A concentração de oxigênio foi homogênea, em torno de 6.4 mg.L<sup>-1</sup> na camada de mistura. Observou-se um padrão picos subsuperficiais de oxigênio abaixo da camada de mistura em todas as estações a partir da 327 em direção a leste. Este pico também esteve presente nas estações 318, 323, 324 e 325. Na estação 330 houve aumento da concentração de oxigênio dissolvido a partir de 187 m até os 250 m, alcançando 6,94 mg.L<sup>-1</sup>. No restante das estações as concentrações diminuíram em direção ao fundo (Fig. 4.2 C).

#### 4.1.2.2 Transparência da água

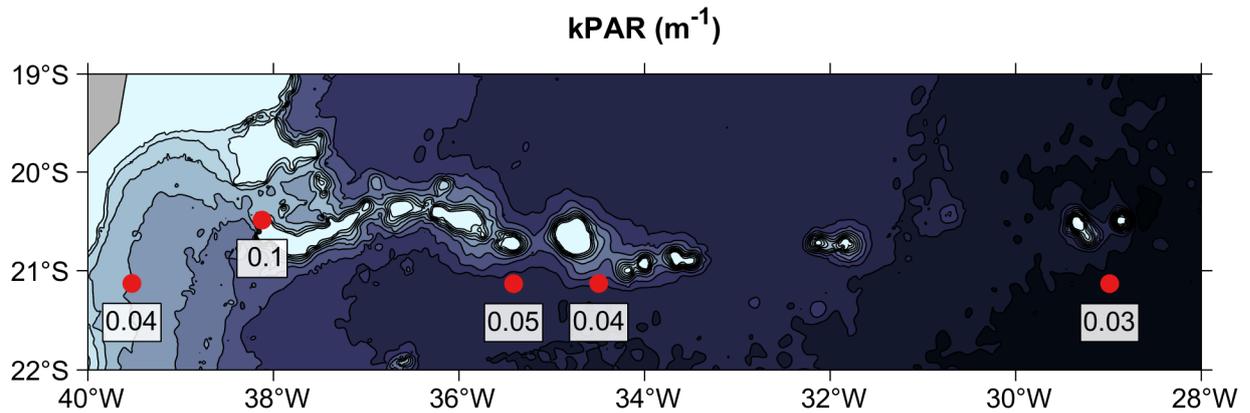


Figura 4.3: Mapa contendo os valores de transparência da água medidos no verão.

Os coeficientes de atenuação da luz, diminuíram da costa em direção ao leste, chegando ao mínimo de 0.03 m<sup>-1</sup> ao sul da Ilha de Trindade. O maior valor medido foi 0.1 m<sup>-1</sup> na estação 320, sobre o Monte Submarino de Vitória.

## 4.1.3 Nutrientes

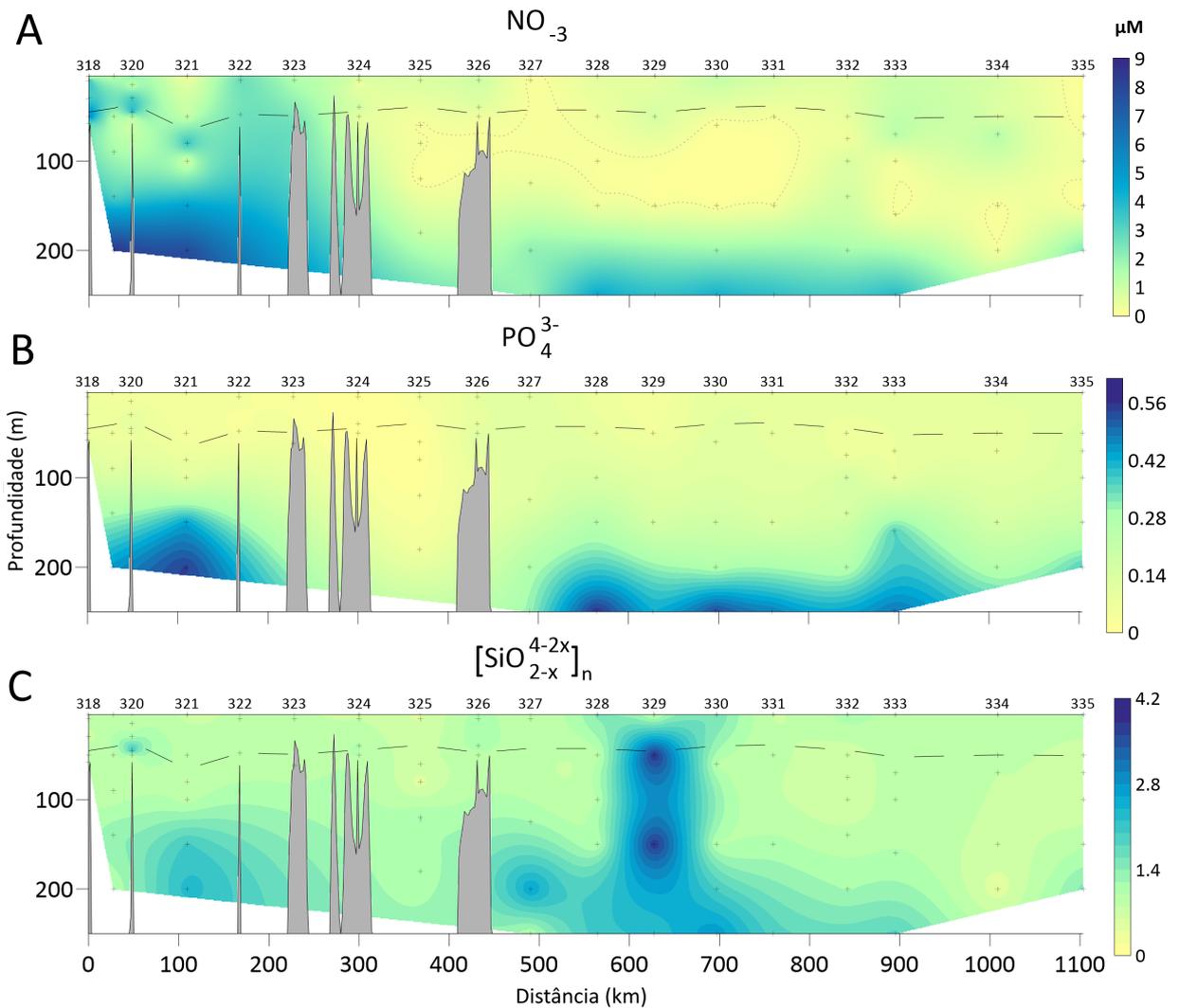


Figura 4.4: Mapa dos dados de nitrato, fosfato e silicatos interpolados coletados no verão. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura e a linha pontilhada representa a concentração de  $0.2 \mu\text{M}$  de nitrato.

As concentrações de nitrato foram maiores nas estações costeiras, chegando ao máximo de  $5,68 \mu\text{M}$  na estação 318 em  $50 \text{ m}$ , sobre o Banco de Besnard. Nas estações a partir da 323 em direção a leste, as concentrações médias na camada de mistura estiveram entre  $0.5$  e  $1.5 \mu\text{M}$  e se mantiveram aproximadamente constantes até os  $150$  metros de profundidade, onde as concentrações aumentaram em direção ao fundo. Nas estações 319 e 321 o aumento se deu em torno dos  $100 \text{ m}$  (Fig. 4.4 A).

A concentração média de fosfato na camada de mistura foi sempre menores que  $0.12 \mu\text{M}$ . A partir dos  $100 \text{ m}$  as concentrações aumentaram em direção ao fundo, até a  $0,56$

$\mu M$  nos 250 m na estação 328 (Fig. 4.4 B).

Os silicatos na camada de mistura variaram entre 0,58 e 1,60  $\mu M$ . Na estação 320 (rasa) foi observado um pico de 2,16  $\mu M$  em 45 m. Na estação 329 foram observados valores altos em comparação aos outros perfis em 50 e 150 m de 3.8  $\mu M$ . No restante dos perfis a concentração de silicatos diminuiu até a profundidade de 100 metros e aumentou em direção ao fundo (Fig. 4.4 C).

As concentrações de nitrito foram sempre baixas ( $< 0.1 \mu M$ ) ou abaixo do limite de detecção.

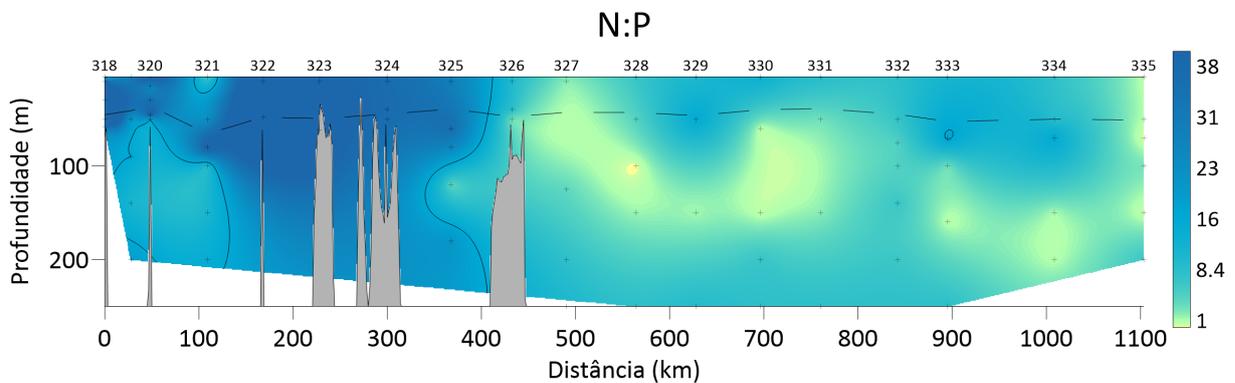


Figura 4.5: Mapa dos dados da razão N:P interpolados coletados no verão. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura e a linha contínua representa a proporção de 16:1.

A razão N:P no verão variou de 0 a 92. Os valores mais altos foram observados nas estações anteriores a 326 e em toda extensão da cadeia a partir desta estação.

#### 4.1.4 Descritores biológicos

##### 4.1.4.1 Clorofila-a

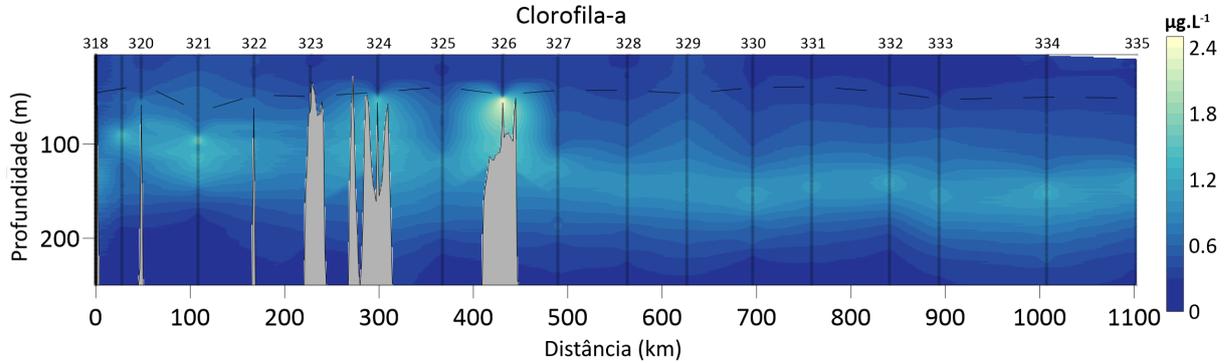


Figura 4.6: Mapa dos dados de clorofila-a interpolados coletados no verão. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

As menores concentrações de clorofila-a na zona eufótica foram observadas na camada de mistura, próximas de  $0,3 \mu\text{g.L}^{-1}$ . Nas estações 319, 321, 322 e 329, foram medidos os maiores valores de concentração do pigmento nesta camada, próximos a  $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

Com exceção da estação 323, em todas as estações sobre os montes foram observados máximos subsuperficiais de de clorofila nas amostras mais profundas, chegando até  $2,3 \mu\text{g.L}^{-1}$  em  $50 \text{ m}$  na estação 326. Nas estações profundas os máximos foram menos pronunciados e mais profundos, nas quais o máximos se deram nas estações 321,  $1,7 \mu\text{g.L}^{-1}$  a  $95 \text{ m}$ , e 319,  $1,4 \mu\text{g.L}^{-1}$  a  $90 \text{ m}$ . Nas estações a partir da estação 327, as os máximos profundos de clorofila foram observados entre  $135$  e  $155 \text{ m}$ , próximos de  $1 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Fig. 4.6).

## 4.1.4.2 Cítometria

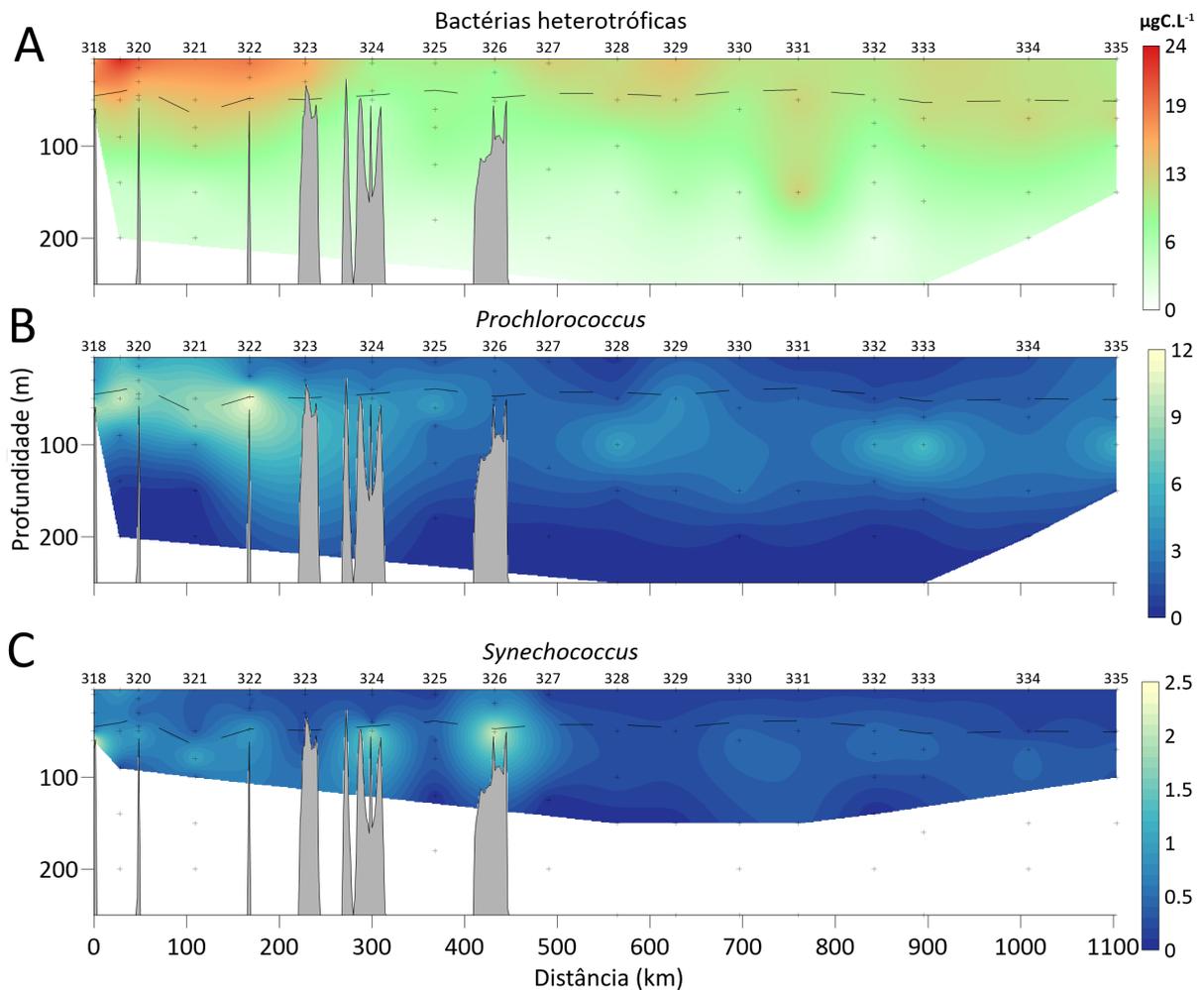


Figura 4.7: Mapa dos dados de biomassa de bactérias heterotróficas, *Prochlorococcus* e *Synechococcus* interpolados coletados no verão. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

A maior biomassa de bactérias heterotróficas ocorreu na camada de mistura desde as áreas mais costeiras até a estação 323, sobre o monte Montague. A maior biomassa medida foi de  $23 \mu\text{gC.L}^{-1}$  na superfície da estação 319, entre o Banco de Besnard e o monte Vitória.

Entre o monte Jaseur e o Banco de Davis, estações 324-326, as concentrações deste grupo foram mínimas na camada de mistura, entre  $8$  e  $10 \mu\text{gC.L}^{-1}$ .

Em direção ao leste a partir da estação 327 até a estação mais distante da costa, a biomassa de bactérias heterotróficas foi relativamente alta na camada de mistura em relação as amostras mais profundas. Apenas na estação 331 em 150 m foram encontradas concentrações relativamente maiores as adjacentes em mesma profundidade (Fig. 4.7 A).

Ao longo da cadeia foram medidos em subsuperfície picos de biomassa de *Prochlorococcus*. Esses picos foram mais acentuados nas estações próximas a costa, onde os valores máximos foram medidos próximos ao fim da camada de mistura, enquanto que nas estações mais afastadas os picos foram menos agudos e em maior profundidade, bem abaixo da camada de mistura. Os maior valor de biomassa observado foi na estação 322 em 50 m,  $11 \mu\text{gC.L}^{-1}$ , sobre o extremo leste do monte Vitória. Os valores de biomassa mais baixos foram medidos nas amostras mais profundas, tendendo a  $0 \mu\text{gC.L}^{-1}$  (Fig. 4.7 B).

As maiores medidas de biomassa de *Synechococcus*, assim como do *Prochlorococcus*, também foram medidas nas estações próximas a costa até a estação 326 sobre o Banco de Davis, onde o máximo medido foi de  $2.5 \mu\text{gC.L}^{-1}$  em 51 m. Nas estações a leste os valores medidos foram menores que  $0.5 \mu\text{gC.L}^{-1}$  (Fig. 4.7 C).

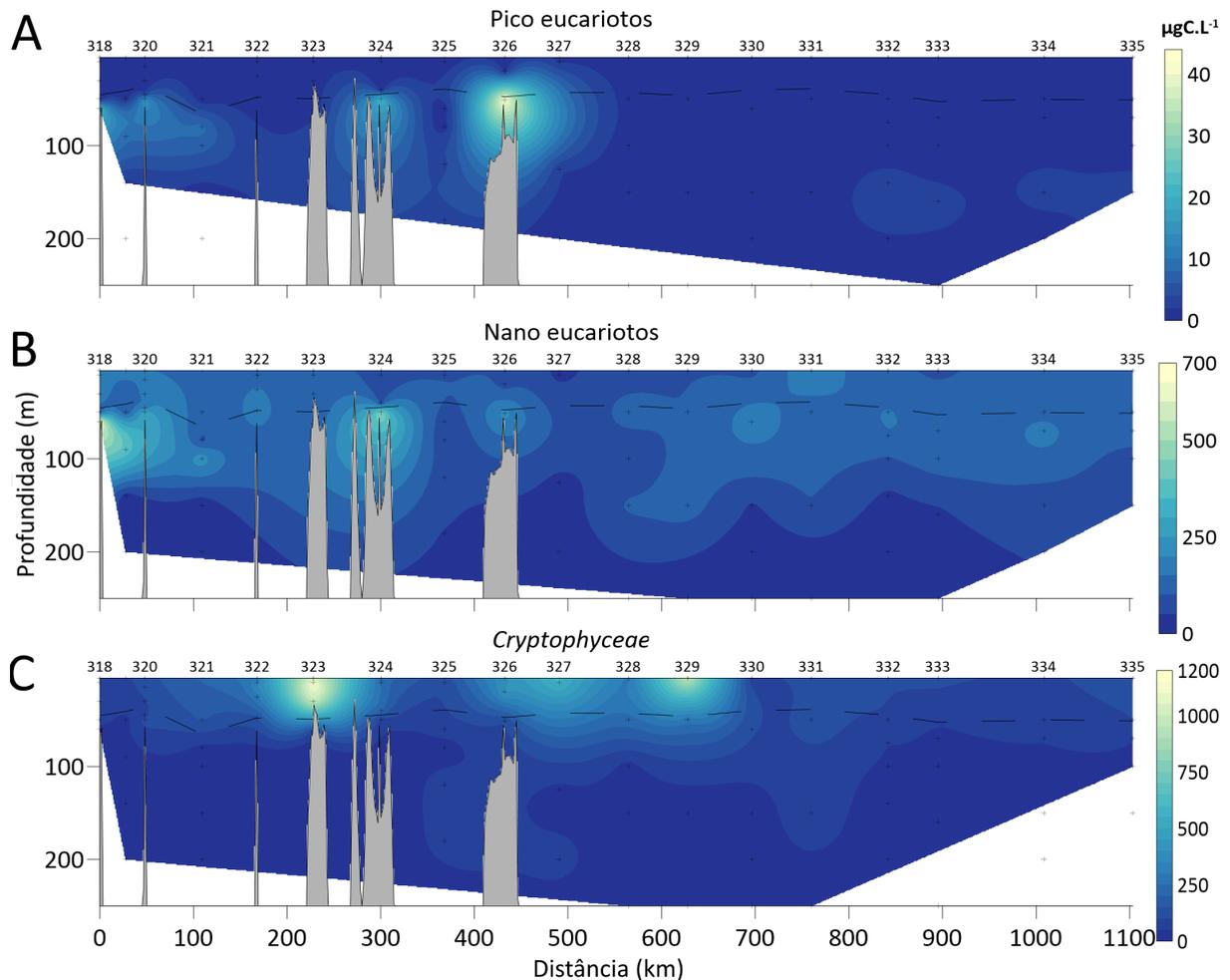


Figura 4.8: Mapa dos dados de biomassa de pico eucariotos, nano eucariotos e *Cryptophyceae* interpolados coletados no verão. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

Os pico eucariotos foram observados em maior quantidade na porção oeste do tran-

secto. Foram encontradas concentrações baixas de biomassa na maioria das estações, com aumentos nas estações 318, 320, 324 e 326, abaixo da camada de mistura. A maior biomassa foi de  $40 \mu\text{gC.L}^{-1}$ , na estação 326 sobre o Banco de Davis. Em direção a leste à partir da estação 328, os valores foram menores que  $2 \mu\text{gC.L}^{-1}$  (Fig. 4.8 A).

O valor máximo de biomassa dos nanoeucariotos foi de  $574 \mu\text{gC.L}^{-1}$ , em 60 m na estação 318, no extremo sul do Banco de Besnard. Outro valor alto medido foi na estação 324, sobre o monte Jaseur, de  $470 \mu\text{gC.L}^{-1}$  em 50 m. Os nanoeucariotos se distribuíram de maneira ubíqua em todo transecto na zona eufótica (Fig. 4.8 B).

As *Cryptophyceae* foram o grupo em que foi medida a maior biomassa em uma única amostra entre todos os outros. Na estação 323, sobre o monte Montague em 9 m, a biomassa foi de  $1054 \mu\text{gC.L}^{-1}$ . Em todas as estações as maiores concentrações foram medidas acima da camada de mistura. Concentrações relativamente altas foram medidas nas estações 327 e 329, de  $555$  e  $907 \mu\text{gC.L}^{-1}$ , respectivamente (Fig. 4.8 C).

#### 4.1.4.3 Biomassa integrada

##### Total

A biomassa integrada na coluna de água medida variou entre 13 e  $69 \text{gC.m}^{-2}$ , nas estações 320 e 329, respectivamente. Nas estações em que foram medidas as maiores biomassas houve domínio de *Cryptophyceas*, chegando a 85.2 % da composição de biomassa da comunidade microbiana. Nas estações com menor biomassa a proporção entre NANO e crypto foi mais equilibrada, ou houve domínio do nanoplankton eucarioto autotrófico, como nas estações 319 e 334, ambas com mais de 70 % da biomassa composta por esse grupo (Fig. 4.9 e tab. 4.1).

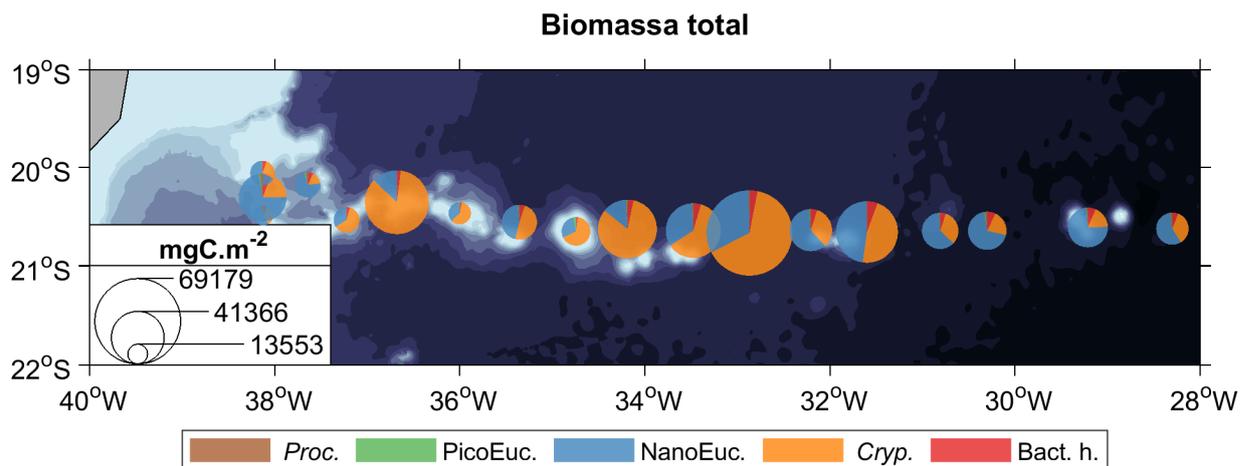


Figura 4.9: Mapa dos valores de biomassa total integrada na coluna de água e proporção de cada grupo componente no verão.

Tabela 4.1 - Percentual de composição de todos os grupos nas estações amostradas no cruzeiro de verão

	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335
<b>Proc</b>	1.6	2.0	2.3	2.6	1.2	0.4	0.8	1.5	0.5	0.6	1.1	0.7	1.2	0.7	1.4	1.8	1.3	2.0
<b>Syn</b>	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
<b>Pico</b>	0.7	1.3	0.6	2.7	0.1	0.1	0.8	0.6	3.3	0.7	0.3	0.2	0.7	0.2	0.4	1.0	0.8	0.6
<b>Nano</b>	<b>65.8</b>	<b>72.5</b>	<b>56.1</b>	<b>72.2</b>	33.1	12.8	35.3	44.4	28.4	13.6	33.4	32.0	<b>60.4</b>	<b>47.5</b>	<b>61.5</b>	<b>68.9</b>	<b>74.0</b>	<b>56.6</b>
<b>Crypto</b>	26.8	18.7	35.4	15.9	<b>61.7</b>	<b>85.2</b>	<b>60.5</b>	<b>48.9</b>	<b>65.7</b>	<b>82.3</b>	<b>61.3</b>	<b>64.3</b>	33.1	46.5	31.8	21.6	17.8	35.1
<b>Bact</b>	4.9	5.3	5.5	6.4	3.8	1.5	2.5	4.5	1.9	2.8	3.9	2.8	4.5	5.0	4.7	6.7	6.1	5.6

### Eucariota

A biomassa de organismos eucariotos medida no cruzeiro de verão variou de 12 a 67  $gC.m^{-2}$  nas estações 320 e 329, respectivamente, representando de 90 a 98 % da biomassa total medida.

Da estação 322 a 329 o grupo dominante foi de *Cryptophyceae*, desde a porção mais ocidental do Monte Submarino de Vitória até a estação profunda entre o Banco de Dogarressa e o Monte Submarino de Columbia. Nestas estações o grupo variou entre 65 e 85,2 % da composição da biomassa eucariota.

No restante das estações o grupo dominante foi o nano plâncton autotrófico, compondo de 50,5 a 79,9 % da biomassa eucariota.

O pico plâncton teve representatividade pequena entre os eucariotos, compondo no máximo 3.3 % da biomassa deste grupo (Fig. 4.10 e tab. 4.2).

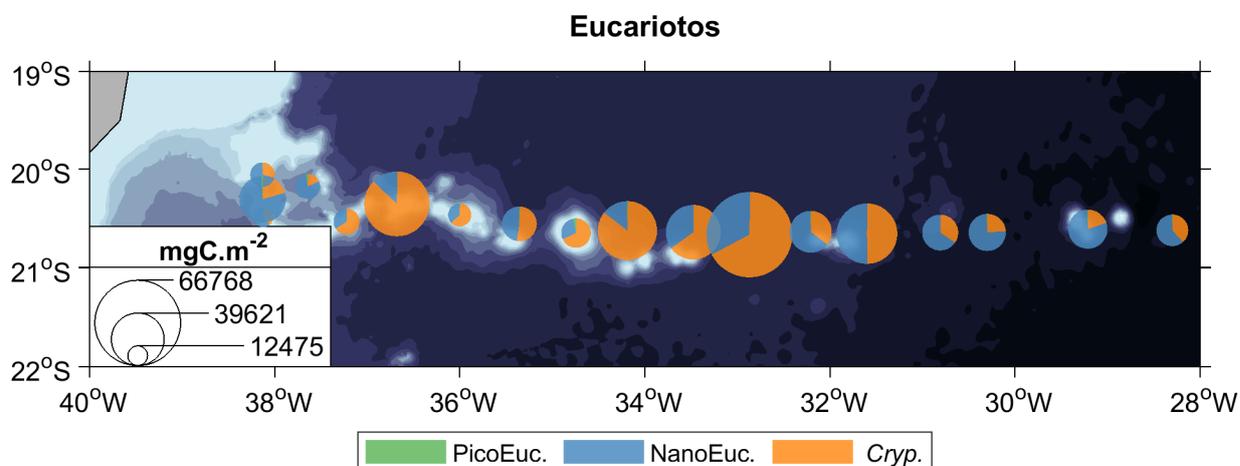


Figura 4.10: Mapa dos valores de biomassa eucariota integrada na coluna de água e proporção de cada grupo componente no verão, pico e nano eucariotos e *Cryptophyceae*

Tabela 4.2 - Percentual de biomassa dos grupos eucariotos nas estações amostradas no cruzeiro de verão

	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335
<b>Pico</b>	0.7	1.4	0.6	3.0	0.1	0.1	0.9	0.6	3.3	0.8	0.3	0.2	0.7	0.2	0.5	1.1	0.9	0.6
<b>Nano</b>	<b>70.6</b>	<b>78.4</b>	<b>60.9</b>	<b>79.5</b>	34.8	13.0	36.5	47.3	29.1	14.1	35.2	33.1	<b>64.1</b>	<b>50.5</b>	<b>65.6</b>	<b>75.3</b>	<b>79.9</b>	<b>61.3</b>
<b>Cryp.</b>	28.7	20.2	38.4	17.5	<b>65.0</b>	<b>86.9</b>	<b>62.6</b>	<b>52.1</b>	<b>67.5</b>	<b>85.2</b>	<b>64.5</b>	<b>66.7</b>	35.2	49.3	33.9	23.6	19.2	38.0

### Picoplanctônica

A biomassa dos organismos do pico plâncton variou de  $0.7 \text{ gC.m}^{-2}$  na estação 324, sobre o Monte Submarino de Jaseur, a  $3.3 \text{ gC.m}^{-2}$  na estação 319, entre o Banco de Besnard e o Monte Submarino de Vitória.

Com exceção da estação 326 sobre o Banco de Davis, na qual dominou o pico eucarioto (55,1 %), as bactérias heterotróficas compuseram a maior parte da biomassa picoplanctônica, chegando a até 83,7 %.

As bactérias do gênero *Prochlorococcus* também tiveram papel relevante no reservatório de biomassa do pico plâncton, compondo mais que 15 % da biomassa do grupo em todas as estações, com exceção das estações 326 e 331, e chegando a 27,1 % na estação 320.

O *Synechococcus* teve representatividade baixa, chegando ao máximo 4,3 % da biomassa pico planctônica.

Em relação a biomassa total medida, a biomassa picoplantônica variou entre 2 a 12 % (Fig. 4.11 e tab. 4.3).

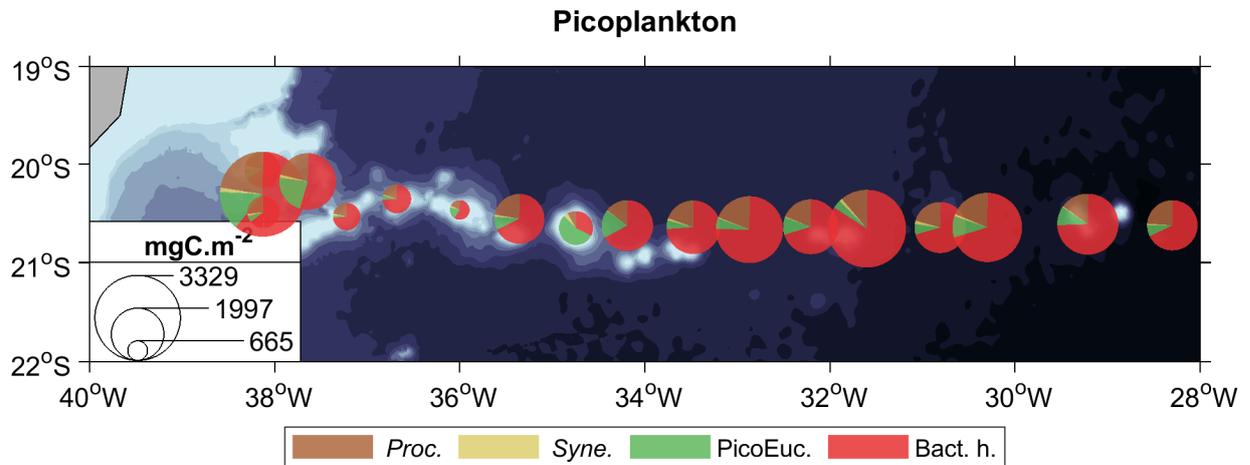


Figura 4.11: Mapa dos valores de biomassa picoplantônica integrada na coluna de água e proporção de cada grupo componente no verão, *Prochlorococcus*, *Synechococcus*, pico eucariotos e bactérias heterotróficas.

Tabela 4.3 - Percentual de biomassa dos grupos do pico plâncton nas estações amostradas no cruzeiro de verão

	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335
<b>Proc.</b>	21.5	22.9	27.1	21.6	22.2	20.1	18.4	22.6	8.6	15.0	19.9	19.2	19.3	11.5	21.1	19.0	15.3	24.3
<b>Syn.</b>	3.4	1.8	2.3	1.7	2.1	1.4	2.8	1.5	4.3	0.4	1.5	0.8	0.8	1.6	2.2	1.1	0.6	1.1
<b>Pico</b>	9.4	14.8	6.6	22.7	2.6	4.8	19.7	8.6	55.1	17.7	5.3	5.1	10.1	3.3	6.7	10.1	9.9	7.1
<b>Bact.</b>	65.7	60.5	64.1	53.9	73.1	73.7	59.1	67.4	31.9	66.9	73.4	74.9	69.8	83.7	70.1	69.8	74.2	67.4

#### 4.1.4.4 Produtividade primária

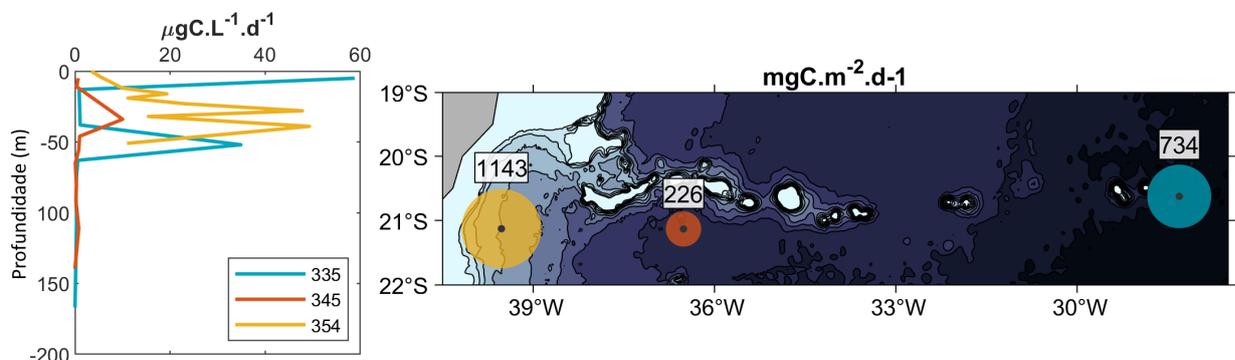


Figura 4.12: Produtividade primária medida em três estações no cruzeiro de verão. O perfil a esquerda descreve a produtividade ao longo da coluna de água na zona eufótica. O mapa a direita representa a produção integrada em toda a profundidade da zona eufótica.

Nos três experimentos de produtividade primária realizados no verão de 2017, a fixação de carbono na coluna de água foi significativa até próxima a profundidade de 50 m. A distribuição das medidas ao longo do perfil se deu em forma de picos. Os máximos de produção foram observados na superfície, 34 m e 39 metros, respectivamente para as estações 335, 345 e 354. A produção integrada na coluna de água revelou a maior produtividade na estação 354, mais próxima da plataforma continental. A menor taxa de fixação diária de carbono foi medida na estação 345, cerca de 5 vezes menor do que a 354. Próximo a ilha de Trindade a produtividade medida foi de  $734 \text{ mgC.m}^{-2}.d^{-1}$ , cerca de 3 vezes maior a estação 345 (Fig. 4.12).

## 4.2 Inverno

### 4.2.1 Batimetria

A campanha de inverno foi setorizada em 5 transectos distribuídos zonalmente para organizar espacialmente os dados levantados. Os transectos A e B estão posicionados respectivamente a norte e sul da Ilha de Trindade e Ilha de Martim Vaz; O transecto C está sobre o Banco de Besnard e se estende até norte do monte Montague; O transecto D se estende de oeste do monte Vitória em direção a leste sobre o monte Jaseur; Por fim, o transecto E está posicionado a sul da cadeia com a mesma extensão do transecto D.

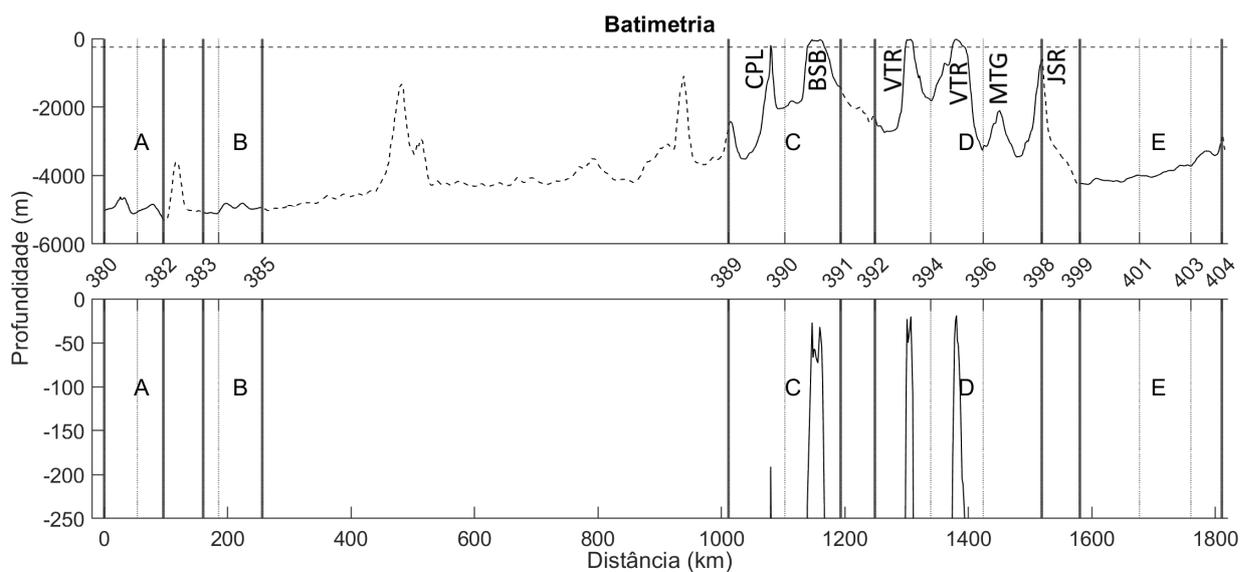


Figura 4.13: Perfis representando a batimetria no trajeto percorrido no cruzeiro de inverno, em agosto de 2017. As letras de "A" a "E" se referem aos 5 transectos em qual a campanha foi dividida. A linha pontilhada horizontal (cima) representa a profundidade máxima de coleta para descrição da zona eufótica, equivalendo a profundidade máxima de interpolação dos dados. Os eixos horizontais representam a distancia entre a primeira estação amostrada entre as demais, retratada no eixo horizontal do gráfico superior

## 4.2.2 Descritores físicos

### 4.2.2.1 CTD

A camada de mistura esteve entre 120 m, na estação 391, e 186 m na 396. A temperatura e salinidade nessa camada variaram entre 22,3 e 23,9 °C e 36,7 e 37,4 psu nas estações 380 e 396, respectivamente. Abaixo da camada de mistura os valores das duas variáveis diminuíram em direção ao fundo em todas estações, nos limites de 13,9 °C e 35,3 psu na estação 390 nos 250 m de profundidade (Figs. 4.14, 4.15).

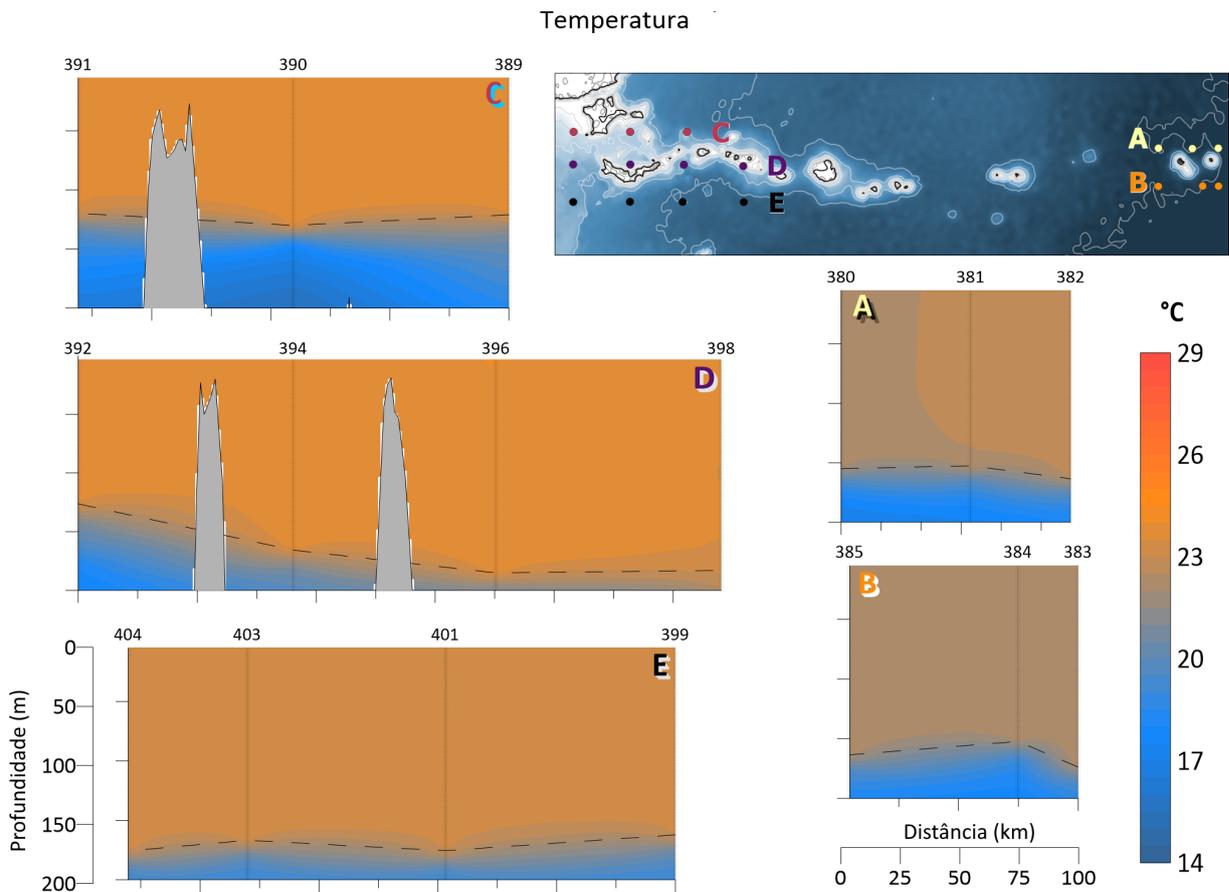


Figura 4.14: Mapa dos dados de temperatura interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

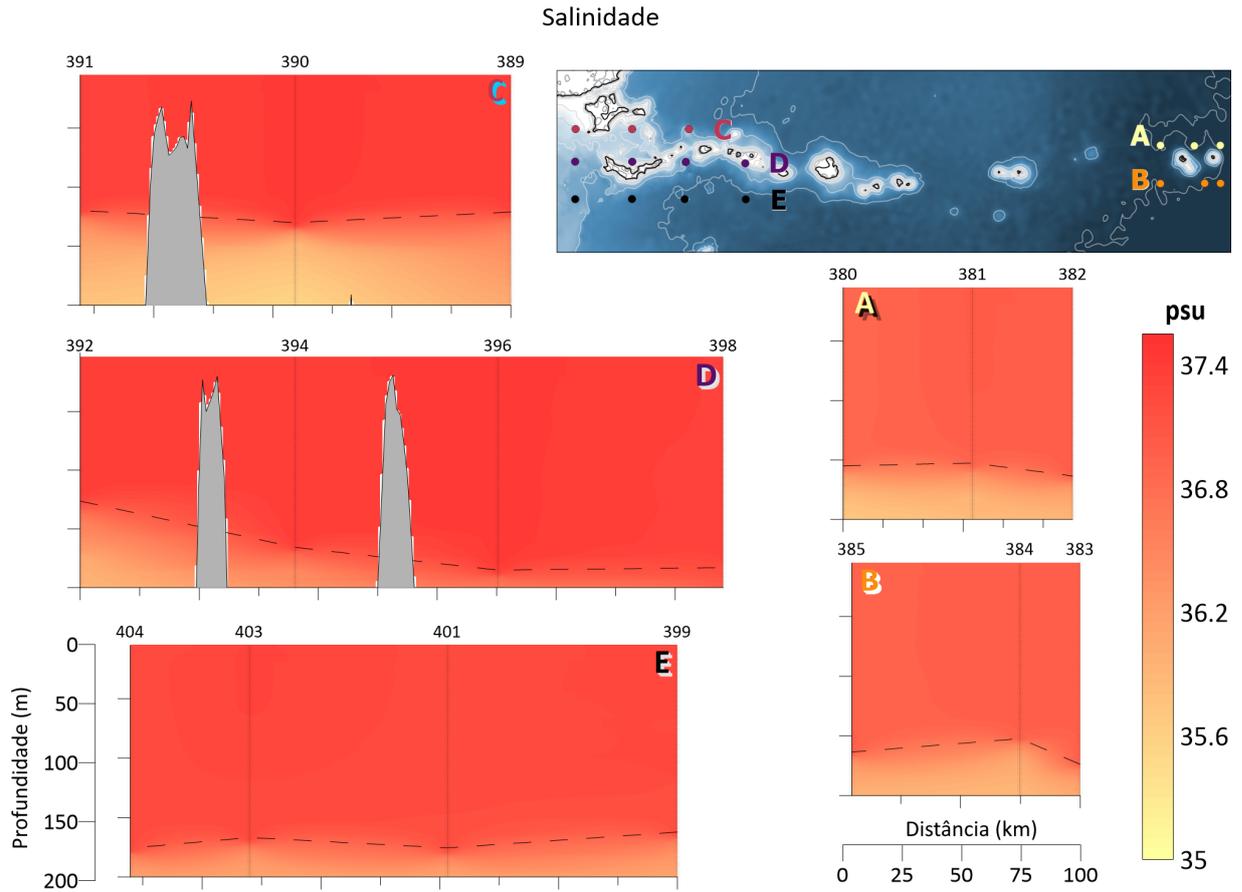


Figura 4.15: Mapa dos dados de salinidade interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

Concentrações de oxigênio sofreram pouca variação, entre  $6,4$  e  $6,7 \text{ mg.L}^{-1}$  nas estações 398 e 380, respectivamente. Abaixo da camada de mistura foram observados mínimos de oxigênio próximos de  $6 \text{ mg.L}^{-1}$  nas estações 391, 389, 392, 394 e 396, próximas ao Banco de Vitória e do Banco Besnard. Abaixo deste mínimo há um pequeno aumento na concentração em direção ao fundo. As demais estações se comportaram de maneira semelhante, com o decréscimo das concentrações menos pronunciado nas amostras mais profundas (Fig. 4.16).

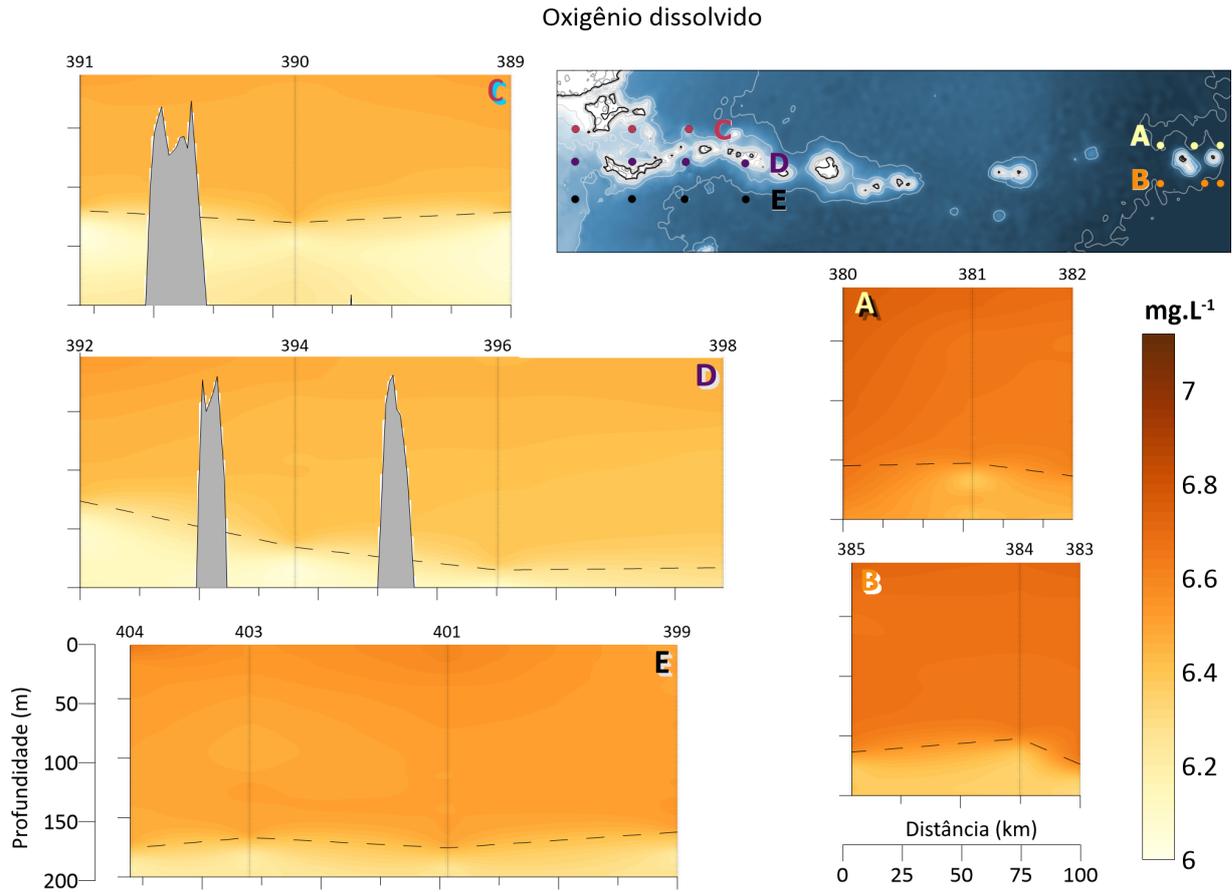


Figura 4.16: Mapa dos dados de oxigênio dissolvido interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

#### 4.2.2.2 Transparência da água

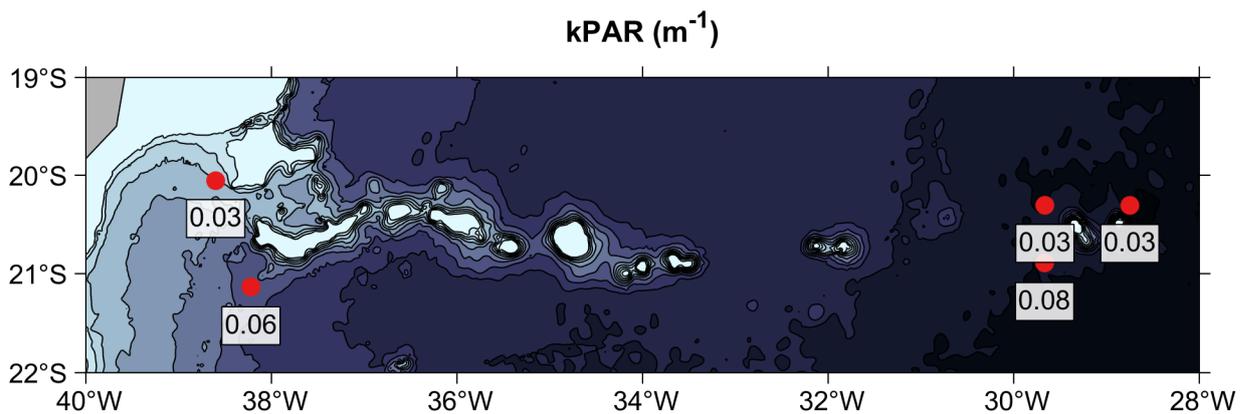


Figura 4.17: Mapa contendo os valores de transparência da água medidos no inverno.

As menores medidas de transparência da água foram ao norte da Ilha de Trindade, no transecto A e na estação 391, a oeste do Banco de Besnard. A transparência da água na

estação 385, ao sudeste da Ilha de Trindade foi relativamente maior do que as medidas no transecto A, de  $0.08 \text{ m}^{-1}$ . Ao sul do Monte Submarino de Vitória, estação 404, o valor medido foi de  $0.06 \text{ m}^{-1}$ .

### 4.2.3 Nutrientes

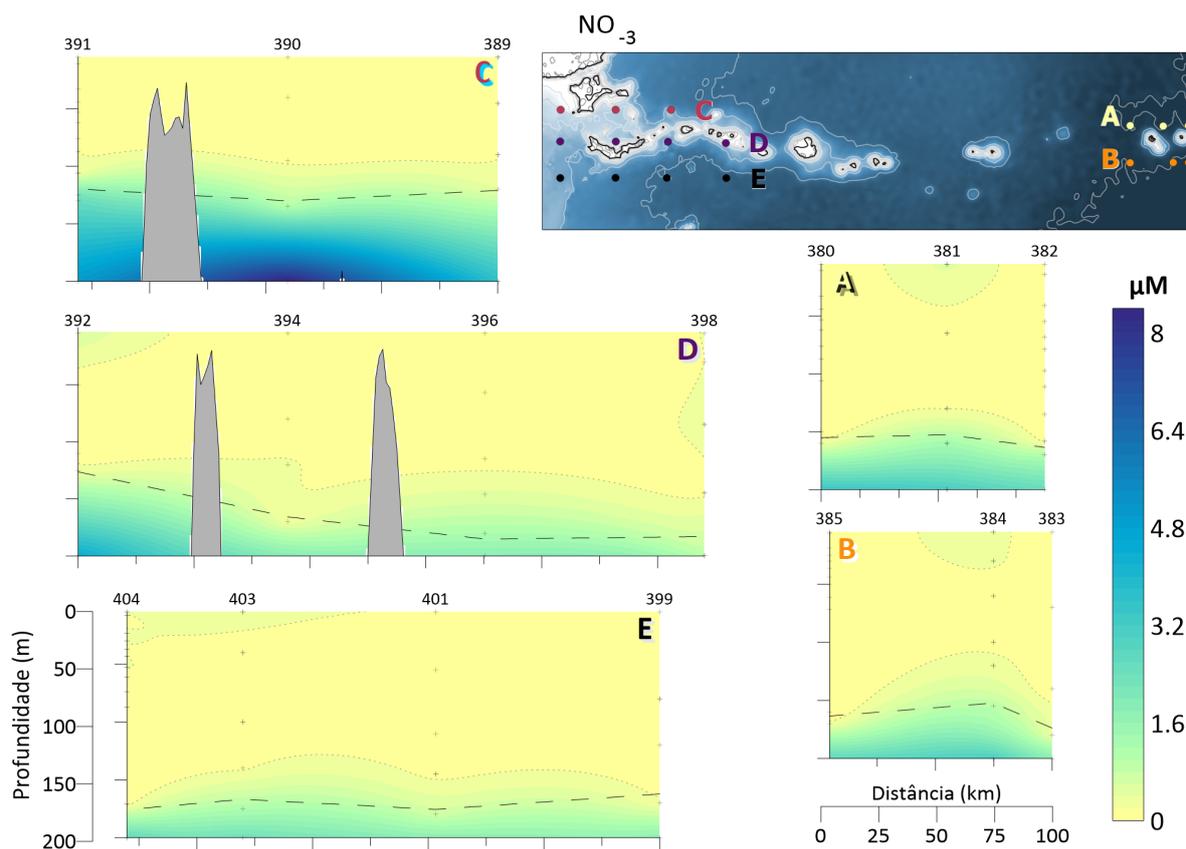


Figura 4.18: Mapa dos dados de nitrato interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura e a linha pontilhada representa a concentração de  $0.2 \mu\text{M}$ .

Aa concentração média de nitrato na camada de mistura foi próxima de  $0,15 \mu\text{M}$  em todas as estações. As concentrações se mantiveram baixas até os  $120 \text{ m}$ , onde foram observados aumento na concentração de nitrato em direção ao fundo em todas as estações. Apenas no transecto C as concentrações foram maiores que  $1 \mu\text{M}$  na base da camada de mistura. A concentração máxima observada foi de  $10,94 \mu\text{M}$  na estação 390 em  $250 \text{ m}$  (Fig. 4.18).

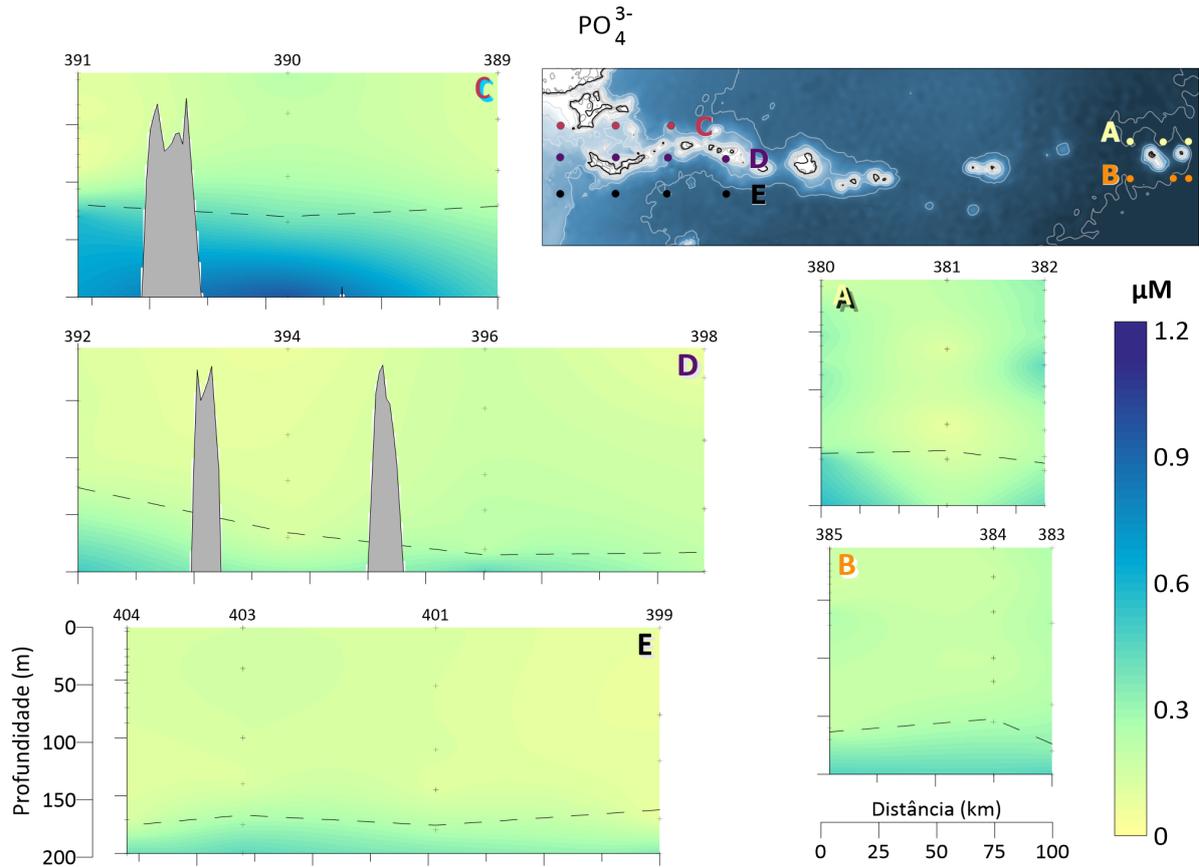


Figura 4.19: Mapa dos dados de fosfato interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

Quanto ao fosfato, as concentrações na camada de mistura foram menores que  $0,4 \mu\text{M}$ . Os maiores valores de fosfato na nesse estrato foram medidos no transecto A nas estações 380 e 382, próximos a  $0,4 \mu\text{M}$ . Abaixo da termoclina os valores aumentaram em direção ao fundo. O maior valor medido abaixo da camada de mistura foi de  $1,2 \mu\text{M}$  na estação 390, do transecto C (Fig. 4.19).

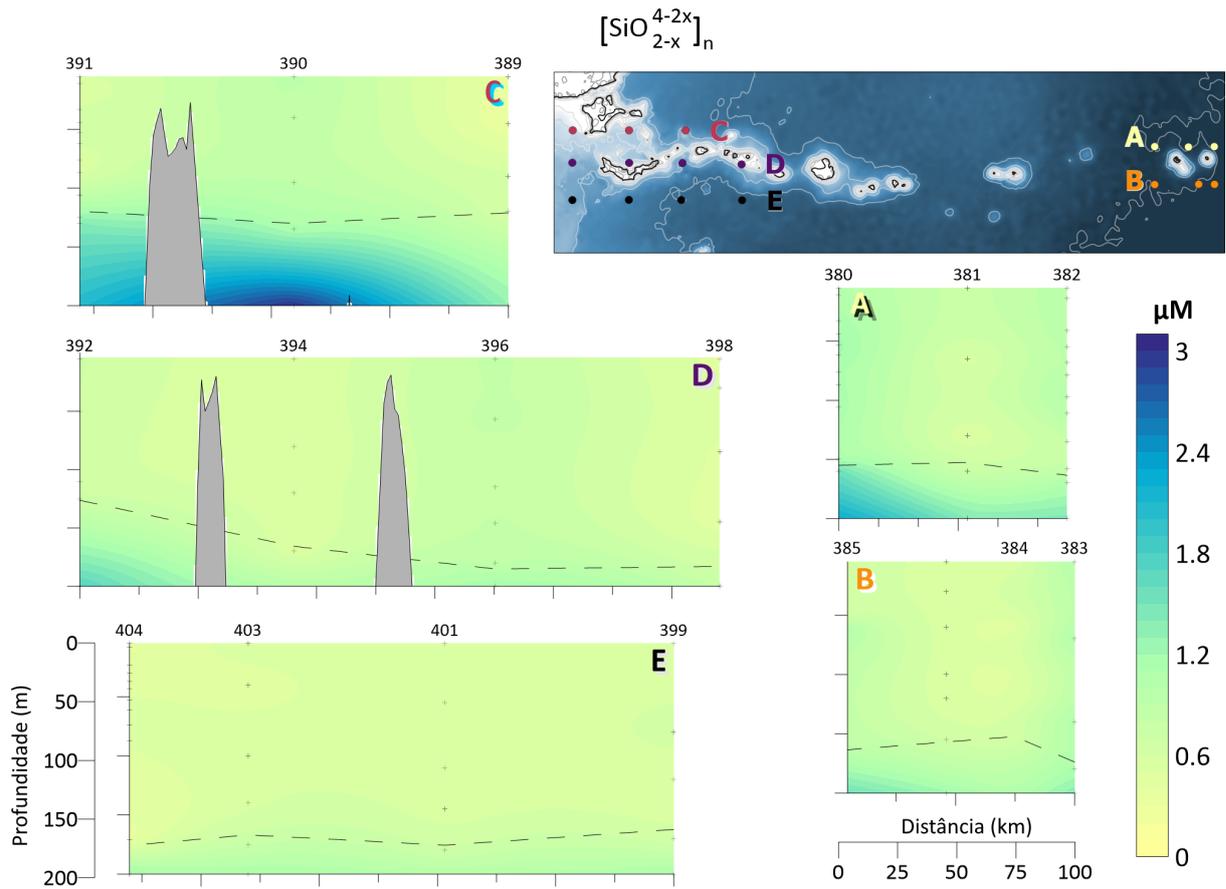


Figura 4.20: Mapa dos dados de silicatos interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

A concentração de silicato se manteve praticamente constantes na camada de mistura, variando de 0,52 a 1  $\mu\text{M}$ . Abaixo da camada de mistura só foi observado aumento significativo no transecto C, estação 390, onde o máximo foi de 2,95  $\mu\text{M}$  (Fig. 4.20).

As concentrações de nitrito foram sempre baixas ( $< 0.1 \mu\text{M}$ ) ou abaixo do limite de detecção.

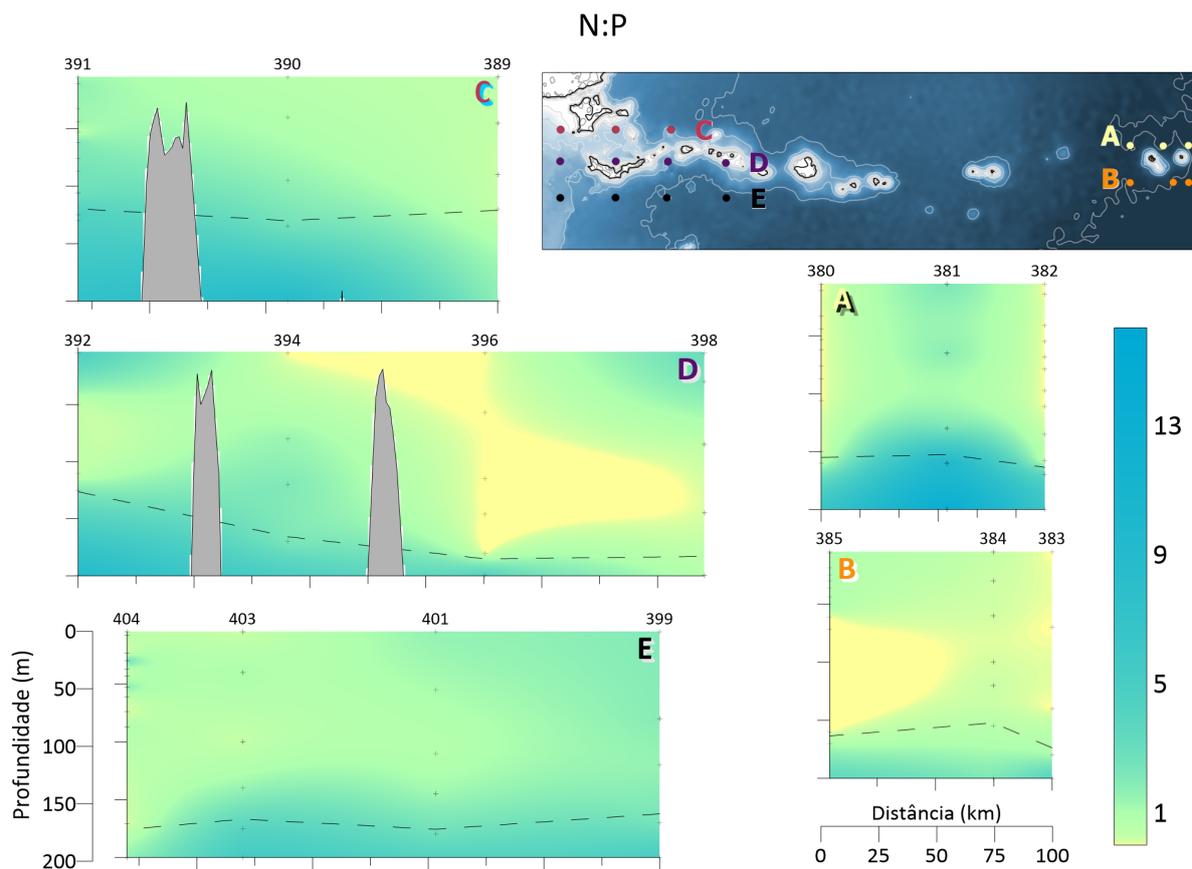


Figura 4.21: Mapa dos dados da razão N:P interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

As razões N:P no inverno variaram de 0 a 13. Na camada de mistura os valores observados foram os menores e abaixo da camada de mistura aumentaram.

#### 4.2.4 Descritores biológicos

##### 4.2.4.1 Clorofila-a

As medidas de clorofila-a revelaram um perfil praticamente homogêneo dentro da camada de mistura em todas as estações, com os menores valores observados próximos à superfície. Na 391 foi observado a maior concentração de clorofila-a no cruzeiro de inverno,  $0,52 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  em  $68 \text{ m}$ . Os eventuais pico subsuperficiais medidos foram muito pouco pronunciados e estiveram entre 100 e 130  $\text{m}$ , sempre acima da termoclina (Fig. 4.22).

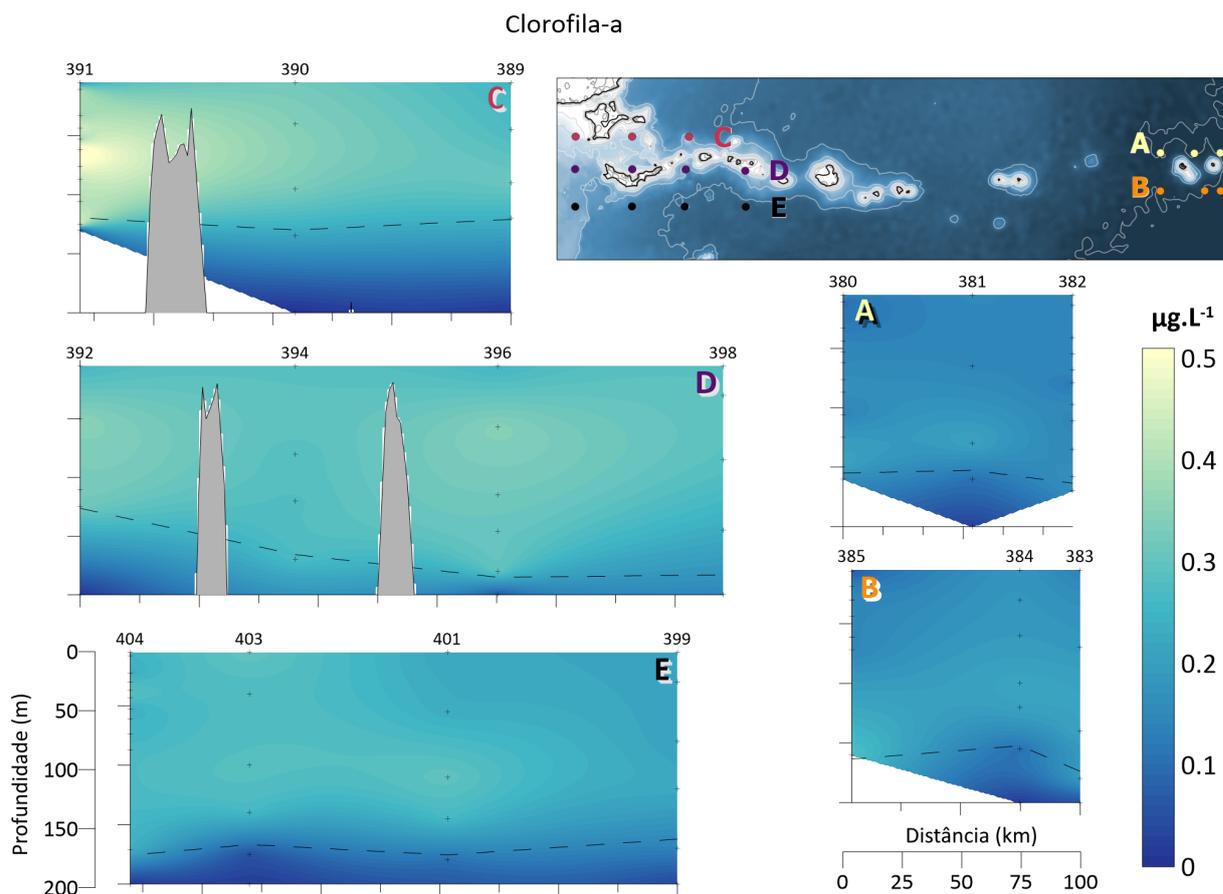


Figura 4.22: Mapa dos dados de clorofila-a interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

#### 4.2.4.2 Citometria

A biomassa de bactérias heterotróficas se concentrou em todos os transectos na camada de mistura com distribuição aproximadamente homogênea, entre 5 e 9  $\mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ . A exceção ocorreu no transecto C, no qual foram medidas as maiores concentrações nas estações 391 e 390 e valores menores na estação 389. A maior biomassa medida foi de 13,6  $\mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$  na superfície da estação 390 (Fig. 4.23).

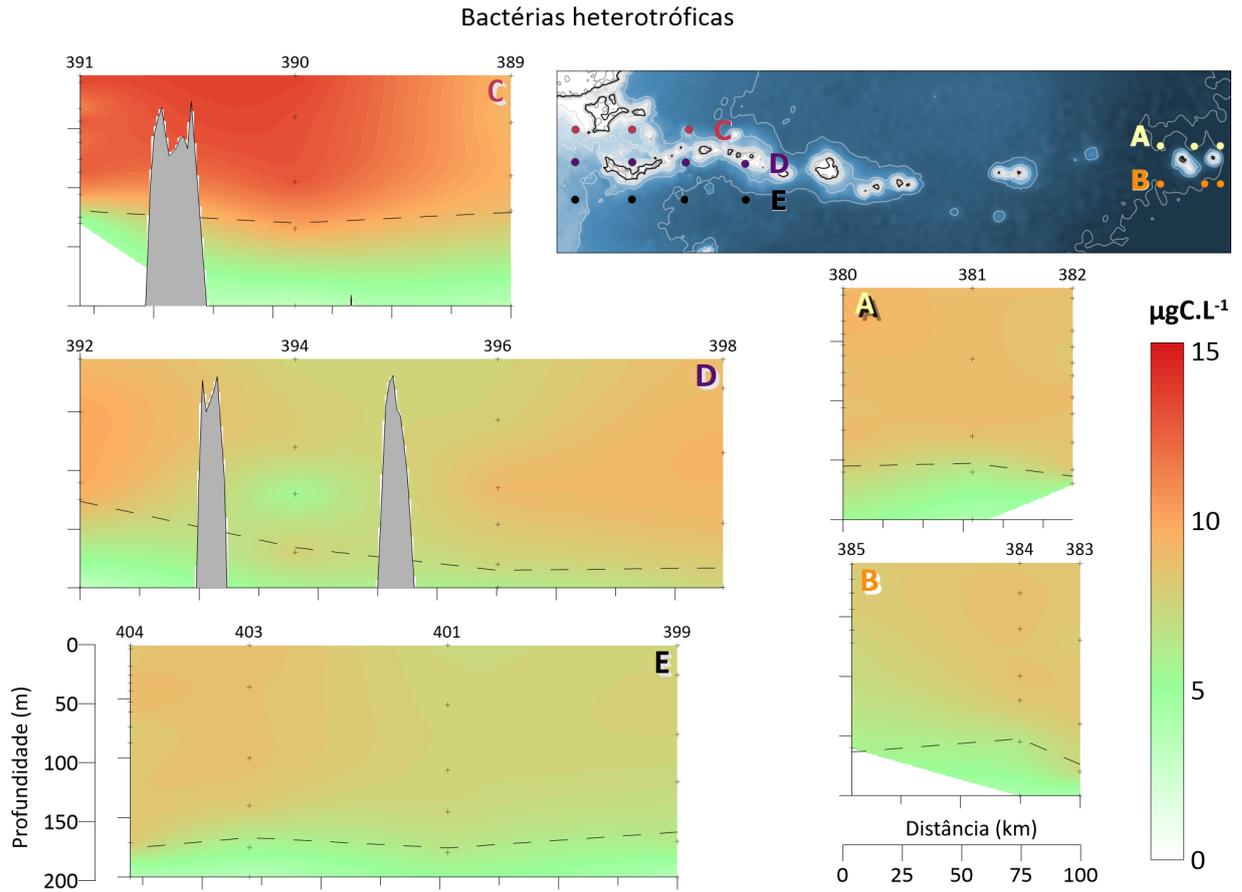


Figura 4.23: Mapa dos dados de biomassa de bactérias heterotróficas interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

O gênero *Prochlorococcus* concentrou-se na camada de mistura em todas as estações. A biomassa foi maior sobre a cadeia, no transecto D, com máximos de  $6,4 \mu\text{gC.L}^{-1}$  em 50 m na estação 392 e em 85 m na estação 398 (Fig. 4.24).

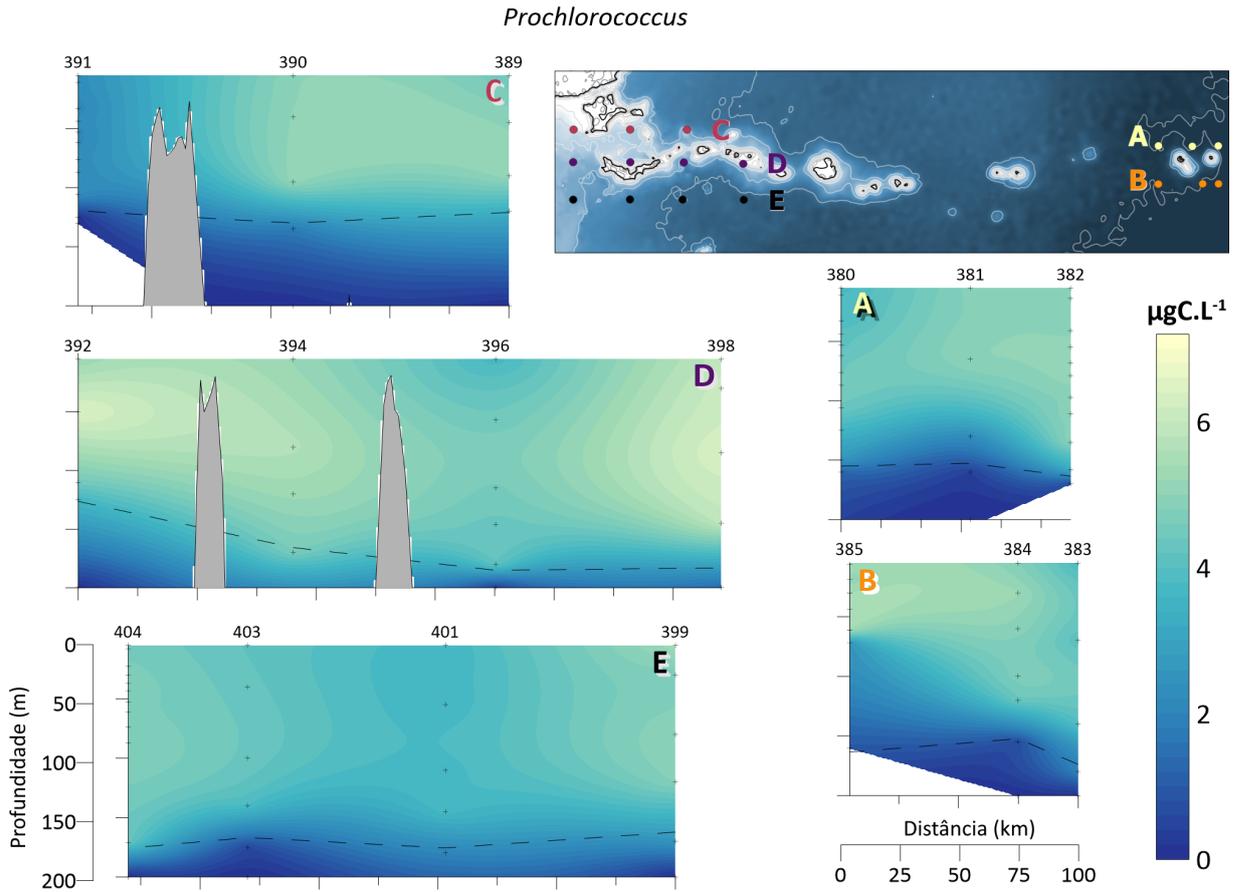


Figura 4.24: Mapa dos dados de biomassa de *Prochlorococcus* interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

As células do gênero *Synechococcus* não foram identificadas nos transectos a norte e sul da Ilha de Trindade (A e B). Nos transectos C, D e E a biomassa se acumulou na camada de mistura, com máximos de  $8,7 \mu\text{gC.L}^{-1}$  na superfície da estação 391 do transecto C, localizada a leste do Banco de Besnard (Fig. 4.25).

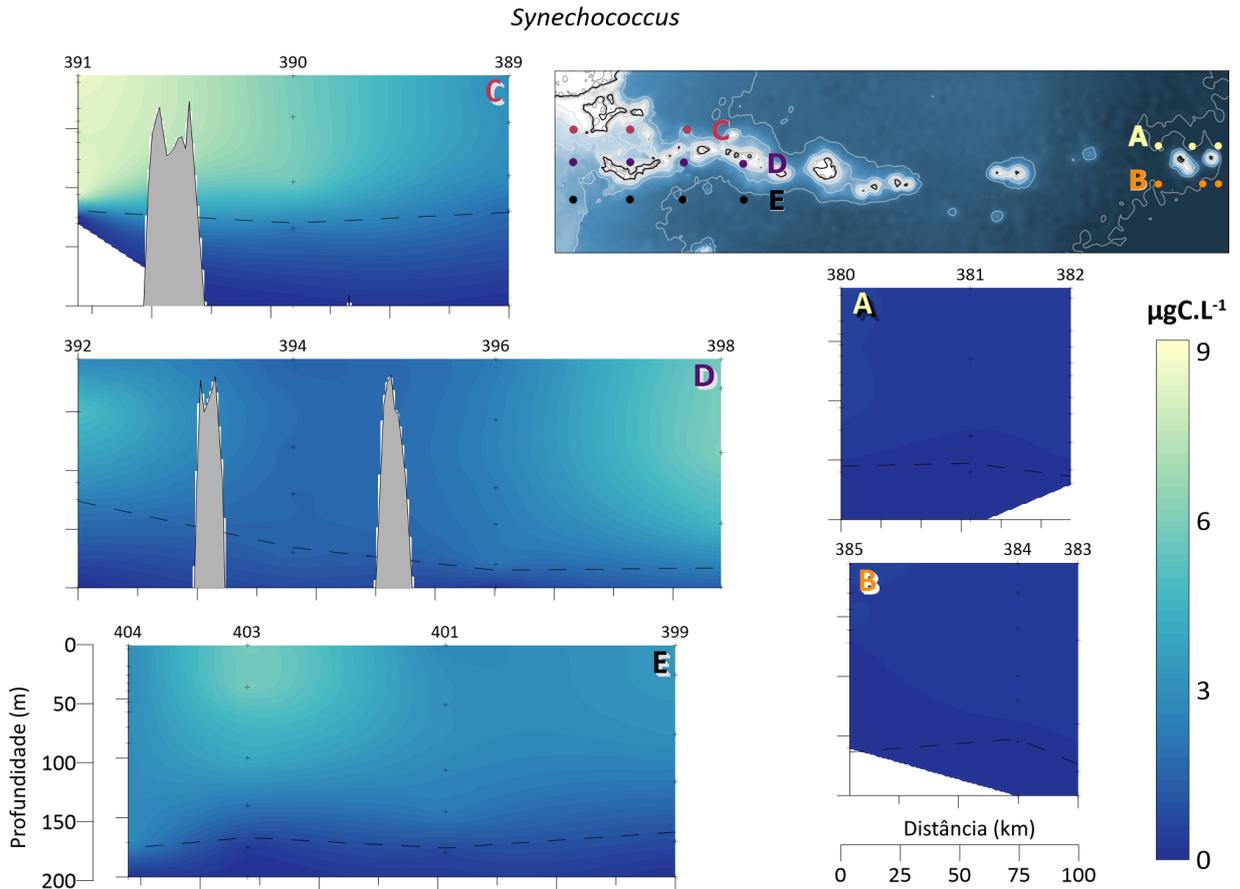


Figura 4.25: Mapa dos dados de biomassa de *Synechococcus* interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

A maior biomassa dos pico eucariotos foi de  $14,9 \mu\text{gC.L}^{-1}$ , a 180 m na estação 383, ao sul da Ilha de Martim Vaz e  $5,3 \mu\text{gC.L}^{-1}$  a 150 m no fim da camada de mistura da estação 382, transecto A.

Nos transectos C, D e E, as maiores concentrações ocorreram na camada de mistura. No transecto C os maiores valores foram próximos de  $9 \mu\text{gC.L}^{-1}$  na estação 391, entre a superfície a base da camada de mistura a 115 m. Em direção a oeste os valores de biomassa foram diminuindo. Nos transectos D e E, a distribuição desse grupo foi relativamente homogênea, entre  $3$  e  $7 \mu\text{gC.L}^{-1}$  (Fig. 4.26).

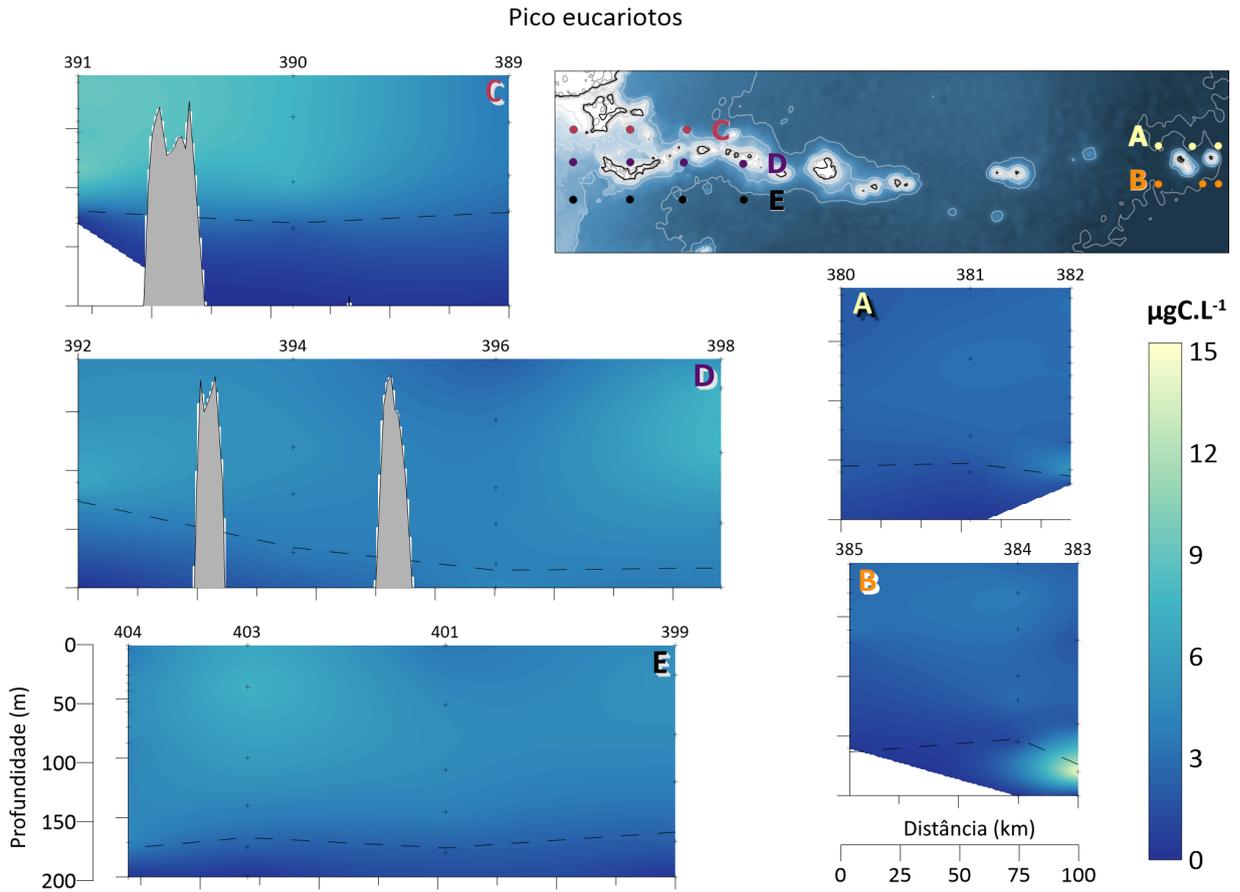


Figura 4.26: Mapa dos dados de biomassa de pico eucariotos interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

A maior concentração de biomassa nano eucariota foi  $285 \mu\text{gC.L}^{-1}$  na estação 391 do transecto C em 105 m. Na estação 398, mais ao leste do transecto D, sobre o monte Jaseur a 145 m também foi observado um pico ( $267 \mu\text{gC.L}^{-1}$ ) de nano eucariotos. No transecto E as concentrações foram relativamente homogêneas em toda a camada de mistura, próximas de  $100 \mu\text{gC.L}^{-1}$ .

Nos transectos A e B, as biomassas medidas foram menores em toda coluna de água. Em ambos foram observados valores mais altos nas estações ao leste, 382 e 383, próximos ao fim da camada de mistura (Fig. 4.27).

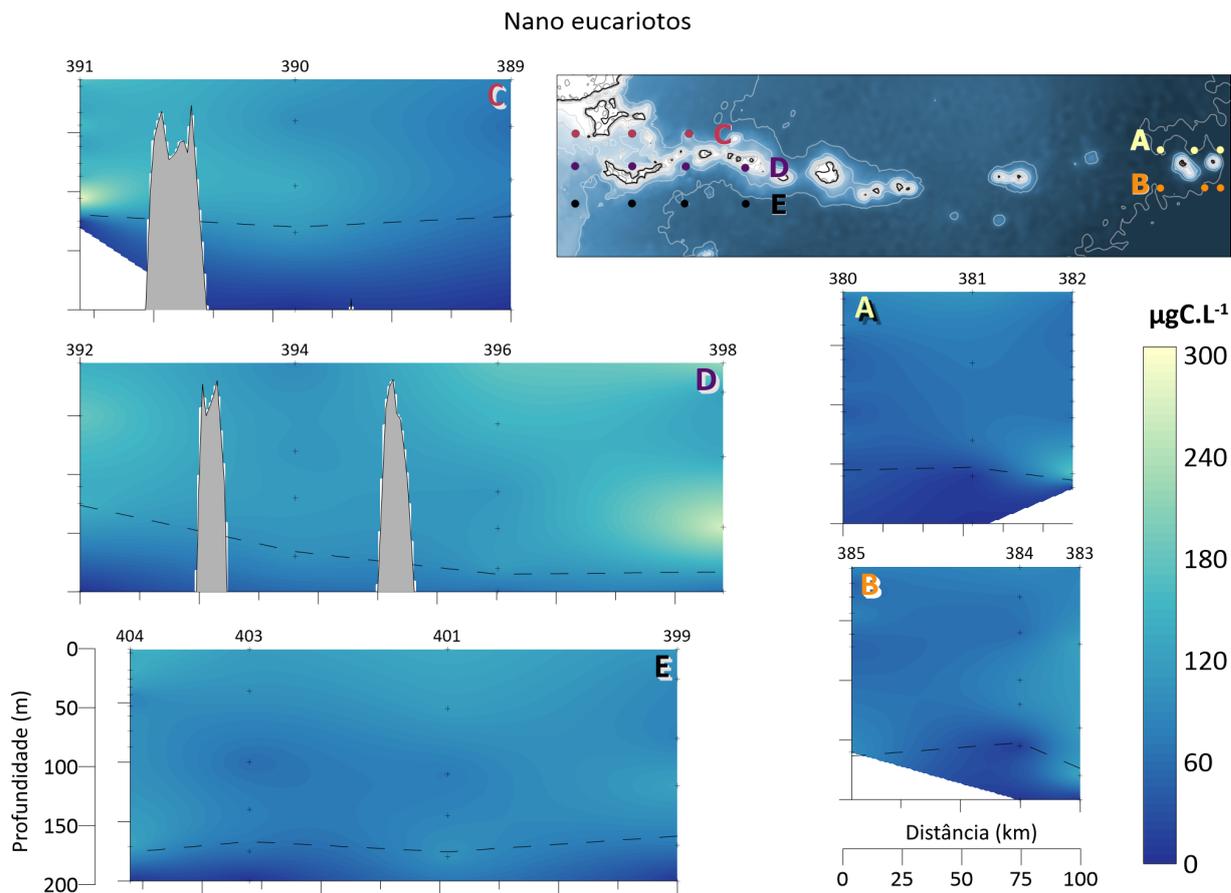


Figura 4.27: Mapa dos dados de biomassa de nano eucariotos interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

Na estação 380 do transecto A, noroeste da Ilha de Trindade, foram observadas as maiores concentrações de *Cryptophyceae* nas profundidades de 11 e 33 m, de 81 e 91  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , respectivamente. No restante das estações, a biomassa de *Cryptophyceae* medida foi relativamente baixa, com amostras mais concentradas, próximas de 50  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , na camada de mistura (Fig. 4.28).

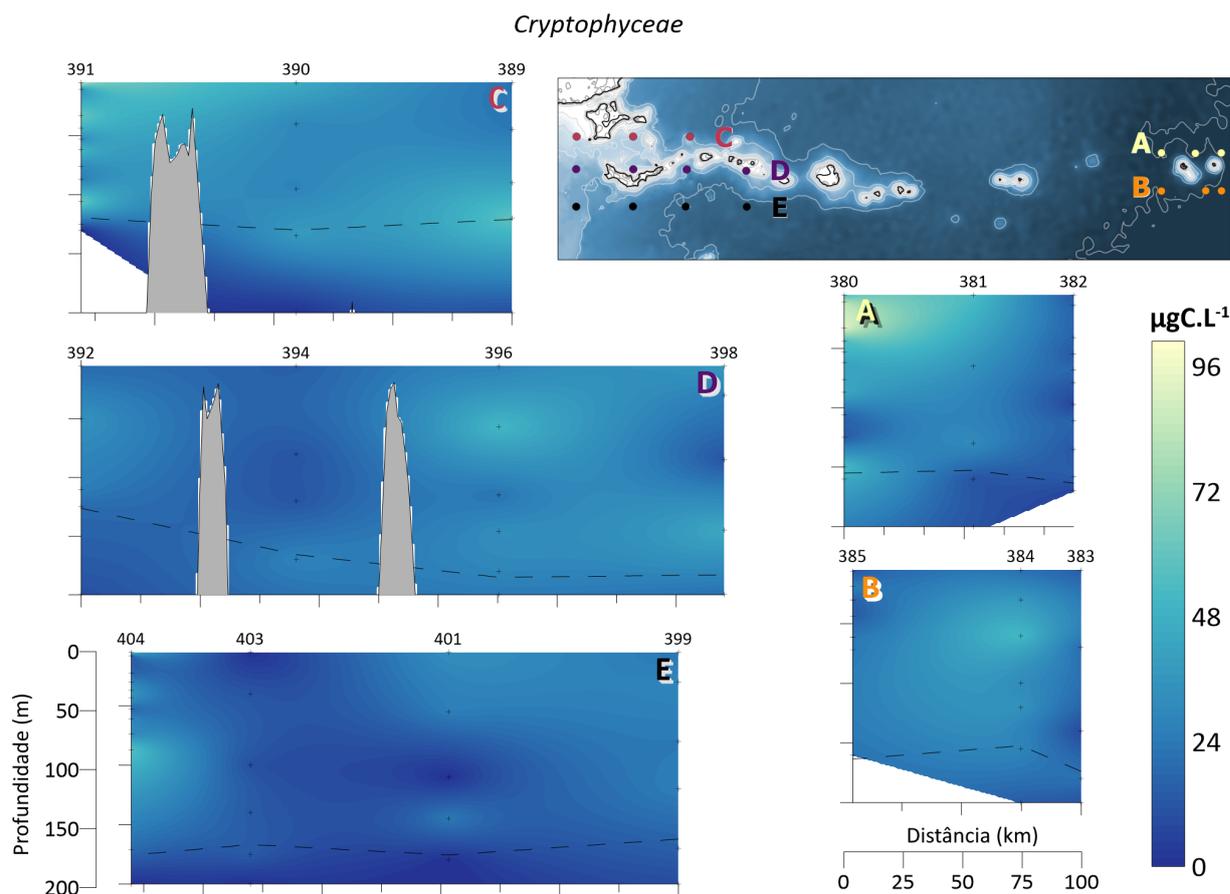


Figura 4.28: Mapa dos dados de biomassa de *Cryptophyceae* interpolados coletados no inverno. A linha tracejada representa o fim da camada de mistura.

#### 4.2.4.3 Biomassa integrada

##### Total

A biomassa medida integrada na coluna de água variou entre 16 e 45  $\text{gC.m}^{-2}$  respectivamente nas estações 385 e 398.

Em todas as estações o grupo dominante do o nano plancton, variando de 45.2 % na estação 380, a noroeste da Ilha de Trindade, a 78 % na estação 383, ao sul da Ilha de Martim Vaz. As crypto também representaram uma parcela importante da biomassa, variando de 9,7 % na estação 403, ao sul do Monte Submarino de Vitória, a 41,7 % na estação 380. As bactérias heterotróficas foram o terceiro grupo de maior biomassa, sempre maior que 4 %, e chegando a 8,1 % na estação 380 (Fig. 4.29 e tab. 4.4).

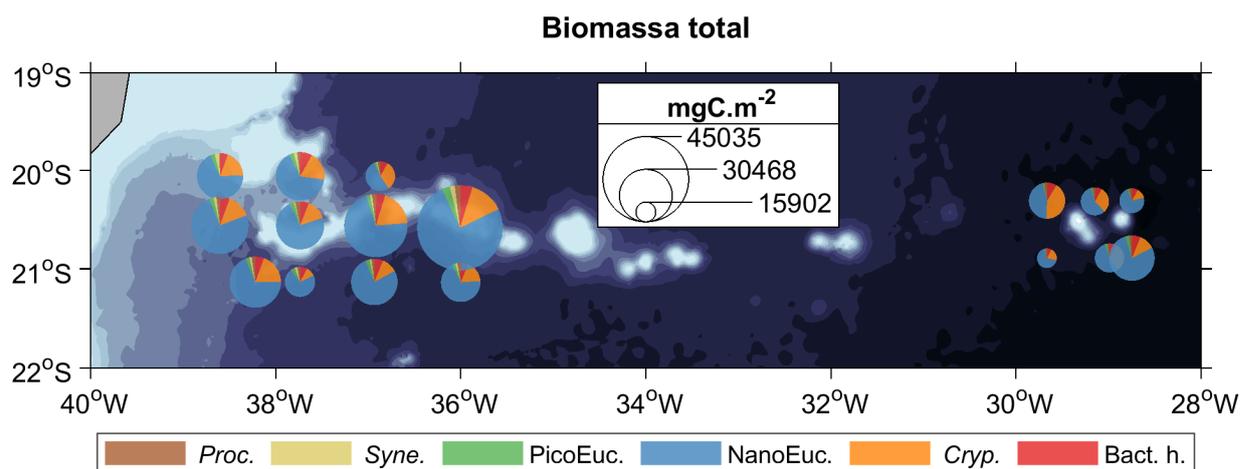


Figura 4.29: Mapa dos valores de biomassa total integrada na coluna de água e proporção de cada grupo componente no inverno.

Tabela 4.4 - Percentual de composição de todos os grupos nas estações amostradas no cruzeiro de inverno

	A			B			C			D				E			
	380	381	382	383	384	385	389	390	391	392	394	396	398	399	401	403	404
<b>Proc.</b>	2.8	2.9	4.2	2.5	3.3	3.1	3.3	2.3	0.9	2.4	3.6	2.3	2.4	3.2	2.5	3.2	2.8
<b>Syn.</b>	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.9	2.6	3.3	1.7	1.1	1.2	2.2	1.8	1.6	3.3	1.8
<b>Pico</b>	1.9	2.3	2.8	2.7	2.3	1.9	2.6	3.2	3.5	2.6	3.1	2.1	2.8	3.0	2.8	4.8	2.7
<b>Nano</b>	<b>45.2</b>	<b>57.0</b>	<b>72.6</b>	<b>78.0</b>	<b>54.7</b>	<b>67.2</b>	<b>52.2</b>	<b>65.2</b>	<b>68.4</b>	<b>74.9</b>	<b>73.0</b>	<b>71.4</b>	<b>75.2</b>	<b>68.9</b>	<b>76.5</b>	<b>71.7</b>	<b>68.3</b>
<b>Crypto.</b>	41.7	29.8	12.6	11.0	32.1	20.5	32.3	19.0	18.8	13.4	13.7	18.6	12.8	17.6	10.8	9.7	19.2
<b>Bact.</b>	8.1	7.8	7.7	5.6	7.4	7.0	7.7	7.7	5.1	5.0	5.5	4.4	4.4	5.6	5.8	7.3	5.3

### *Eucariota*

Em todas as estações o nano plâncton foi o grupo dominante, compondo de 50.9 % da biomassa eucariota na estação 380, a 85 % na estação 382, a noroeste da Ilha de Trindade e nordeste da Ilha de Martim Vaz, respectivamente.

Os valores de biomassa medidos variaram entre 14 e 41  $gC.m^{-2}$  nas estações 385 e 398, respectivamente, compondo de 86 a 92,1 % da biomassa total no inverno.

As *Cryptophyceae* tiveram sua contribuição de 11.3 a 47 % da biomassa eucariota, enquanto o pico plâncton autotrófico teve o máximo de contribuição na estação 403, 5,6 % (Fig. 4.30 e tab. 4.5).

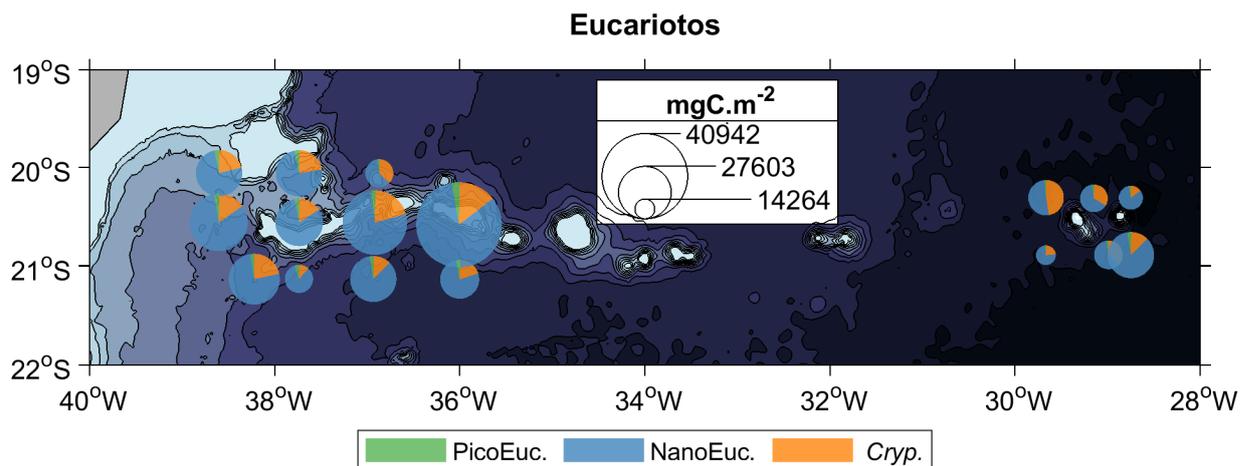


Figura 4.30: Mapa dos valores de biomassa eucariota integrada na coluna de água e proporção de cada grupo componente no inverno, pico e nano eucariotos e *Cryptophyceae*

Tabela 4.5 - Percentual de biomassa dos grupos eucariotos nas estações amostradas no cruzeiro de inverno

	A			B			C			D				E			
	380	381	382	383	384	385	389	390	391	392	394	396	398	399	401	403	404
<b>Pico</b>	2.1	2.6	3.1	3.0	2.6	2.1	2.9	3.7	3.8	2.8	3.4	2.2	3.1	3.4	3.1	5.6	2.9
<b>Nano</b>	<b>50.9</b>	<b>64.0</b>	<b>82.6</b>	<b>85.0</b>	61.4	<b>75.0</b>	<b>60.0</b>	<b>74.6</b>	<b>75.4</b>	<b>82.4</b>	<b>81.3</b>	<b>77.5</b>	<b>82.7</b>	<b>77.0</b>	<b>84.9</b>	<b>83.1</b>	<b>75.7</b>
<b>Crypto.</b>	47.0	33.5	14.3	12.0	36.1	22.9	37.1	21.7	20.8	14.8	15.3	20.3	14.1	19.6	12.0	11.3	21.3

### *Picoplanctônica*

A biomassa do pico plâncton variou entre 1.9 e 5.3  $gC.m^{-2}$ , nas estações 385, a sudoeste da Ilha de trindade, e 398, sobre o Monte de Jaseur.

Apesar do domínio de bactérias heterotróficas em todas as estações, de 37,2 a 62,1 %, as contribuições relativas dos grupos foram bem mais equilibrada em relação ao verão.

O gênero *Synechococcus*, representou menos que 2 % da biomassa do pico plâncton ao longo dos transectos A e B, exceto na estação 391, a leste do Banco de Besnard, onde contribuiu excepcionalmente com 26,2 %. Nos transectos C, D e E, a proporção de *Synechococcus* nesse reservatório sempre foi maior que 8 %.

Com exceção da estação 391, em que a proporção de *Prochlorococcus* foi de 6,9 %, este grupo sempre compôs mais de 14 % da biomassa do pico plâncton, chegando até 28,3 % na estação 382.

A contribuição de biomassa dos pico eucariotos no pico plâncton também foi signifi-

tiva em todas as estações, variando entre 14,6 a 27,1 %.

O pico plâncton variou entre 10 e 18,6 % na sua contribuição para o reservatório de biomassa total dos grupos analisados (Fig. 4.31 e tab. 4.6).

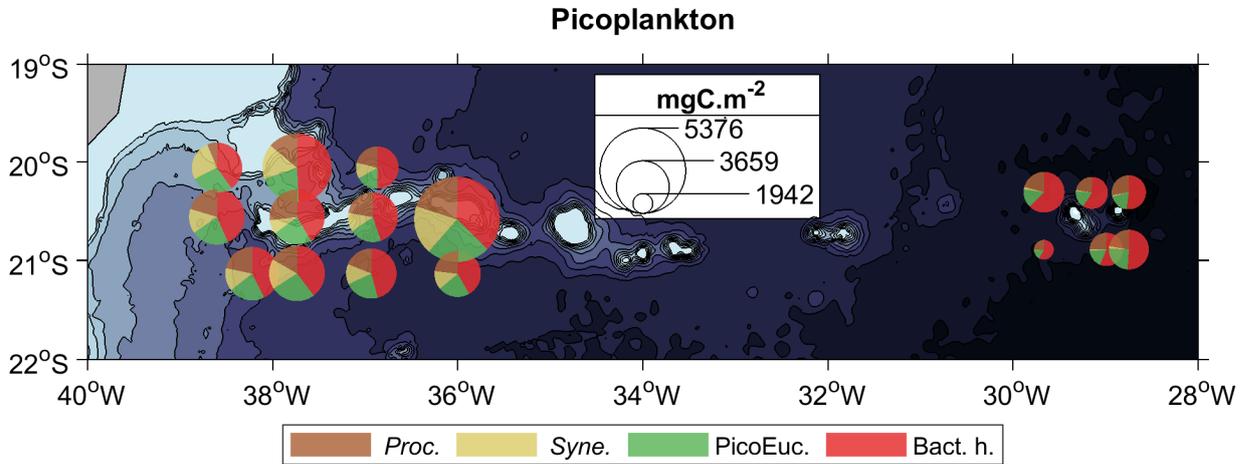
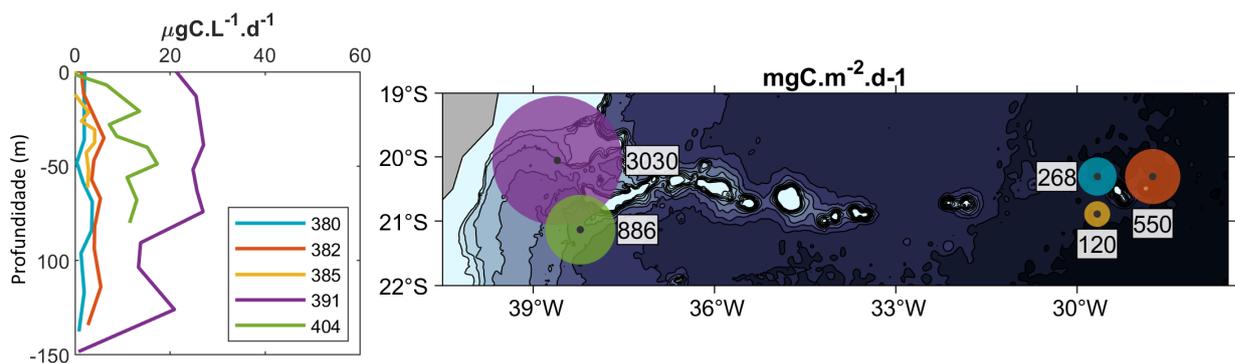


Figura 4.31: Mapa dos valores de biomassa picoplânctônica integrada na coluna de água e proporção de cada grupo componente no inverno, *Prochlorococcus*, *Synechococcus*, pico eucariotos e bactérias heterotróficas.

Tabela 4.6 - Percentual de biomassa dos grupos do pico plâncton nas estações amostradas no cruzeiro de inverno

	A			B			C			D				E			
	380	381	382	383	384	385	389	390	391	392	394	396	398	399	401	403	404
<i>Proc.</i>	21.3	22.3	28.3	22.5	25.0	25.4	21.5	14.3	6.9	20.7	27.3	22.8	20.4	23.5	19.4	17.2	22.2
<i>Syn.</i>	2.1	1.4	1.4	1.7	1.7	1.9	12.3	16.6	26.2	14.4	8.4	12.2	18.6	13.0	12.9	17.5	14.1
<b>Pico</b>	14.6	17.5	18.6	25.0	17.5	15.6	16.5	20.3	27.1	21.9	23.2	20.6	23.9	22.2	22.2	25.9	21.4
<b>Bact.</b>	<b>62.1</b>	<b>58.8</b>	<b>51.7</b>	<b>50.8</b>	<b>55.7</b>	<b>57.1</b>	<b>49.6</b>	<b>48.8</b>	<b>39.8</b>	<b>43.0</b>	<b>41.2</b>	<b>44.4</b>	<b>37.2</b>	<b>41.3</b>	<b>45.5</b>	<b>39.4</b>	<b>42.3</b>

#### 4.2.4.4 Produtividade primária



*Figura 4.32:* Produtividade primária medida em cinco estações no cruzeiro de inverno. O perfil a esquerda descreve a produtividade ao longo da coluna de água na zona eufótica. O mapa a direita representa a produção integrada em toda a profundidade da zona eufótica.

A produtividade medida no cruzeiro de inverno se distribuiu de maneira aproximadamente constante ao longo do perfil, com diminuição dos valores a próximo de  $0 \text{ mgC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  nas amostras mais profundas e sem picos de produtividade bem destacados na coluna de água.

A taxa diária de fixação por metro quadrado foi maior nas estações 391 e 404, mais próximas à costa, chegando a 3030 e 886  $\text{mgC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ . A estação 382, mais afastada da costa, a noroeste da Ilha de Trindade, teve valores de produção altos em relação as estações ao redor da ilha, 380 e 385. A menor produtividade foi medida na estação 385, devido a menor profundidade da zona eufótica e valores baixos de produção na coluna de água chegando a apenas 120  $\text{mgC.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  (Fig. 4.32).

## 5

## Discussão

Enquanto no verão a camada de mistura se limitou a até 66,7 m, no inverno esteve em até 186 m de profundidade, configurando condições oceanográficas distintas entre as campanhas amostradas. A variação sazonal na estrutura física da superfície do mar na região oeste do oceano atlântico tropical é causada principalmente pelo aumento da intensidade e frequência de frentes frias no inverno, promovendo a mistura turbulenta entre as camadas superficiais, facilitando a quebra da estratificação e proporcionando misturas mais profundas. No verão, o alto fluxo de calor da atmosfera para o oceano promove a formação de uma camada de mistura mais quente, rasa e estável, dificultando a mistura vertical gerada pela interação oceano-atmosfera, que por sua vez é enfraquecida devido diminuição da ocorrência de sistemas frontais atmosféricos (Xie e Carton, 2004; Carton e Zhou, 1997).

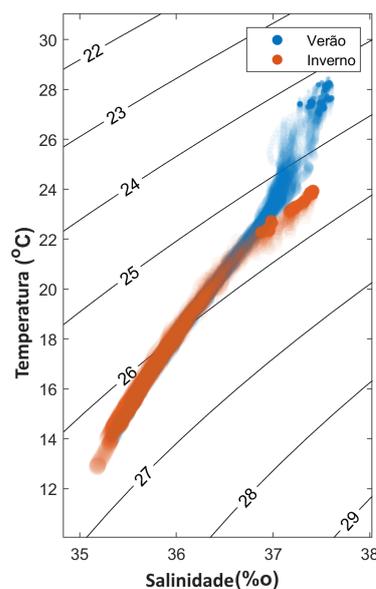


Figura 5.1: Diagrama de temperatura e salinidade dos dados obtidos nos dois cruzeiros até os 250 metros de profundidade.

A diferença entre os máximos de temperatura na superfície entre as campanhas foi de até  $4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Fig. 5.1), 1,8 vezes a amplitude térmica observada por Carton e Zhou (1997) em mesma latitude. Ao compararmos nossos dados da espessura da camada de mistura, profundidade da concentração 0,2 de nitrato ( $zNO_3^-$ ) e clorofila-a em superfície com os resultados de Signorini et al. (2015), torna-se evidente a discrepância entre as  $zNO_3^-$  na campanha de inverno e da literatura com a mesma variável na ]campanha de verão, quando a média foi cerca de 50 m mais rasa, ao mesmo tempo que a profundidade da camada de mistura corroborou com descrito por Signorini et al. (2015). No inverno ambas camada de mistura e a  $zNO_3^-$  estiveram mais profundas do que na literatura concomitante com valores mais altos de clorofila-a em superfície. (Fig. 5.2).

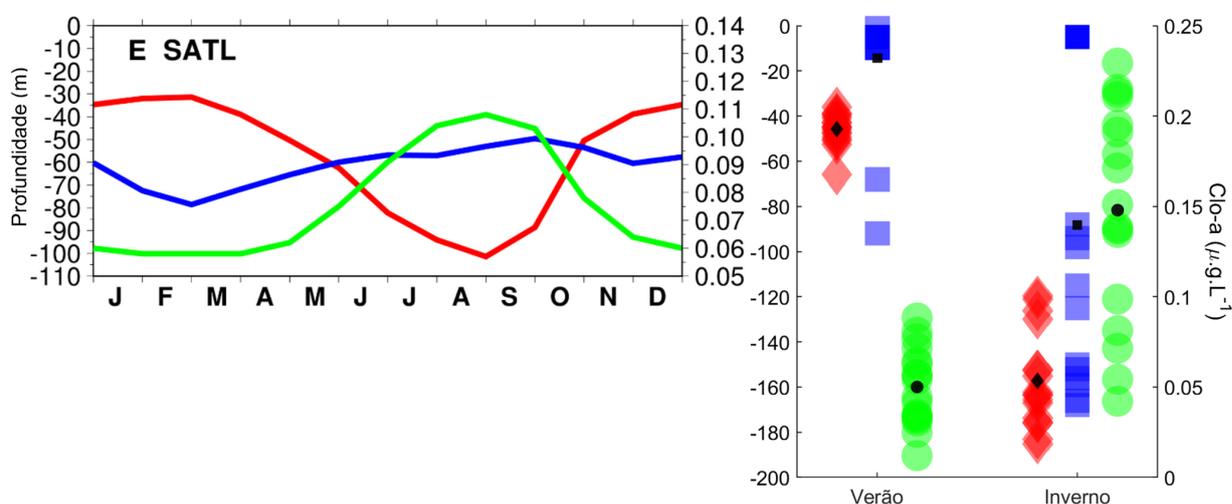


Figura 5.2: Vermelho: Profundidade da camada de mistura (m); Azul:  $zNO_3$  ( $\mu M$ ); Verde: Concentração de clorofila-a em superfície ( $\mu g.L^{-1}$ ); Resultados adaptados de Signorini et al. (2015) representando a média anual no giro do Atlântico Sul (esquerda). Resultados obtidos nos cruzeiros ILHAS, os símbolos em pretos representam as médias (direita).

No verão as concentrações de nitrato foram maiores e as de fosfato menores que no inverno. Em ambos cruzeiros as concentrações de fosfato foram ligeiramente menores nas estações mais próximas à costa, enquanto as concentrações de silicatos foram semelhantes, salvo no verão, quando as concentrações aumentam em profundidades menores devido a forte estratificação. Também no verão observamos valores altos próximos a  $4\text{ }\mu M$  na estação 329, em contraste com as estações vizinhas em mesma profundidade e com o inverno.

A razão N:P entre as campanha também foi dessemelhante. Segundo a razão Redfield

(1958) (16:1), as estações de 318 a 325 foram limitadas pelo macronutriente fosforo. A partir da 326 o nitrogênio torna-se fator limitante para a produção, onde a razão N:P ao longo de toda a coluna de água diminui para menos de 16. No inverno não houveram valores maiores que 13. É importante considerar que estes resultados não levam em conta as concentrações de  $NH_4^+$ , portanto subestimam os valores de nitrogênio total.

Apesar dos diferentes perfis de estratificação, a biomassa total se manteve na mesma ordem de grandeza nos dois cruzeiros, de dezenas de  $gC.m^{-2}$ . No entanto, quando observamos a contribuição relativa de cada grupo na biomassa total, é notável a diferença na distribuição vertical do organismos e estrutura de tamanho da comunidade microbiana entre as estações do ano (Figs. 4.9 e 4.29; Tabs. 4.1 e 4.4).

A maior diferença na composição da biomassa total entre as estações se deu na dominância das *Cryptophyceas* no verão entre as estações 322 e 329 - ponta leste do Monte Submarino de Vitória a estação oceânica entre o Banco de Dogaressa e Monte Submarino de Columbia. Esse grupo foi responsável pela maior biomassa no verão devido a fertilização por nitrato na zona eufótica. No entanto, nas estações 318 a 321 localizadas entre o Bancos de Bernard e Monte Subamrino de Vitória, onde foram medidas as maiores concentrações de nitrato na camada de mistura, não houve a dominância das *Cryptophyceae*. Os prováveis motivos seriam a diminuição da transparência da água em direção a costa como observamos nos dados obtidos com o PNF (Fig. 4.3) e/ou o protagonismo de frações maiores do fitoplâncton, visto que a biomassa dos grupos medidos entre B. Besnard e M.S. Vitória é menor do que sobre e entre os montes submarinos mais a leste.

A composição da comunidade picoplanctônica foi distinta nas duas campanhas. Houve perda de protagonismo das bactérias heterotróficas entre verão e o inverno. No verão estes organismos representaram até 83,7% da biomassa picoplanctônica e compuseram a maior parte do carbono deste grupo em todas estações com exceção de uma (326). No inverno as bactérias heterotróficas continuaram sendo a maior fração da biomassa em todas as estações. No entanto, a proporção de biomassa do picoplâncton eucarioto foi maior que no verão. Nos transectos C, D e E o *Synechococcus* ganhou relevância, uma vez que sua biomassa é praticamente desprezível no verão mesmo nas estações mais costeiras. No inverno estas cianobactérias compuseram até 26,2 % do pico plâncton analisado, correspondendo a 3,3 % da biomassa total.

Tabela 5.1 - Comparação dos valores de biomassa com Ribeiro et al. (2016) e Bergo et al. (2017). Os valores de biomassa de nano eucariotos foram calculadas com nossas taxas utilizadas neste trabalho.

	Grupo	Estação	Biomassa ( $\mu\text{gC.L}^{-1}$ )	
			Média (DP)	Min - Max
ILHAS	Proc.	Verão	2,9 (2,6)	0 - 11
	Syn.		0,4 (0,5)	0 - 2,4
	Pico euc.		2,5 (5,9)	0,1 - 41
	Nano euc.		116,6 (96,3)	3,2 - 632
	Cryp.		163,4 (230,5)	5,2 - 1133
	Bact. heterotro.		9,8 (4,9)	1,8 - 24
	Proc.	Inverno	3,5 (1,9)	0 - 6,4
	Syn.		2,0 (2,4)	0 - 8,7
	Pico euc.		3,7 (2,5)	0 - 15
	Nano euc.		86,8 (53,8)	0 - 290
	Cryp.		25,8 (17,8)	0 - 92
	Bact. heterotro.		8,1 (2,3)	2,6 - 14
Bergo et al. (2017)	Proc.	Verão	0,3 (0,6)	0 - 2,4
	Syn.		3,9 (7,2)	0,01 - 30
	Pico euc.		6,4 (8,3)	0,1 - 30
	Nano euc.		132 (185)	0 - 1135
	Bact. heterotro.		15 (11)	1,6 - 42
Ribeiro et al. (2016)	Proc.	Primavera	3,7 (3,2)	0 - 10
	Syn.		4,22 (9,18)	0,01 - 85
	Pico euc.		0,13 (0,26)	0 - 1,8
	Nano euc.		125 (105)	1,20 - 680
	Bact. heterotro.		13 (7,17)	4 - 60

Comparando os resultados dos cruzeiros ILHAS com trabalhos que utilizaram a mesma técnica de citometria na região de plataforma continental e quebra do talude (Tab. 5.1), é possível observar a semelhança nas grandezas dos resultados obtidos nas medidas pontuais ao longo da coluna de água. A maior diferença esteve no *Synechococcus*, bactéria autotrófica cuja distribuição se dá principalmente em zonas costeiras e plataformas continentais (Partensky et al., 1999; Brandini et al., 2019). A biomassa de bactérias heterotróficas também foi maior em Ribeiro et al. (2016) e Bergo et al. (2017) do que nas campanhas amostradas, o

que pode ser explicado pela maior quantidade de matéria orgânica disponível no ambiente pelágico em plataforma continental, fonte de subsistência destes organismos. A grande profundidade da camada de mistura no inverno explica a menor magnitude e variação da biomassa autotrófica, uma vez que a comunidade estava melhor distribuída no ambiente pelágico e não se acumulou em picos como no verão e nas referências utilizadas.

A produtividade primária em ambas campanhas foi fortemente influenciada pela estrutura física da coluna de água. No verão, a fixação de carbono esteve limitada entre a superfície e fim da camada de mistura. As razões N:P nesta estação do ano nos dá indícios da limitação da PP pelo suprimento insuficiente de fósforo na zona eufótica, principalmente na porção oeste da cadeia Vitória-Trindade. A maior proporção de bactérias heterotróficas medida e a maior concentração de diazotróficos descrita por Sacilotto Detoni et al. (2022) nas mesmas estações, indica maior aporte de  $NH_4^+$  pela alça microbiana diazotrófica, aliviando a pressão de absorção de nitrato e nitrito, tornando o fosfato fator limitante para a produção primária.

No inverno a alta profundidade da camada de mistura proporcionou um quadro de menor variação da produtividade ao longo da coluna de água, sem picos proeminentes. Associando a fixação de carbono com baixas concentrações de nutrientes, podemos assumir que no inverno predominou a produção regenerada, sustentada pela excreção bacteriana de amônia (Azam, 1998; Azam e Malfatti, 2007; Pomeroy et al., 2007).

Na cadeia de montes submarinos Vitória-Trindade observamos que, assim como nas medidas de biomassa, os valores de produção primária são consistentemente maiores próximos aos montes quando comparados com estações afastadas. Comparando com resultados da literatura (Tab. 5.2), observa-se que as taxas de fixação de  $CO_2$  em regiões próximas aos montes se equivale e supera os valores de PP descritos na plataforma continental. Em regiões afastadas dos montes os valores de produtividade primária são semelhantes aos descritos em região oceânica no Atlântico Sul Tropical.

*Tabela 5.2 - Comparação dos valores de produção primária do Oceano Atlântico (Brandini, 2017)*

Região	Setor	Estação	gC.m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup>
Oc. Global	Plat. Continental	média anual	0,25-0,50
	Zona oceânica	média anual	0,1
Oc. Atlântico	Plat. Continental	média anual	0,41
	Zona oceânica	média anual	0,28
	Talude	Verão	1,1
ILHAS	Zona oceânica ao sul do Monte submarino de Montague	Verão	0,22
	Zona oceânica prox. a Ilha de Trindade	Verão	0,73
	Talude/Banco de Besnard	Inverno	3,03
	prox. Monte Submarino de Vitória	Inverno	0,89
	Zona oceânica prox. a Ilha de Trindade	Inverno	0,1-0,5

A partir da análise de componentes principais do cruzeiro de verão (Fig. 5.3 e tab. 5.3), foi possível observar a separação das amostras em três condições relativas aos montes (sobre, adjacente e profunda) pela CP1, com valores positivos nas amostras profundas e negativos sobre os montes, mediados pelas adjacentes. A variação dentro dos grupos se deu nas duas componentes principais nas situações profundas e adjacentes aos montes, em que amostras mais rasas tiveram valores menores na CP2. Nas amostras sobre os montes a variação foi determinada quase exclusivamente na CP2.

A profundidade local teve uma relação inversamente proporcional com a variação de *Prochlorococcus*, *Synechococcus*, nano e pico eucariotos pigmentados e nitrato, indicando um aumento de biomassa autotrófica sobre e nas proximidades dos montes submarinos da cadeia Vitória-Trindade. A da clorofila-a teve sua variância controlada apenas pela CP2 e teve uma relação quase perpendicular com a profundidade local, ou seja, uma correlação próxima de zero. O posicionamento e magnitude do vetor clorofila-a em relação as medidas de biomassa autotrófica pode ser um indicativo de que frações maiores da comunidade autotrófica estejam presentes no ambiente. A perpendicularidade das variações dos nutrientes fosfato e nitrato corroboram com a sugestão da limitação da produção primária pelo suprimento de fosfato.

Por fim, observou-se que a biomassa de bactérias heterotróficas e *Cryptophyceae* tem relação positiva com as variações de temperatura. Esses resultados sugerem que a estrutura física da coluna de água pode ser um fator importante na distribuição e composição das comunidades microbianas em ambientes pelágicos próximos a montes submarinos.

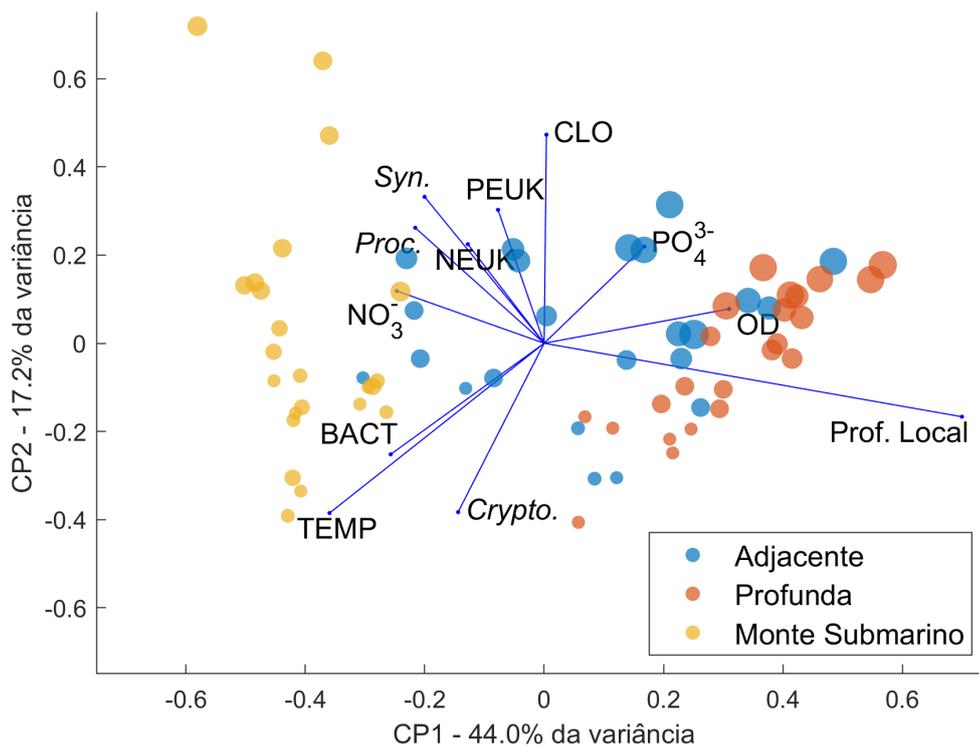


Figura 5.3: Biplot representando os auto-vetores e auto-valores obtidos a partir da análise de componentes principais geradas com as variáveis do cruzeiro de verão. O tamanho dos pontos representa a profundidade da amostra em relação a cada estação.

Tabela 5.3 - Resultados da análise de componentes principais no cruzeiro de verão.

	Prof. Local	Proc	Syn	Pico	Nano	Crypto	Bact	Temp.	OD	Clo	Nitrato	Fosfato
CP1	0,70	-0,22	-0,20	-0,08	-0,13	-0,14	-0,26	-0,36	0,31	0,00	-0,25	0,17
CP2	-0,17	0,26	0,33	0,30	0,22	-0,38	-0,25	-0,39	0,08	0,47	0,12	0,22
CP3	0,30	0,46	0,27	0,04	0,20	-0,14	0,26	0,35	0,49	-0,03	-0,20	-0,31

Na análise de componentes principais do cruzeiro de inverno (Fig. 5.4 e tab. 5.4), os resultados mostraram que as amostras dos transectos A e B se agruparam nos valores negativos da CP1, enquanto que as amostras dos transectos C, D e E se agruparam em valores positivos. As amostras mais profundas tiveram valores negativos na componente principal 2 semelhante as amostras dos transectos A e B, associados a variação positiva de nitrato e fosfato, indicando concentrações de nutrientes maiores em amostras profundas, no entanto desassociadas da variação na biomassa microbiana, cenário típico da produção regenerada. A relação próxima da clorofila-a com as biomassas também é um indicativo do protagonismo destes organismos do nano e pico plâncton na comunidade microbiana.

Ademais, as amostras coletadas na estação 391 do transecto C, a oeste do Monte Vitória, se destacaram no quarto quadrante, indicativo de uma estrutura da comunidade microbiana específica associada a essa estação, na qual observamos valores relativamente mais altos de biomassa de *Synechococcus* e pico eucariotos na camada de mistura e nano eucariotos na base da termoclina.

Neste cruzeiro devido a maior distância das estações de coletas para os montes, em relação ao verão, a profundidade local não teve peso suficiente para ser considerada na análise.

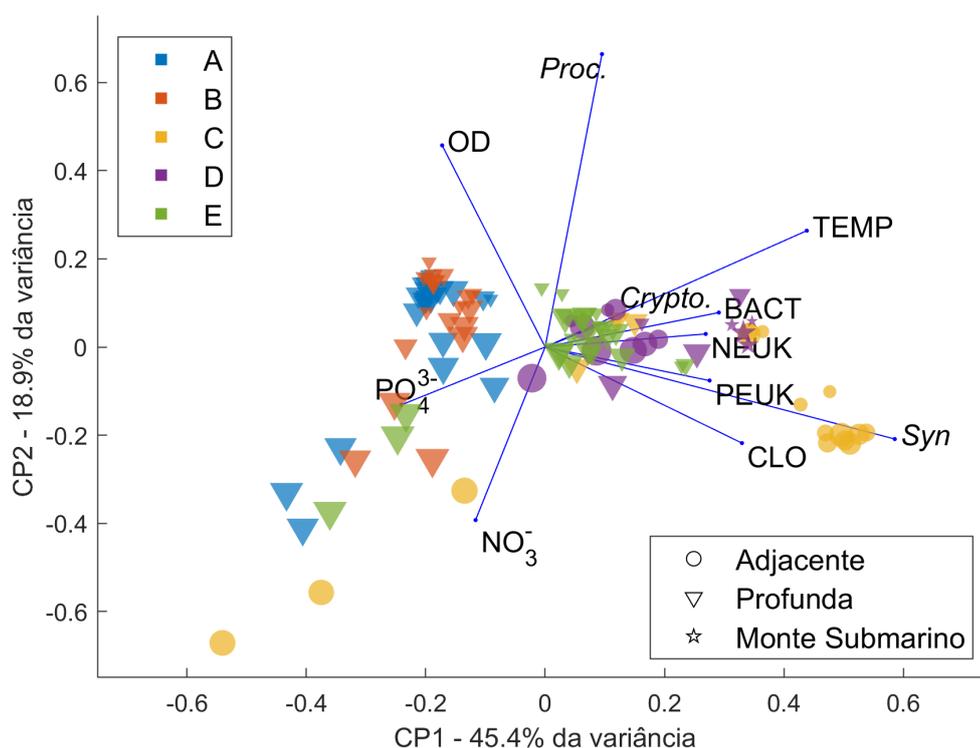


Figura 5.4: Biplot representando os auto-vetores e auto-valores obtidos a partir da análise de componentes principais geradas com as variáveis do cruzeiro de inverno. O tamanho dos pontos representa a profundidade da amostra em relação a cada estação.

Tabela 5.4 - Resultados da análise de componentes principais no cruzeiro de inverno.

	Proc	Syn	Pico	Nano	Crypto	Bact	Temp	OD	Clo	Nitrato	Fosfato
CP1	0,10	0,59	0,28	0,27	0,11	0,29	0,44	-0,17	0,33	-0,12	-0,24
CP2	0,66	-0,21	-0,08	0,03	0,06	0,08	0,26	0,46	-0,22	-0,39	-0,13
CP3	-0,29	0,12	0,06	-0,02	0,63	0,39	-0,33	0,44	-0,01	-0,14	0,14

É impossível determinar especificamente as relações causa-efeito responsáveis pelas diferenças da biomassa de carbono microbiano entre dois períodos distintos do ano devido ao

grande número e complexidade dos processos ecossistêmicos aos quais estas comunidades estão sujeitas, principalmente em ambientes de dinâmica dispare como montes submarinos (Napolitano et al., 2021). Contudo, estabelecendo uma visão ecossistêmica a partir das variáveis analisadas e comparando com resultados sobre outras condições ambientais e sazonais, podemos afirmar que sobre e próximo aos monte submarinos da cadeia Vitória-Trindade a composição da comunidade microbiana difere das regiões oligotróficas do giro do atlântico sul onde estão localizados.

Mesmo sendo um ambiente com alta variabilidade hidrográfica sazonal (Xie e Carton, 2004; Signorini e McClain, 2012) e consequente variação nas taxas de fotossíntese, o giro do Atlântico Sul Subtropical é caracterizado pelo desacoplamento entre o estoque da biomassa fitoplanctônica, concentrações de clorofila-a e taxas de produtividade primária (Marañón et al., 2001, 2003). A variação temporal na produção primária em áreas ultra-oligotróficas do Oceano Atlânticos não estão associadas com mudanças na estrutura de tamanho da comunidade autotrófica Marañón et al. (2001), sobretudo em águas oligotróficas do giro subtropical cuja estrutura física da coluna de água determina o estado biogeoquímico vertical da zona eufótica, cenário observado nas estações oceânicas. No entanto, próximos e sobre os montes submarinos a estrutura de tamanho da comunidade microbiana mudou entre estações do ano e entre setores da cadeia no mesmo período.

---

# 6

---

## Conclusões

- Os montes submarinos alteram a estrutura da comunidade microbiana e produtividade primária tanto no verão quanto inverno, modificando os processos biogeoquímicos típicos de região oceânica para semelhantes a de plataformas continentais e taludes.
- A cadeia de montes submarinos Vitória-Trindade estende e/ou exporta dos processos biogeoquímicos típicos de plataforma continental para a região oceânica. Este processo ocorre principalmente na porção oeste da cadeia, até o Banco de Dogoressa, mas também pôde ser observado, em menos intensidade nas estações próximas as ilhas de Trindade e Martim Vaz.
- No verão a forte estratificação em superfície possivelmente intensifica o efeito dos montes submarinos na composição da comunidade microbiana pela fertilização da zona eufótica por nitrogênio, direta ou indiretamente por organismos diazotróficos, e tornando possível o protagonismo de frações maiores do fitoplâncton na produção primária.
- No inverno o efeito dos montes é menos aparente na coluna de água devido a grande profundidade da camada de mistura. No entanto, valores integrados na coluna de água demonstram a maior magnitude de biomassa microbiana e produtividade primária do que em regiões afastadas dos montes.

---

# 7

---

# Conclusões

Conclusões do trabalho e/ou perspectivas

---

## Referências Bibliográficas

- Andrade L., Gonzalez A., Valentin J., Paranhos R., Bacterial abundance and production in the southwest Atlantic Ocean, *Hydrobiologia*, 2004, vol. 511, p. 103
- Arruda W. Z., Campos E. J., Zharkov V., Soutelino R. G., da Silveira I. C., Events of equatorward translation of the Vitoria Eddy, *Continental Shelf Research*, 2013, vol. 70, p. 61
- Azam F., Microbial control of oceanic carbon flux: the plot thickens, *Science*, 1998, vol. 280, p. 694
- Azam F., Fenchel T., Field J. G., Gray J., Meyer-Reil L., Thingstad F., The ecological role of water-column microbes in the sea, *Marine ecology progress series*, 1983, pp 257–263
- Azam F., Malfatti F., Microbial structuring of marine ecosystems, *Nature Reviews Microbiology*, 2007, vol. 5, p. 782
- Beardall J., Young E., Roberts S., Approaches for determining phytoplankton nutrient limitation, *Aquatic sciences*, 2001, vol. 63, p. 44
- Bergo N. M., Signori C. N., Amado A. M., Brandini F. P., Pellizari V. H., 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 in Marine Science*, 2017, vol. 4, p. 238
- Boehlert G. W., Genin A., A review of the effects of seamounts on biological processes, *Seamounts, islands, and atolls*, 1987, pp 319–334

- Bower A. S., Armi L., Ambar I., Direct evidence of meddy formation off the southwestern coast of Portugal, *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1995, vol. 42, p. 1621
- Brandini F., Michelazzo L. S., Freitas G. R., Campos G., Chuqui M., Jovane L., Carbon flow for plankton metabolism of Saco do Mamanguá Ría, Bay of Ilha Grande, a subtropical coastal environment in the South Brazil Bight, *Frontiers in Marine Science*, 2019, vol. 6, p. 584
- Brandini F. P., , 2017 in , *Introdução às ciências do mar*. Editora Textos Chapt. 11 pp 280–313
- Buitenhuis E. T., Li W. K., Vaultot D., Lomas M. W., Landry M., Partensky F., Karl D., Ulloa O., Campbell L., Jacquet S., et al., Picophytoplankton biomass distribution in the global ocean, *Earth System Science Data*, 2012, vol. 4, p. 37
- Caron D. A., Mixotrophy stirs up our understanding of marine food webs, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2016, vol. 113, p. 2806
- Carton J. A., Zhou Z., Annual cycle of sea surface temperature in the tropical Atlantic Ocean, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1997, vol. 102, p. 27813
- Christiansen B., Wolff G., The oceanography, biogeochemistry and ecology of two NE Atlantic seamounts, *Deep Sea Research II*, 2009, vol. 56, p. 2579
- Denaro G., Valenti D., Spagnolo B., Basilone G., Mazzola S., Zgozi S. W., Aronica S., Bonanno A., Dynamics of two picophytoplankton groups in Mediterranean Sea: Analysis of the deep chlorophyll maximum by a stochastic advection-reaction-diffusion model, *PloS one*, 2013, vol. 8, p. e66765
- Detmer A., Bathmann U., Distribution patterns of autotrophic pico-and nanoplankton and their relative contribution to algal biomass during spring in the Atlantic sector of the Southern Ocean, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1997, vol. 44, p. 299
- Dore J. E., Letelier R. M., Church M. J., Lukas R., Karl D. M., Summer phytoplankton blooms in the oligotrophic North Pacific Subtropical Gyre: Historical perspective and recent observations, *Progress in Oceanography*, 2008, vol. 76, p. 2

- Dower J., Freeland H., Juniper K., A strong biological response to oceanic flow past Cobb Seamount, *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 1992, vol. 39, p. 1139
- Duarte C. M., Regaudie-de Gioux A., Arrieta J. M., Delgado-Huertas A., Agustí S., The oligotrophic ocean is heterotrophic, *Annual review of marine science*, 2013, vol. 5, p. 551
- Ducklow H., Bacterial production and biomass in the oceans, *Microbial ecology of the oceans*, 2000, vol. 1, p. 85
- Ducklow H. W., Carlson C. A., , 1992 in , *Advances in microbial ecology*. Springer pp 113–181
- Eriksen C. C., Observations of amplified flows atop a large seamount, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1991, vol. 96, p. 15227
- Etnoyer P. J., Wood J., Shirley T. C., BOX 12| How Large Is the Seamount Biome?, *Oceanography*, 2010, vol. 23, p. 206
- Flynn K. J., Stoecker D. K., Mitra A., Raven J. A., Glibert P. M., Hansen P. J., Granéli E., Burkholder J. M., Misuse of the phytoplankton–zooplankton dichotomy: the need to assign organisms as mixotrophs within plankton functional types, *Journal of Plankton Research*, 2012, vol. 35, p. 3
- Gaeta S., Teixeira C., Abe D., Lopes R., Susini S., Size-fractionation of primary production and phytoplankton biomass on inshore waters of the Ubatuba region, Brazil, *Publicação especial do Instituto Oceanográfico*, 1995, vol. 11, p. 153
- Gaeta S. A., *Produção Primária na Região Oeste do Atlântico Sul*. 1999. 140p, Tese (Livre Docência)–Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 1999, Tese de Doutorado
- Genin A., Boehlert G. W., Dynamics of temperature and chlorophyll structures above a seamount: an oceanic experiment, *Journal of Marine Research*, 1985, vol. 43, p. 907
- Genin A., Dower J. F., Seamount plankton dynamics, *Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation*, 2007, pp 87–100

- Grasshoff K., Kremling K., Ehrhardt M., *Methods of seawater analysis*. John Wiley & Sons, 2009
- Harding Jr L. W., Fisher Jr T. R., Tyler M. A., Adaptive responses of photosynthesis in phytoplankton: specificity to time-scale of change in light, *Biological oceanography*, 1987, vol. 4, p. 403
- Hartmann M., Grob C., Tarran G. A., Martin A. P., Burkill P. H., Scanlan D. J., Zubkov M. V., Mixotrophic basis of Atlantic oligotrophic ecosystems, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, vol. 109, p. 5756
- Howarth R. W., Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems, *Annual review of ecology and systematics*, 1988, vol. 19, p. 89
- Hubbs C. L., Initial discoveries of fish faunas on seamounts and offshore banks in the eastern Pacific, *Pacific Science*, 1959, vol. 13
- Huppert H. E., Bryan K., Topographically generated eddies. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* , vol. 23, 1976, p. 655
- Kunze E., Boss E., A model for vortex-trapped internal waves, *Journal of physical oceanography*, 1998, vol. 28, p. 2104
- Landry M. R., Kirshtein J., Constantinou J., Abundances and distributions of picoplankton populations in the central equatorial Pacific from 12 N to 12 S, 140 W, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1996, vol. 43, p. 871
- Lee S., Fuhrman J. A., Relationships between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton, *Applied and environmental microbiology*, 1987, vol. 53, p. 1298
- Legendre L., Rassoulzadegan F., Plankton and nutrient dynamics in marine waters, *Ophelia*, 1995, vol. 41, p. 153
- Lewis M. R., Hebert D., Harrison W. G., Platt T., Oakey N. S., Vertical nitrate fluxes in the oligotrophic ocean, *Science*, 1986, vol. 234, p. 870
- Lubiana K. M. F., Dias Júnior C., The composition and new records of micro-and mesophytoplankton near the Vitória-Trindade Seamount Chain, *Biota Neotropica*, 2016, vol. 16

- Marañón E., Behrenfeld M. J., González N., Mouriño B., Zubkov M. V., High variability of primary production in oligotrophic waters of the Atlantic Ocean: uncoupling from phytoplankton biomass and size structure, *Marine Ecology Progress Series*, 2003, vol. 257, p. 1
- Marañón E., Holligan P. M., Barciela R., González N., Mouriño B., Pazó M. J., Varela M., Patterns of phytoplankton size structure and productivity in contrasting open-ocean environments, *Marine Ecology Progress Series*, 2001, vol. 216, p. 43
- Marie D., Brussaard C., Partensky F., Vaultot D., Flow cytometric analysis of phytoplankton, bacteria and viruses, p. 11.11. 1–11.11. 15, *Current protocols in cytometry*. Wiley, 1999
- Marie D., Rigaut-Jalabert F., Vaultot D., An improved protocol for flow cytometry analysis of phytoplankton cultures and natural samples, *Cytometry Part A*, 2014, vol. 85, p. 962
- Meincke J., Observation of an anticyclonic vortex trapped above a seamount, *Journal of Geophysical Research*, 1971, vol. 76, p. 7432
- Meirelles P. M., Amado-Filho G. M., Pereira-Filho G. H., Pinheiro H. T., De Moura R. L., Joyeux J.-C., Mazzei E. F., Bastos A. C., Edwards R. A., Dinsdale E., et al., Baseline assessment of mesophotic reefs of the Vitória-Trindade seamount chain based on water quality, microbial diversity, benthic cover and fish biomass data, *PloS one*, 2015, vol. 10, p. e0130084
- Menden-Deuer S., Lessard E. J., Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton, *Limnology and oceanography*, 2000, vol. 45, p. 569
- Mendonça A., Arístegui J., Vilas J. C., Montero M. F., Ojeda A., Espino M., Martins A., Is there a seamount effect on microbial community structure and biomass? The case study of Seine and Sedlo Seamounts (Northeast Atlantic), *PLoS One*, 2012, vol. 7, p. e29526
- Miller L., Robert M., Crawford W., The large, westward-propagating Haida Eddies of the Pacific eastern boundary, *Deep sea research II*, 2005, vol. 52, p. 845

- Moon-van der Staay S. Y., De Wachter R., Vaultot D., Oceanic 18S rDNA sequences from picoplankton reveal unsuspected eukaryotic diversity, *Nature*, 2001, vol. 409, p. 607
- Morais R., Ferreira C., Floeter S., Spatial patterns of fish standing biomass across Brazilian reefs, *Journal of fish biology*, 2017, vol. 91, p. 1642
- Morgan K. C., Kalff J., Effect of light and temperature interactions on growth of *Cryptomonas erosa* (Cryptophyceae) 1, *Journal of Phycology*, 1979, vol. 15, p. 127
- Motoki A., Motoki K. F., de Melo D. P., Caracterização da morfologia submarina da Cadeia Vitória-Trindade e áreas adjacentes, ES, com base na batimetria predita do TOPO versão 14.1, *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2012, vol. 13
- Mousing E. A., Richardson K., Ellegaard M., Global patterns in phytoplankton biomass and community size structure in relation to macronutrients in the open ocean, *Limnology and Oceanography*, 2018
- Napolitano D. C., da Silveira I., Tandon A., Calil P., Submesoscale phenomena due to the Brazil current crossing of the Vitória-Trindade Ridge, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2021, vol. 126, p. e2020JC016731
- Partensky F., Blanchot J., Lantoiné F., Neveux J., Marie D., Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean, *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1996, vol. 43, p. 1191
- Partensky F., Blanchot J., Vaultot D., Differential distribution and ecology of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* in oceanic waters: a review, *BULLETIN-INSTITUT OCEANOGRAPHIQUE MONACO-NUMERO SPECIAL-*, 1999, pp 457–476
- Pidcock R., Martin A., Allen J., Painter S. C., Smeed D., The spatial variability of vertical velocity in an Iceland basin eddy dipole, *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2013, vol. 72, p. 121
- Pinheiro H., Ferreira C., Joyeux J.-C., Santos R., Horta P., Reef fish structure and distribution in a south-western Atlantic Ocean tropical island, *Journal of Fish Biology*, 2011, vol. 79, p. 1984

- Pinheiro H. T., Bernardi G., Simon T., Joyeux J.-C., Macieira R. M., Gasparini J. L., Rocha C., Rocha L. A., Island biogeography of marine organisms, *Nature*, 2017, vol. 549, p. 82
- Pinheiro H. T., Joyeux J.-C., Moura R., Reef oases in a seamount chain in the southwestern Atlantic, *Coral Reefs*, 2014, vol. 33, p. 1113
- Pinheiro H. T., Madureira J. M. C., Joyeux J.-C., Martins A. S., Fish diversity of a southwestern Atlantic coastal island: aspects of distribution and conservation in a marine zoogeographical boundary, *Check List*, 2015b, vol. 11, p. 1615
- Pinheiro H. T., Mazzei E., Moura R. L., Amado-Filho G. M., Carvalho-Filho A., Braga A. C., Costa P. A., Ferreira B. P., Ferreira C. E. L., Floeter S. R., et al., Fish biodiversity of the Vitória-Trindade Seamount Chain, southwestern Atlantic: an updated database, *PLoS One*, 2015a, vol. 10, p. e0118180
- Pomeroy L. R., leB. WILLIAMS P. J., Azam F., Hobbie J. E., The microbial loop, *Oceanography*, 2007, vol. 20, p. 28
- Redfield A. C., The biological control of chemical factors in the environment, *American scientist*, 1958, vol. 46, p. 230A
- Ribeiro C. G., Dos Santos A. L., Marie D., Pellizari V. H., Brandini F. P., Vaultot D., Pico and nanoplankton abundance and carbon stocks along the Brazilian Bight, *PeerJ*, 2016, vol. 4, p. e2587
- Richardson P., Bower A., Zenk W., A census of Meddies tracked by floats, *Progress in Oceanography*, 2000, vol. 45, p. 209
- Roden G. I., Effect of seamounts and seamount chains on ocean circulation and thermohaline structure, *Seamounts, islands, and atolls*, 1987, pp 335–354
- Royer T. C., Ocean eddies generated by seamounts in the North Pacific, *Science*, 1978, vol. 199, p. 1063
- Sacilotto Detoni A. M., Subramaniam A., Haley S. T., Dyhrman S. T., Calil P. H., Cyanobacterial Diazotroph Distributions in the Western South Atlantic, 2022

- Signorini S. R., Franz B. A., McClain C. R., Chlorophyll variability in the oligotrophic gyres: mechanisms, seasonality and trends, *Frontiers in Marine Science*, 2015, vol. 2, p. 1
- Signorini S. R., McClain C. R., Subtropical gyre variability as seen from satellites, *Remote Sensing Letters*, 2012, vol. 3, p. 471
- Simon N., Barlow R. G., Marie D., Partensky F., Vaultot D., Characterization of oceanic photosynthetic picoeukaryotes by flow cytometry, *Journal of Phycology*, 1994, vol. 30, p. 922
- Steeman-Nielsen E., The use of radioactive carbon ( $^{14}C$ ) for measuring primary production in the sea, *Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*, 1952, vol. 18, p. 117
- Stocker R., Marine microbes see a sea of gradients, *science*, 2012, vol. 338, p. 628
- Tarran G., Zubkov M., Sleigh M., Burkill P., Yallop M., Microbial community structure and standing stocks in the NE Atlantic in June and July of 1996, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2001, vol. 48, p. 963
- Teixeira C., Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho, *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 1973, vol. 22, p. 59
- Tokarev Y. N., Bitjukov E., Williams R., Influence of seamounts at the Atlantic Ocean on modification of the bioluminescence and plankton characteristics, *Морской экологический журнал*, 2003, vol. 2, p. 46
- Toole J. M., Schmitt R. W., Polzin K. L., Kunze E., Near-boundary mixing above the flanks of a midlatitude seamount, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1997, vol. 102, p. 947
- Vastano A. C., Warren B. A., Perturbations to the Gulf Stream by Atlantis II seamount. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* , vol. 23, 1976, p. 681
- Veldhuis M. J., Timmermans K. R., Croot P., van der Wagt B., Picophytoplankton; a comparative study of their biochemical composition and photosynthetic properties, *Journal of Sea Research*, 2005, vol. 53, p. 7

- 
- Ward B. A., Dutkiewicz S., Jahn O., Follows M. J., A size-structured food-web model for the global ocean, *Limnology and Oceanography*, 2012, vol. 57, p. 1877
- Ward B. A., Follows M. J., Marine mixotrophy increases trophic transfer efficiency, mean organism size, and vertical carbon flux, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2016, vol. 113, p. 2958
- Welschmeyer N. A., Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence of chlorophyll b and pheopigments, *Limnology and oceanography*, 1994, vol. 39, p. 1985
- Wessel P., Seamount characteristics, *Seamounts: ecology, fisheries and conservation*, 2007, pp 3–25
- White M., Bashmachnikov I., Arístegui J., Martins A., Physical processes and seamount productivity, *Seamounts: ecology, fisheries & conservation*. Blackwell, 2007, pp 65–84
- Williams P. J. l. B., Quay P. D., Westberry T. K., Behrenfeld M. J., The oligotrophic ocean is autotrophic, *Annual review of marine science*, 2013, vol. 5, p. 535
- Xie S.-P., Carton J. A., Tropical Atlantic variability: Patterns, mechanisms, and impacts, *Earth's Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction*, *Geophys. Monogr*, 2004, vol. 147, p. 121