Bianca Reis Castaldi Tocci

Ocorrência e coexistência de cianobactérias diazotróficas no Canal de São Sebastião-SP com o aumento da pluviosidade

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.

Orientadora: Prof^a Dr^a Áurea Maria Ciotti

São Paulo 2016 Universidade de São Paulo

Instituto Oceanográfico

Ocorrência e coexistência de cianobactérias diazotróficas no Canal de São Sebastião-SP com o aumento da pluviosidade

Bianca Reis Castaldi Tocci

Versão corrigida

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

Julgada em ____/___/____

Prof(a). Dr(a). Conceito

"Uns sentem a chuva, outros apenas se molham."

Bob Dylan

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	iv
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESE	7
3. OBJETIVOS	7
4. ÁREA DE ESTUDO	8
5. MATERIAL E MÉTODOS	11
5.1. Desenho amostral	11
5.2. Variáveis meteo-oceanográficas	13
5.3. Análise de variáveis ambientais	14
5.4. Análise do fitoplâncton	15
5.5. Análise das cianobactérias diazotróficas	16
5.6. Procedimentos estatísticos e análises de dados	16
6. RESULTADOS	
6.1. Variáveis ambientais	
6.1.1.Variáveis meteo-oceanográficas	
6.1.2. Variáveis físico-químicas e clorofila-a	
6.2. Composição taxonômica da comunidade fitoplanctônica	24
6.2.1.Associações do microfitoplâncton	
6.3. Relações entre a comunidade fitoplanctônica e as variáveis meteo- oceanográficas	32
6.4. Ocorrência e coexistência de cianobactérias diazotróficas	
7. DISCUSSÃO	
Caracterização taxonômica da comunidade fitoplanctônica em diferentes e temporais	escalas 40
Efeito das variáveis meteo-oceanográficas na composição taxonômica da comunidade fitoplanctônica	
Ocorrência e coexistência de cianobactérias diazotróficas	
8. CONCLUSÕES	51
9. REFERÊNCIAS	52
ANEXOS	67
APÊNDICES	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 12 – Variação da densidade (log tricomas.L⁻¹) das cianobactérias diazotróficas *Trichodesmium* spp. e *Richelia intracellularis* com o aumento de pluviosidade, nos pontos do Canal de São Sebastião (CSS) e Baía do Araçá (BA)......40

LISTA DE TABELAS

 Tabela 1- Características das campanhas, denominadas eventos, realizadas no período entre Setembro de 2013 a Agosto de 2014 nos pontos Canal de São Sebastião (CSS) e Baía do Araçá (BA). As campanhas descriminadas com asteriscos (*) indicam eventos completos (amostragens antes, durantre e após os períodos de chuvas):

 13

Tabela 2 – Descrição das variáveis meteo-oceanográficas durante o períodoamostrado:19

Tabela 5 – Variáveis explicativas utilizadas para a Análise de Redundância (RDA) e suas respectivas variâncias. As variáveis estão por ordem decrescente da variabilidade que explicam. Os asteriscos indicam significância estatística (p<0,05):.34

Tabela 6 - Estatística dos dois primeiros eixos da RDA (correlação e percentual): 34

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (Processo 133002/2013-6). À FAPESP, pelo financiamento do projeto Biota/Araçá.

À Prof^a Dr^a Áurea Maria Ciotti pela orientação, pela paciência, pela confiança, pelos ensinamentos e pela oportunidade nesses quase 5 anos de vivência no Laboratório Aquarela.

Aos meus pais, por sempre estarem presentes em todos os momentos, de desespero à felicidade, pela companhia, por me escutarem, me aconselharem, acreditarem em mim e principalmente por não me deixarem desistir. Amo vocês!

A minha família, todos, por me incentivarem sempre e por serem a melhor família que alguém poderia ter.

Aos meus Karmas, AnaLuú e André Montila, um muito obrigada especial. À AnaLu por estar ali fazendo "mestrado comigo", minha mentora científica, minha irmã de alma, sempre com suas palavras de incentivo e sua paciência zen, enfim, pela sua irmandade. Ao Montila, pela amizade que em poucas palavras não sei descrever, sinto falta de nossas discussões científicas e não cientifícas. Sem nossas risadas e companheirismos, essa fase da minha vida teria sido muito mais difícil. Karmas, eu cresci e aprendi muito com vocês, e agradeço sempre por terem perdido aquele navio, talvez não teríamos ficado tão amigos se eu não tivesse encontrado dois desconhecidos no meu apartamento no Rio.

Ao pessoal do laboratório Aquarela, muito obrigado à todos que um dia passaram por ali (Carla e Vanessa). Obrigada Camila, Bis, Amabile (pelos

conselhos), Pedro (pelo otimismo), Caju (parceira de Araçá), Nervo (prima!!), Ale (sempre me ouvindo) não só pela parceria no trabalho, mas pelas conversas, conselhos, risadas, cafézinhos, ajudas de campo e pela amizade. Um obrigada especial para Bis, companheira de dissertação, nossas conversas e risadas fizeram toda a diferença no final.

Aos técnicos do CEBIMar, muito obrigada por toda dedicação e esforço em nossas coletas. Em especial Elso e Zé, um muito obrigada carinhoso, pois com vocês, faça sol ou faça chuva (e que chuva?) o trabalho sempre é mais prazeroso.

Aos amigos do CEBIMar: Pola, Pedrito, Geada, Jaque, Karni, Edinho, Maiá, Pi, Sayão, Mari, Mogli, e todos aqueles que passaram por aqui. O dia-a-dia com vocês é sempre mais divertido. Aos moradores da Boate Azul e seus agregados, valeu por me acolherem com tanto carinho.

À Camila e a Júlia por me acolherem inúmeras noites com muito carinho e amizade, sempre me ajudando e escutando minhas maluquices. Vocês são especiais.

À Amália, parceira de *Trichodesmium,* um dia seremos Tocci e Detoni. Obrigada pelas conversas, conselhos, noites de muitas risadas, e pela sua amizade.

Aos meus amigos de longe: Maldita (sempre tão longe, mas sempre tão perto), Kakol, Gabi, Vanessa e Japa por sempre me incentivarem e entenderem a minha ausência, chorando, rindo e xingando comigo.

E por fim, agradeço a Bea, minha amiga do coração, eu não tenho palavras para dizer o quanto sua amizade é e foi importante para mim. Obrigada!

RESUMO

A fixação de N₂ é uma fonte importante de nitrogênio novo nos ciclos biogeoquímicos, realizado potencialmente por cianobactérias diazotróficas, principalmente em condições de limitação de nitrogênio. O canal de São Sebastião (CSS) é reconhecidamente meso-oligotrófico, porém, eventos episódicos de precipitação podem alterar as concentrações de nutrientes locais interferindo na ocorrência de diazotróficas. Este trabalho investigou o efeito do aumento da pluviosidade na ocorrência e co-existência de diazotróficas no CSS e na baía do Araçá (BA), em 9 cenários distintos. As diazotróficas Trichodesmium spp. e Richelia intracellularis ocorreram após o aumento da pluviosidade nos dois pontos, não co-existindo em dois eventos. R. intracellularis ocorreu somente em endossimbiose com diatomáceas do gênero Hemiaulus, com predomínio em H. membranaceus. Os ventos de SW no CSS indicaram relações diretas na ocorrência das diazotróficas, sugerindo advecção de células provindas de outros locais. A temperatura e o fosfato apresentaram relações significativas com a ocorrência das diazotróficas. As densidades de diazotróficas e da comunidade fitoplanctônica foram maiores na BA em todos os eventos, assim como as concentrações de clorofila-a e nutrientes, ressaltando a importância da interação das águas da BA com o CSS.

Palavras-chave: Baía do Araçá; *Richelia intracellularis*; *Trichodesmium; Hemiaulus;* comunidade fitoplanctônica; diatomáceas.

ABSTRACT

The biological nitrogen fixation adds new nitrogen into the biogeochemical cycle. This process is attributed to diazothrophic cyanobacteria, which are known to occur in environments with nitrogen limitation. Although the São Sebastião Channel (CSS) is a meso-oligothrophic environment, local rain can affect nutrients concentrations, hence the occurrence of diazothrophic species. This work addressed how the increase in the precipitation rate alters the occurrence and co-existence of diazothrophic cyanobacteria in nine scenarios in the CSS and Araçá Bay (BA). The diazothrophic species Trichodesmium spp. and Richelia intracellularis occurred after an increase in rainfall, co-occurring in 7 of the 9 scenarios. *Richelia intracellularis* was always associated symbiotically with Hemiaulus diatoms, specially H. membranaceus. The occurrence of diazothrophic species was highly correlated to intense SW winds, suggesting the allochthonous input of cells in the CSS. The diazothrophic species occurrence was also associated with variations in temperature and phosphate concentration. The abundance of both diazothrophic species and phytoplankton community were higher in the BA in every scenario. The nutrients and chlorophyll-a concentrations were higher in the BA, highlighting the importance of water transport between BA and CSS.

Key-words: Araçá Bay; *Richelia intracellularis*; *Trichodesmium; Hemiaulus;* phytoplankton community; diatoms.

1. INTRODUÇÃO

As regiões costeiras recebem continuamente aportes de material de diversas origens sob a forma particulada e dissolvida, incluindo nutrientes inorgânicos limitantes ao crescimento do fitoplâncton. Uma das principais fontes de aporte de nutrientes para o ambiente marinho costeiro é a descarga de rios (Howarth e Marino, 2006; Bianchi, 2007), especialmente silicato (Treguér *et al.*, 1995) e fosfato (Paytan e McLaughlin, 2007). Em regiões costeiras distantes de grandes rios, o fornecimento de nutrientes pode se tornar dependente das taxas de pluviosidade (Cloern, 1996).

Presentes nos aerossóis originados da erosão do solo ou queimadas, compostos de P e N podem entrar em ambientes marinhos por deposição atmosférica (Migon *et al.*; 2001), estimativas apontam contribuições de cerca de 20 a 40% do nitrogênio (N) novo, e aproximadamente 5% do fósforo (P) para o ambiente (Ryther e Dunstan, 1971; Paerl, 1985; Paerl, 1993; Paytan e McLaughlin, 2007). Porém, se espera que o intemperismo e lixiviação das rochas continentais pela ação das chuvas seja a principal fonte de fosfato (Follmi, 1996) e silicato (Tréguer e La Rocha, 2013) em forma dissolvida.

A manutenção das plumas formadas pela entrada de água de origem continental, seja por rios ou precipitação intensa é limitada fisicamente pela hidrodinâmica local, que inclui as marés e advecção pelos ventos; ambos condicionam o grau de estratificação vertical e o tempo de residência da pluma formada (Pearl *et al.*, 2009).

Outra forma importante de entrada de N novo no ambiente marinho, é a fixação biológica de N₂ atmosférico, mediada por cianobactérias

fitoplanctônicas denominadas diazotróficas (Carpenter e Romans, 1991; Capone *et al.*, 1997). Estas metabolizam o N₂ atmosférico, disponibilizando-o em forma de amônia para o meio, alterando diretamente os ciclos locais de N durante florações (Capone *et al.*, 1997; Karl *et al.*, 1992). É esperado que estes organismos apresentem vantagens de crescimento sobre as demais espécies fitoplanctônicas (Carpenter *et al.*, 1999; Voss *et al.*, 2006; Foster *et al.*, 2007), porém requerem condições específicas de crescimento, que serão apresentadas abaixo em maior detalhe.

Nesse trabalho, investigamos se existe uma relação entre o aumento da pluviosidade local e a densidade das cianobactérias diazotróficas na Baía do Araçá e no Canal de São Sebastião.

1.1. Cianobactérias diazotróficas

A fixação biológica de N₂ realizada pelas cianobactérias, consiste na redução do gás para a forma biodisponível de amônia, sendo mediada pela enzima catalisadora nitrogenase (Raven, 1988; Sañudo-Wilhemy *et al.*, 2001), em uma reação com elevado gasto energético celular que é inibida na presença de oxigênio (Zehr, 2011). Existem 3 grupos de cianobactérias diazotróficas marinhas planctônicas (Lou, 2012; Sohm *et al.*, 2011b; Zehr, 2011):

- unicelular (i.e., Crocosphaera watsonii)
- filamentosa sem heterocisto (i.e., *Thrichodesmium* spp.)
- filamentosa com heterocisto (i.e., *Richellia intracellularis*)

Nesse estudo investigamos a ocorrência das seguintes cianobactérias diazotróficas:

Gênero Trichodesmium (Ehrenberg 1830), Ordem Oscillatoriales – a cianobactéria filamentosa sem heterocisto, é bastante estudada. Com células distribuídas em filamentos, denominados tricomas, podem ser observadas em colônias fusiformes (tufts) ou esféricas (puffs) por várias espécies do gênero (Siddiqui *et al.*, 1991), sendo encontradas em regiões tropicais e subtropicais.

Acúmulos de *Trichodesmium* tem sido reportados em feições oceânicas tanto de larga-escala, como os grandes giros oceânicos do Atlântico e Pacífico (Carpenter e Price, 1976; Capone *et al.*, 2005) como de pequena e médiaescalas, como Células de Langmuir e vórtices (Capone *et al.*, 1997; Tyrrell *et al.*, 2003). As florações estão frequentemente associadas as águas com temperaturas maiores que 20°C (Letelier e Karl, 1996; Carpenter *et al.*, 2004; Siqueira *et al.*, 2006), em ambientes oligotróficos, com alta irradiância e forte estratificação vertical (Subramanian *et al.*, 1999; Tyrrell *et al.*, 2003; Hegde *et al.*, 2008). Concentrações mínimas de Fe e P limitam o crescimento de *Trichodesmium* (Villareal e Carpenter, 2003), onde a presença de vesícula de gás nos tricomas possibilita tanto a flutuabilidade como a migração vertical na coluna de água, possivelmente funcionando como um lastro para atingir maiores profundidades na busca do fosfato disponível (Villareal e Carpenter, 2003).

Devido a ausência de heterocisto em *Trichodesmium* spp., a alta demanda energética para manter a nitrogenase ativa durante a fixação de N₂

tem sido apontada como causa das baixas taxas de crescimento (~0.2 d⁻¹) observadas (LaRoche e Breitbarth, 2005; Spungin *et al.*, 2014).

Espécie Richelia intracellularis Schmidt (Ostenfeld e Schmidt, 1901), Ordem Nostocales – espécie de cianobactéria filamentosa com presença de heterocisto, associada em simbiose com as diatomáceas cêntricas dos genêros *Rhizosolenia, Hemiaulus, Bacteriastrum, Chaetoceros* e à espécie *Guinardia cylindrus* (Sournia, 1970; Taylor, 1982; Villareal, 1992; Gómez *et al.*, 2005), *Richelia intracellularis* é geralmente identificada por microscopia de epifluorescência (Foster e Mullan, 2008).

Nas diatomáceas do gênero *Hemiaulus*, são encontrados habitualmente dois tricomas de *Richelia intracellularis*, enquanto no gênero *Rhizosolenia* foram relatados até 32 tricomas (Villareal, 1990). Características morfológicas de *Richelia intracellularis* consistem em tricomas solitários, constituídos de filamentos celulares com desenvolvimento de heterocistos terminais (Heinbokel,1986; Foster e Mullan, 2008). A relação entre hospedeiro (diatomácea) e simbionte (*Richelia intracellularis*) ainda não é completamente compreendida. Acredita-se que seja uma estratégia ecológica para sobrevivência em ambientes oligotróficos (Foster e Mullan, 2008).

Sabe-se atualmente, da ocorrência de *Richelia intracellularis* em diatomáceas no Oceano Atlântico (Carpenter *et al.*, 1999; Foster *et al.*, 2007; Villareal, 1991, 1994), no Giro Subtropical do Oceano Pacifíco Norte (Ferrario *et al.*,1995; Mague *et al.*, 1974; Venrick, 1974; Wilson *et al.*, 2008), Oceano Índico (Norris, 1961) e no Mar Vermelho (Kimor *et al.*,1992). Foi descrita em grande densidade também em zonas costeiras (Villareal, 1994; White *et al.*,

2007) e plumas de rios (Carpenter *et al.*, 1999; Foster *et al.*, 2007; Bar Zeev *et al.*, 2008; Foster *et al.*, 2009; Grosse *et al.*, 2010).

A associação *Richelia intracellularis/Hemiaulus* spp. tem sido reportada no Oceano Atlântico (Villareal, 1991, 1994; Carpenter *et al.*, 1999; Foster *et al.*, 2007). Já a associação *Richelia intracellularis/Rhizosolenia* spp., foi registrada centro do Giro oceânico do Pacífico Norte (Mague *et al.*, 1974; Venrick, 1974; Ferrario,1995).

Assim como para *Trichodesmium* spp., condições fisíco-químicas propiciais atuam como limitadores da ocorrência de *Richelia intracellularis*. Fatores como estratificação vertical e temperatura influenciam na distribuição da espécie, com relato de aumento da abundância nos meses de verão (Mague *et al.*,1974; Mazard *et al.*, 2004; Langlois *et al.*, 2005). Foster *et al.* (2007) aponta por uma tolerância de *Richelia intracellularis* à salinidades mais baixas. Hipotéticamente, os rios atuariam como fonte de *Richelia intracellularis* em tricomas livres (Foster e Mullan, 2008).

1.2. Estado da arte no Brasil – Ocorrência de cianobactérias diazotróficas: da plataforma continental à região costeira.

A ocorrência da cianobactéria diazotrófica do gênero *Trichodesmium* é frequente no litoral brasileiro, e acredita-se que a fonte principal desse organismo para regiões próximas a costa seja o transporte de células pelo vento desde as florações em regiões mais afastadas da costa. Porém, poucos trabalhos foram realizados envolvendo a dinâmica e ecologia dessas espécies na zona costeira e nada se sabe sobre a capacidade das células manterem

taxas de crescimento ao chegar a costa, ou o impacto de sua presença no restante da comunidade fitoplanctônica.

Desde o primeiro relato de ocorrência de *Trichodesmium* na costa de Pernambuco (Satô, 1963), o gênero foi reportado em águas oceânicas da Plataforma de São Paulo e do Paraná a espécie *T. erythraeum* (Gianesella-Galvão *et al.*, 1995; Siqueira *et al.*, 2006), enquanto na Plataforma de Santa Catarina observou-se *T. thiebautii* (Rörig *et al.*, 1998).

Florações de *Trichodesmium* spp. foram registradas nas regiões Norte (Naithirithi *et al.*, 2005), Nordeste (Koening e Macedo, 1999; Koening *et al.*, 2009; Proença *et al.*, 2009; Monteiro *et al.*, 2010; Monteiro *et al.*, 2012), Sudeste (Carvalho *et al.*, 2008) e Sul (Silva *et al.*, 2005) do litoral brasileiro. Porém, as florações parecem ser frequentes na plataforma Sul e Sudeste do Brasil (Bif, 2015; Detoni *et al.*, 2016), relacionado a presença do gênero *Trichodesmium* na Água Tropical ao longo de todo o ano (Gaeta, 1999) que fluem nas camadas superiores da Corrente do Brasil. Durante o verão, as florações podem atingir áreas rasas (Brandini et al., 1989; Siqueira et al., 2006).

A ocorrência da associação *Richelia intracellularis/Rhizosolenia* foi registrada recentemente na região de Abrolhos-BA (Suzini-Ribeiro *et al.*, 2013), no litoral do Nordeste (Aquino *et al.*, 2015) e na Plataforma Sul e Sudeste (Detoni *et al.*, in prep.). Já endossimbioses com as diatomáceas do gênero *Rhizosolenia* e *Hemiaulus o*correm na pluma do Rio Amazonas (Foster *et al.*, 2007; Subramaniam *et al.*, 2008; Yeung *et al.*, 2012). A ausência de publicações sobre a *Richelia intracellularis* no litoral brasileiro, possivelmente é

decorrência da dificuldade de identificação da espécie dentro das diatomáceas hospedeiras, enfatizando o gênero *Hemiaulus*.

O presente trabalho pretende contribuir ao conhecimento sobre a **ocorrência** e **coexistência** de cianobactérias diazotróficas em uma região do litoral de São Paulo, sujeito a receber esses organismos por advecção pelos ventos das águas de plataforma continental.

2. HIPÓTESE

Esse trabalho assume as seguintes hipóteses:

 Os tricomas das cianobactérias diazotróficas são advectados para o Canal de São Sebastião podendo apresentar acúmulos ou manchas próximo a costa;

 Existe uma relação entre o aumento da pluviosidade e a densidade das cianobactérias diazotróficas na região, devido a entrada de nutrientes e a formação de frentes horizontais de salinidade.

3. OBJETIVOS

O objetivo central desse trabalho é investigar a ocorrência e a coexistência de cianobactérias diazotróficas fitoplanctônicas no Canal de São Sebastião-SP e na Baía do Araçá, e sua relação com taxas locais de pluviosidade, intensidade e direção dos ventos e nível do mar. Além disso, investigamos a variabilidade da comunidade fitoplanctônica entre Setembro de

2013 a Agosto de 2014, e possíveis alterações da mesma em função da presença de cianobactérias diazotróficas. Especificamente, o trabalho visou:

 Caracterizar a composição taxonômica da comunidade fitoplanctônica na Baía do Araçá e no Canal de São Sebastião, identificando padrões sazonais ou em menor escala temporal;

 Relacionar alterações na composição taxonômica da comunidade fitoplanctônica com forçantes meteo-oceanográficas de importância para a região;

3. Quantificar a participação relativa de cianobactérias diazotróficas na comunidade fitoplanctônica na Baía do Araçá e no Canal de São Sebastião.

4. ÁREA DE ESTUDO

O Canal de São Sebastião (CSS) está localizado no litoral norte do estado de São Paulo, entre os municípios de São Sebastião e Ilhabela (Figura 2). Estende-se por 22,2 Km ao longo da plataforma continental interna, compreendido entre as latitudes 23°49'S e 23°54'S e longitudes 045°19'W e 045°30'W. Sua batimetria apresenta porções mais rasas no contorno oeste, enquanto que suas maiores profundidades (máxima de 45 m) encontra-se no contorno leste (Figura 1).

Pertence a uma região climática que recebe grande volume de chuva anual, principalmente nos meses de verão (dezembro a março). As séries climatológicas (i.e. série de dados de 30 anos) apresentam máximas de 239 mm para o mês de janeiro, e mínimas de 61 mm para o mês de agosto (CPTEC/INPE, 2015).

Na Plataforma Continental Sudeste, entre 15°S e 35°S, a climatologia do campo de ventos demonstra predomínio de sentido Leste-Nordeste no verão, e Oeste-Sudeste durante o inverno (Castro, 1996). Durante o inverno, a passagem de sistemas frontais (frentes frias) são mais frequentes e intensas. Em menor escala de tempo, as correntes no CSS são advectadas pelo cisalhamento do vento e marés (Miranda e Castro,1995), tornando-o um ambiente altamente dinâmico.



Figura 1 - Mapa da localização do Canal de São Sebastião e da Baía do Araçá, em destaque na foto (www.saosebastiao.sp.gov.br), no litoral norte de São Paulo. As cores no mapa indicam a batimetria da região, cores quentes representam locais mais profundos.

Massas de águas provenientes da Plataforma Continental adjacente, citando a Água Costeira (AC), Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (Castro *et al.*, 2008), influenciam as características fisíco-químicas locais (Paixão, 2008). Na maior parte do tempo o CSS é preenchido pela AC, com baixa salinidade (< 34) resultante da mistura das águas de plataforma com o aporte continental. Menos frequente, a AT apresenta temperaturas e salinidade acima dos 20°C e 36,4 respecivamente (Miranda, 1982). Esporadica e principalmente na primavera, observa-se a entrada de ACAS, caracterizada por temperatura (< 20°C) e salinidade (< 36,4) mais baixas (Castro *et al.*, 2008).

No verão, as águas superficiais possuem temperatura acima de 22°C, podendo atingindo máximas de 28°C, em camadas mais profundas durante evento de intrusão da ACAS, podem diminuir alcançando os 18°C.

No inverno, as temperaturas tendem a manter-se abaixo dos 22°C, atingindo mínimas de 19°C. A salinidade tem pouca variação, com valores mínimos de 33,4 no inverno, e valores superiores a 35 no verão (Castro, 1996).

Na porção continental e central do canal, conhecida como Baía do Araçá (BA), está localizada ao lado do Porto de São Sebastião uma enseada (Figura 1), planície de maré fechada e rasa (profundidade média de 1,5 m) limitada por flancos rochosos (Amaral *et al.*, 2010).

Nos períodos de sizígia, por sua baixa declividade, grande parte da baía fica emersa e submersa dentro de um mesmo ciclo de maré. A variação da maré assim, é um fator importante para a hidrodinâmica da BA (Amaral *et al.*, 2010), ocasionalmente, podendo sofrer ações de ondas de baixa amplitude (Villamarin, 2014). O regime de maré é do tipo micromarés (menores que 2 m), predominando semi-diurno (Mesquita, 1995), e variando entre 1,2 e 0,25 m (Villamarin, 2014).

O aporte de água doce na baía é restrito a duas fontes principais: um efluente de pequeno porte (Córrego Mãe Isabel), localizado no limite norte da

enseada; e a saída do emissário submarino no limite sudeste da enseada com o canal.

O emissário submarino localizado na entrada da baía, segundo Gubitoso *et al.* (2008), seria uma fonte local de nutrientes, onde a maior parte da pluma formada é dissipada por correntes no CSS em direção Sul-Sudeste, resultante dos ventos predominantes de NE.

Os poucos registros com amostragens de nutrientes, classificam o Canal de São Sebastião como um ambiente oligo-mesotrófico (Saldanha-Corrêa e Gianesella, 2008), apresentando baixas concentrações de nutrientes durante os meses de inverno e verão, e valores pouco acima em áreas protegidas como a Baía do Araçá (Peres, 2013). Apesar de indícios de que a interação da BA com o continente tenha um importante papel na troca de nutrientes desta com o CSS (Gubitoso *et al.*, 2008; Peres, 2013; Villamarin, 2014), até o presente, não existem estudos que quantifiquem esses processos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Desenho amostral

As coletas foram realizadas em conjunto com as campanhas do Módulo "Sistema Planctônico", do Projeto Temático FAPESP Biota/Araçá, e o desenho amostral, consistiu em uma sequência de estações oceanográficas. As estações utilizadas no presente estudo consistem de 3 pontos de coleta no interior da Baía do Araçá (BA) e em um ponto representativo do Canal de São Sebastião (CSS), na isóbata de 15 metros, aonde hoje está instalada a bóia oceanográfica do CEBIMar-USP (Figura 2).



Figura 2 – Pontos de coleta (**x**) dentro da Baía do Araçá (BA) e no Canal de São Sebastião (CSS), na bóia oceanográfica do CEBIMar-USP (023°49'50.1''S e 045°25'19.8''W).

As campanhas ocorreram entre Setembro de 2013 a Agosto de 2014, com intervalos de 5 a 6 semanas, onde foram realizadas estações durante três dias consecutivos e em dois períodos (manhã e tarde). Para aumentar a representatividade das análises taxonômicas, trabalhamos com amostras compostas. As amostras referentes da BA foram coletadas em três estações no interior desta, com profundidades locais entre 1,5 a 2 m, combinadas em uma única amostra. As amostras do sítio do CSS, representando condições locais, referem-se a três lançamentos sequenciais de coleta, posteriormente combinados em uma única amostra. A coleta de água foi realizada em subsuperfície (0,5 a 1m) com o auxílio de uma garrafa do tipo *Van Dorn*.

As previsões para direção e velocidade dos ventos, ondas e chuva, foram continuamente monitoradas através dos sites especializados na internet (e.g., http://www.windguru.cz/pt/; http://www.cptec.inpe.br/) para definição de datas das amostragens complementares aquelas do Módulo "Sistema Planctônico" do Projeto Biota/Araçá. O objetivo foi realizar coletas antes, durante e depois dos períodos de chuvas previstas, o que ocorreu em três situações, e nesse caso as coletas diárias foram superiores a 3 dias (Tabela 1).

Tabela 1- Características das campanhas, denominadas eventos, realizadas no período entre Setembro de 2013 a Agosto de 2014 nos pontos Canal de São Sebastião (CSS) e Baía do Araçá (BA). As campanhas descriminadas com asteriscos (*) indicam eventos completos (amostragens antes, durantre e após os períodos de chuvas):

Campanha	Datas	Observações por ponto	N amostral
Evento 01 (E1)	03-05 set 2013	22 BA / 22 CSS	22
Evento 02 (E2)	22-24 out 2013	22 BA / 22 CSS	22
Evento 03 (E3)	03-05 dez 2013	24 BA / 24 CSS	24
Evento 04 (E4)	14-16 jan 2014	24 BA / 24 CSS	24
Evento 05 (E5)*	07-18 abr 2014	34 BA / 32 CSS	34
Evento 06 (E6)*	15-17 mai 2014	24 BA / 24 CSS	24
Evento 07 (E7)*	20-26 mai 2014	24 BA / 24 CSS	24
Evento 08 (E8)	24-26 jun 2014	24 BA / 24 CSS	24
Evento 09 (E9)	06-08 ago 2014	24 BA / 22 CSS	24

5.2. Variáveis meteo-oceanográficas

Dados *in situ* de pluviosidade, direção e velocidade do vento foram adquiridos através da estação meteorológica localizada no CEBIMar-USP (Estação Davis – Vantagem Pro2; localização: 23º49'25 S e 45º25'18 W; altitude:18 m) que registra informações a cada 10 minutos.

Devido à diferença de tempo e quantidade de pluviosidade acumulada nos períodos amostrados, foi estabelecido um métrico do volume precipitado de até 3 dias antes da coleta. Para isso, utilizou-se o volume (mm) da pluviosidade total até o momento da coleta, o que permitiu para cada período amostrado um volume relativo ao horário da coleta. Dados de nível do mar foram fornecidos pela equipe do Módulo Hidrodinâmica do Projeto Temático Biota/Araçá, sendo os mesmos estimados por medidas de um sensor de pressão instalado junto ao fundo, num ponto central da desembocadura da Baía do Araçá (23°49'02.04" S e 45°24'06.00" W) a 10 m de profundidade local.

5.3. Análise de variáveis ambientais

As variáveis temperatura e salinidade, foram simultaneamente obtidas através de perfis verticais com um CTD (YSI 30 Castway-CTD) realizados em cada estação oceanográfica. As concentrações dos nutrientes inorgânicos de nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fosfato e silicato foram determinadas em espectrofotômetro (Hatch Modelo DR500), utilizando metodologias descritas em Aminot e Chaussepied (1983). Essas dados foram cedidos pela equipe do Dr. Ricardo Pollery da UFRJ, participantes do Módulo Sistema Planctônico do Projeto Biota/Araçá.

A quantifição da concentração clorofila-a utilizou 500 ml de água do mar filtrada em fibra de vidro (GF/F Whatman-GE[®]). As amostras foram extraídas, imediatamente após a filtração em uma solução pré-resfriada de acetona 90% com óxido de dimetil sulfato (6:4 em volume, Shoaf e Lium, 1976), em freezer ao abrigo de luz por 24 horas. Após a extração, as fluorescências dos extratos foram lidas em um fluorímetro de bancada Trilogy[®] (Turner Designs), equipado para o método descrito por Welschmeyer (1994), previamente calibrado com extrato de clorofila-a pura (C6144 SIGMA – ALDRICH[®]).

5.4. Análise do fitoplâncton

A análise quantitativa e identificação dos organismos fitoplanctônicos, foi realizada para as classes de tamanho do nanoplâncton (5-20 μm) e do microfitoplâncton (>20 μm), a partir da concentração de 2 L de água do mar através de filtração reversa em malha de 5 μm, a um volume final de 100 ml. As amostras concentradas foram preservadas com formaldeído neutralizado em Hexametilenotetramina (solução final 0,4%). As análises foram efetuadas em microscópio óptico invertido (ZEISS-Axio® Observer D1) equipado com contraste de fase e DIC (Differential Interference Contrast), sob o aumento de 400X (nanoplâncton) e 200X (microfitoplâncton), a partir de alíquotas de 10 ml

Os organismos foram identificados a nível de espécies sempre que possível, baseados em bibliografia especializada: Hustedt (1930), Cupp (1943), Ricard (1987), Hasle e Syvertsen (in Tomas, 1997), Wood (1968), Balech (1988), Taylor (1976), Steidinger e Tangen (in Tomas, 1997), Heimdal (in Tomas, 1997), Komárek e Anagnostidis (1989). As nomenclaturas foram revistas e atualizadas em consultas ao banco de dados Algae Base (www.algaebase.org).

A estimativa da densidade celular, expressa em células por litro (cel.L⁻¹), ou tricomas no caso das cianobactérias (tricomas.L⁻¹) seguiram as recomendações de (Lund *et al.*, 1958), ou seja, a enumeração de ao menos 400 unidades sedimentadas. Toda a área da câmara de sedimentação foi contabilizada quando este número não foi atingindo. A unidade sedimentada equivale a uma célula solitária ou a uma cadeia, mas reportamos o número de células para o cálculo de densidade, exceto para as cianobactérias que foram contabilizadas somente como tricomas.L⁻¹.

5.5. Análise das cianobactérias diazotróficas

Uma vez que *Trichodesmium* spp. tende a permanecer na camada superficial a quantificação de densidade de cianobactérias diazotróficas utilizou amostras provenientes de arrastos horizontais superficiais realizados com uma rede de plâncton de malha de 20 µm. Arrastos por 1 minuto, na velocidade mínima da embarcação utilizada, geraram um volume total filtrado pela rede, sendo o concentrado de aproximadamente 100 ml, conservado em Glutaraldeído 2,5%. A identificação e a quantificação de cianobactérias diazotróficas foram realizadas em microscopia invertida com epifluorescência (ZEISS-Axio® Observer D1), em comprimentos de onda verde (510-560 nm) e azul (450-490 nm), e câmaras de sedimentação Utermöhl (1958).

As densidades reportadas se referem a soma das concentrações integradas das duas profundidades de coleta (0 e 1 m), para melhor visualização da ocorrência das diazotróficas na camada superficial. Nas amostras em que ocorreram a cianobactéria *Trichodesmium* spp. nas formas coloniais tufts e puffs, foi assumido 200 tricomas em cada (Carpenter, 1983).

5.6. Procedimentos estatísticos e análises de dados

As variáveis abióticas (temperatura, salinidade e nutrientes) e bióticas (clorofila-a, densidade fitoplanctônica) foram comparadas estatisticamente

entre a BA e o CSS através de Teste *t-student*, afim de observar diferenças significativas entre os pontos (p<0,05). As comparações das variáveis Temperatura e Salinidade de acordo com a profundidade foram realizadas através de Análise de Variância (ANOVA).

A Riqueza, que se refere a abundância numérica dos táxons, e o índice de Dominância de Simpson, que indica em um intervalo de 0 a 1 o nível de domínio de uma táxon, foram empregados na verificação da variabilidade da comunidade microfitoplanctônica nos eventos de predomínio de *Pseudo-nitzschia* spp.

A partir dos dados de densidade dos gêneros/espécies com contribuição relativa maior que 2% na comunidade microfitoplactônica dos dois pontos (138 amostras), foi realizada a Análise de Agrupamento (Cluster) através do Método de Distância Euclidiana, com objetivo de avaliar as associações da comunidade nas frações do microfitoplâncton. As análises foram efetuadas no programa Statistica®10.0.

As relações das forçantes meteo-oceanográficas e variáveis ambientais com a ocorrência das espécies diazotróficas e dos táxons de interesses, foram realizadas através do Índice de Correlação de Spearman, devido a nãonormalidade das variáveis. A verificação da normalidade dos dados foi efetuada através do teste de Shapiro-Wilk (p < 0,05). Os dados de densidade da comunidade fitoplanctônica e das espécies diazotróficas foram log transformadas (log₁₀ x+1) devido sua grande variabilidade.

A Análise de Redundância (RDA) foi realizada através do Programa CANOCO[®] v. 4.5., para verificar a relação entre as variáveis ambientais com os táxons de interesse. A RDA é um método linear de ordenação direta, que reduz

a complexidade da variação de um conjunto de variáveis respostas, através de um conjunto de variáveis explicativas, representado em diagrama tridimensional dispostas em um plano cartesiano. O grau de associação das variáveis é indicada pela proximidade das setas, refletindo sua correlação (linear), que é igual ao coseno do ângulo dos vetores. Por exemplo, um par de vetores que apresentam um ângulo de 90° não estão correlacionados (cos 90°=0), já com um ângulo de 20° apresentam forte correlação positiva (cos 20°=0,94). Para a análise estatística ser válida na RDA, é necessário que o número de descritores (táxons) e variáveis ambientais sejam inferior ao número de amostras. O teste de permutação de Monte Carlo (com 999 permutações) forneceu a significância de cada variável ambiental.

6. RESULTADOS

6.1. Variáveis ambientais

6.1.1. Variáveis meteo-oceanográficas

O volume mensal de chuva (mm) apresentou diferenças significativas entre as estações do ano (teste t p=0,04), com maiores valores durante os meses de abril e maio de 2014 (115,2 e 106,2 mm respectivamente). As taxas de pluviosidade registradas entre setembro de 2013 a agosto de 2014, mostram chuvas intensas em curto espaço de tempo (Apêndice 1), porém, em menor frequência que esperado nos meses de verão.

A região tem apresentado nos últimos anos anomalias negativas de precipitação em relação a climatologia (1981-2010) (ver detalhes em

http://clima1.cptec.inpe.br/ e Anexo 1). Segundo dados da NOAA (2015), o ano de 2014 foi o mais quente em superfícies terrestres e nos oceanos globais, desde 1880, quando iniciaram-se os registros. Algumas regiões do planeta registraram quedas importantes nas taxas de precipitações, exemplo do sudeste brasileiro, que sofreu a maior seca dos últimos 33 anos (CPTEC/INPE, 2014). Devido a essa condição atípica nos padrões de chuva, os maiores volumes de pluviosidade foram amostrados durante os meses de outono (Tabela 2), associados as entradas de frentes frias.

Tabela 2 – Descrição das variáveis meteo-oceanográficas durante o período amostrado:

	Período de coleta	Pluviosidade total (mm)	Direção média do vento	Média con	np. do vento	Amplitude do nível do mar (m)	
Evento				u	v		
E1	03-05 set 2013	8	WSW	2,04	0,85	1.441	
E2	22-24 out 2013	10	WSW	5,91	-1,82	0.824	
E3	03-05 dez 2013	16,2	NE	-16,39	-20,31	1.002	
E4	14-16 jan 2014	11,6	WSW	3,61	1,49	1.045	
E5	07-18 abr 2014	52,1	NE	-8,40	-11,39	1.889	
E6	14-17 mai 2014	2,2	SE	4,02	-1,99	1.261	
E7	20-26 mai 2014	9,6	ENE	-2,63	-6,68	1.088	
E8	24-26 jun 2014	0	NE	-12,52	-12,54	0.825	
E9	06-08 ago 2014	4	ENE	-3,80	-11,11	0.94	

O campo dos ventos apresentou predomínio do quadrante N-E, com entradas frequentes de ventos de quadrante S-W mais intensos. Esse padrão foi observado durante os eventos 01, 02, 03 e 04 (Apêndice 2), com atuação de ventos moderados de N-NE, e entradas no setor W-SW com maior velocidade. Nos eventos 05, 07, 08 e 09, a ocorrência de ventos intensos foram predominantes, principalmente na direção N-NE, com entrada de SW. As menores velocidades do vento foram observadas na primavera e verão, e as maiores no outono e inverno, com velocidade até 70Km/h (e.g., evento 09).

Foram coletados 6 eventos durante a maré de sizígia e 3 durante a maré de quadratura (Apêndice 3). O evento 05, devido a duração das coletas, ocorreu nas duas marés. A amplitude total do nível do mar variou de 0,83 a 1,89 m, com a máxima registrada no E5.

6.1.2. Variáveis físico-químicas e clorofila-a

A temperatura e a salinidade variaram de 19,4-29,7°C e 30,9-36,6, respectivamente (Tabela 3). Menores valores de temperatura e salinidade na superfície foram registrados no inverno (E1 e E9; Figura 4). Aumentos na temperatura e na salinidade foram observados nos meses de primavera (23,2-26,3°C e 32-35) e verão (28,9-29,7°C e 34) respectivamente, seguindo o padrão esperado para região.

A coluna de água mostrou diferença significativa entre as profundidades (ANOVA p<0,001; ver Apêndice 5). De acordo com os perfis verticais (CTD), nas águas mais profundas, a ACAS foi observada no mês de dezembro, com temperatura 19,4°C (ver Apêndice 5). De acordo com índice termohalino (Miranda, 1982), a presença de AC foi detectada em todos os eventos, com predominância nas águas superficiais (profundidade de interesse), seguindo o padrão esperado segundo a literatura (Figura 3).



Figura 3 – Diagrama da Temperatura e Salinidade (TS) contendo os dados dos perfis de CTD realizados durantes as amostragens no Canal de São Sebastião e na Baía do Araçá. As cores diferenciam o conjunto de eventos amostrados sazonalmente.

Tabela 3 – Estatística descritiva das variáveis físico-químicas e clorofila-a nos pontos do Canal de São Sebastião (CSS) e Baía do Araçá (BA):

		CSS				ВА			
	Unidade	Mín.	Máx.	Méd.	DP	Mín.	Máx.	Méd.	DP
Temperatura	°C	19,40	29,7	24,4	±2,37	19,4	29,4	24,5	±2,23
Salinidade		30,90	35,7	34,3	±1,21	30,8	36,6	34,4	±1,13
Amônia	µmol.L⁻¹	0,01	1,19	0,33	±0,25	0,06	6,59	0,82	±0,82
Nitrito + Nitrato	µmol.L⁻¹	0,01	0,77	0,27	±0,14	0,01	2,02	0,52	±0,33
Fosfato	µmol.L⁻¹	0,09	0,71	0,32	±0,15	0,11	0,89	0,41	±0,17
Silicato	µmol.L⁻¹	0,47	6,25	3,08	±1,25	0,64	5,62	3,63	±1,33
Clorofila-a	mg/m³	0,58	7,18	2,02	±1,24	1,02	7,56	2,66	±1,3

As concentrações dos nutrientes foram baixas em todos os eventos (Figura 4 e Apêndice 4), condizente com a literatura (Saldanha-Corrêa & Gianesella, 2008).

A concentração de amônia (NH₃) na BA (0,82 \pm 0,82 μ mol.L⁻¹), foi superior a média observada no CSS (0,33 \pm 0,25 μ mol.L⁻¹), com diferença significativa entre os pontos (teste t <0,001). O maior valor de NH₃ foi registrado no evento de maior pluviosidade (E5: 52,1 mm), com máxima de 6,59 μ mol.L⁻¹ dentro da BA.

As concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido, mostraram maiores contribuições de amônia (NH₃) do que a soma de nitrito e nitrato (NO₃+NO₂) nos dois pontos. Os valores de NO₃+NO₂ no CSS e na BA apresentaram médias de 0,27 \pm 0,14 µmol.L⁻¹ e 0,52 \pm 0,33 µmol.L⁻¹ respectivamente (Tabela 3). O valor o máximo observado foi de 0,77 µmol.L⁻¹ no CSS e 2,02 µmol.L⁻¹ na BA.

A concentração de fosfato (PO₄) mostrou diferença significativa entre os pontos (teste t p=0,003), com maiores médias na BA (0,41±0,17 µmol.L⁻¹). O valor mínimo observado foi no CSS (0,09 µmol.L⁻¹) e máximo na BA (0,89 µmol.L⁻¹). Os maiores valores desse nutriente foram registrados nos eventos 04 e 05 (Figura 4).

Altas concentrações de silicato (SiO₄) ocorreram durante todo o evento 08, com ausência de chuva variando entre 3,92 a 5,95 μ mol.L⁻¹. No entanto, o maior valor registrado desse nutriente foi no evento 07, com 6,26 μ mol.L⁻¹ no CSS (Figura 4).

As concentrações médias de todos os nutrientes no CSS foram menores que as observadas no ponto da BA (teste t p<0,05) (Tabela 3).



Figura 4 – Variação da concentração dos nutrientes amônia, nitrito+nitrato, fosfato e silicato, durante os eventos (E1 a E9) amostrados nos pontos do Canal de São Sebastião (CSS) e da Baía do Araçá (BA). Os pontos pretos representam valores outlier.

A clorofila-a apresentou valores mínimos de 0,58 mg.m⁻³ no CSS e máximos de 7,56 mg.m⁻³ na BA (Tabela 3). Assim como os nutrientes, os valores da concentração média de clorofila-a foram maiores na BA (2,66 \pm 1,3

mg.m⁻³) do que no CSS (2,02 \pm 1,24 mg.m⁻³), com diferença significativa entre os pontos (teste t p=0,003). As maiores concentrações foram registradas nos eventos 01, 04 e 05. No CSS o maior valor (7,18 mg.m⁻³) foi observado no evento 05, com maior volume acumulado observado (pluviosidade total=52,1 mm) (Figura 5).



Figura 5 – Variação da concentração da clorofila-a (mg.m⁻³), durante os eventos (E1 a E9) amostrados nos pontos do Canal de São Sebastião (CSS) e da Baía do Araçá (BA). Os pontos pretos representam valores outlier.

6.2. Composição taxonômica da comunidade fitoplanctônica

A comunidade microfitoplanctônica (>20 μm) e nanoplanctônica (5-20 μm) do Canal de São Sebastião e da Baía do Araçá, é composta principalmente pelos grandes grupos taxonômicos: diatomáceas (penatas e cêntricas), dinoflagelados (atecado e tecado), flagelados, cocolitoforídeos, silicoflagelagos e cianobactérias (filamentosas e coloniais).

Foram identificados o total de 214 táxons no interior da BA e 226 no CSS, referentes às frações de tamanho (>20 μm e 5-20 μm), distribuídos em 8 classes taxonômicas: *Coscinodiscophyceae, Fragillariophyceae,*

Bacillariophyceae, Dinophyceae, Chlorophyceae, Euglenophyceae, Cyanophyceae e Prymnesiophyceae. A lista completa dos táxons encontra-se no Apêndice 6.

O nanoplâncton foi dividido em duas classes, de 5-10 μ m e 10-20 μ m. A fração 5-10 μ m apresentou dominância do grupo dos flagelados, com contribuição percentual de 70% no CSS e 77% na BA (Tabela 4). O mesmo foi observado na classe do nanoplâncton 10-20 μ m, com percentual de contribuição de 47% no CSS e 56% na BA. As densidades dos flagelados foram maiores na classe de 5-10 μ m, com média de 9.10⁴ ± 8.10³ cél.L⁻¹ no ponto do CSS e 9.10⁵ ± 1.10⁴ cél.L⁻¹ na BA, apresentando maiores valores dentro da BA.

O grupo dos cocolitoforídeos, com grande participação nas duas frações, apontou maior contribuição percentual no CSS, com 7% na classe de 5-10 μm e 10% na classe de 10-20 μm. O genêro *Umbilicosphaera* apresentou maior contribuição, ocorrendo em mais de 90% dos eventos.

O grupo das diatomáceas cêntricas do gênero *Chaetoceros, Thalassiosira* e *Skeletonema*, assim como as diatomáceas penatas do gênero *Nitzschia, Raphoneis, Diploneis, Cocconeis, Delphineis* e da família *Naviculaceae,* constituíram a classe do nanoplâncton, com maior contribuição percentual na fração de tamanho de 10-20 µm.
					CSS					BA		
Grupos (cél.L⁻¹)		Sigla	%	Min.	Máx.	Média	DP	%	Min.	Máx.	Média	DP
Nanoplâncton (5-10 µm)	Diatomácea cêntrica	DC	7	0	4.10 ⁵	1.10 ⁴	±7.10 ³	11	0	3.10⁵	2.10 ⁴	±8.10 ³
	Diatomácea penata	DP	0.1	0	5.10 ³	90	±90	0.1	0	4.10 ³	1.10 ²	±70
	Flagelado	FL	70	4.10 ³	3.10⁵	9.10 ⁴	±8.10 ³	77	3.10 ³	5.10⁵	1.105	$\pm 1.10^{4}$
	Cocolitoforídeo	со	7	15	1.105	1.104	±3.10 ³	4	22	3.104	6.10 ³	±9.10 ²
	Cianobactéria	CI	16	0	5.10	6.10	±1.10	8	0	2.10⁵	2.104	±5.10
m) to	Diatomácea cêntrica	DC	30	0	2.10⁵	1.104	±5.10 ³	22	0	2.10⁵	1.104	±4.10 ³
	Diatomácea penata	DP	6,5	0	5.104	2.10 ³	±8.10 ²	10	0	6.104	5.10 ³	±1.10 ³
lânc D µ	Dinoflagelado atecado	DA	4,5	0	2.104	2.10 ³	±5.10 ²	3	0	2.104	2.10 ³	±5.10 ²
lqor 0-2(Dinoflagelado tecado	DT	2	0	5.10 ³	6.10²	±1.10 ²	1	0	5.10³	5.10²	±1.10 ²
Nar (1	Flagelado	FL	47	2.10 ²	5.104	2.10 ⁴	±2.10 ³	56	3.10²	9.10 ⁴	3.104	±3.10 ³
	Cocolitoforídeo	со	10	0	6.10 ⁴	3.10 ³	±1.10 ³	8	0	8.104	4.10 ³	±2.10 ³
	Diatomácea cêntrica	DC	24	6.10²	9.10 ⁴	2.10 ⁴	±2.10 ³	39	4.10 ²	3.10⁵	4.10 ⁴	±5.10 ⁴
F	Diatomácea penata	DP	62	2.10²	5.10⁵	5.10 ⁴	±1.10 ⁴	53	3.10²	6.10⁵	6.10 ⁴	$\pm 1.10^{4}$
Microfitoplânctc (>20 µm)	Dinoflagelado atecado	DA	2	0	2.104	2.10 ³	±4.10 ²	1	0	1.104	1.10 ³	±3.10 ²
	Dinoflagelado tecado	DT	9	0	4.104	7.10 ³	±1.10 ³	4	0	3.104	4.10 ³	±5.10 ²
	Silicoflagelado	SI	1	0	7.10 ³	7.10²	±1.10 ²	0,5	0	3.10 ³	5.10²	±90
	Flagelado	FL	0,4	0	3.10 ³	3.10²	±70	0,2	0	3.10 ³	2.10²	± 60
	Cocolitoforídeo	со	0,4	0	2.10 ³	2.10²	±50	0,3	0	3.10 ³	2.10 ²	±60
	Cianobactéria	CI	2	0	2.10 ⁴	1.10 ³	±4.10 ²	2	0	4.104	2.10 ³	±8.10 ²

Tabela 4 – Estatística descritiva dos grandes grupos taxonômicos obervados, nas diferentes classes de tamanho (nanoplâncton e microplâncton), no Canal de São Sebastião (CSS) e Baía do Araçá (BA):

O microfitoplâncton apresentou contribuição de cada grupo taxonômico diferente para CSS e BA. Predominados por diatomáceas (85% e 89%, respectivamente), seguido por dinoflagelados (5% e 11%), o grupo das penatas, mostrou um maior percentual no CSS (61%) (Tabela 4).

As diatomáceas destacaram-se também pela riqueza de táxons. O grupo das diatomáceas cêntricas, apresentou maior número de gêneros Thalassiosira, Leptocylindrus, Chaetoceros, Hemiaulus, Paralia e Cyclotella com aproximadamente 38% dos táxons identificados nos dois pontos. Já as diatomáceas penatas dos gêneros Pseudo-nitzschia, Thalassionema, Asterionellopsis, Cylindrotheca, Nitzschia e Navicula, foram aproximadamente 20% dos táxons identificados no CSS e 22% na BA.

Na BA observou-se a contribuição de diatomáceas penatas da família *Rhaphoneidaceae*, que são comumente encontradas em águas costeiras rasas e associadas ao fundo (Tomas, 1997). Outros gêneros e famílias da interface água e sedimento foram encontrados na BA e no CSS, com aproximadamente 21% da fração total dos táxons identificados como diatomáceas penatas.

Dentre os dinoflagelados tecados, os gêneros *Prorocentrum* (9 táxons) e *Tripos* (15 táxons) constituíram na maior riqueza de espécies. Os gêneros *Protoperidinium, Dynophysis, Scrippsiela, Heterocapsa, Gonoyaulux e Alexandrium* também tiveram participação nos dois pontos. A presença de dinoflagelados no CSS foi maior em todos os eventos, representando 28% (65 táxons) da riqueza total somente nesse ponto. Os organismos pertencentes ao grupo dos dinoflagelados atecados, destacaram-se em sua maior parte pela ordem *Gymnodiniales*, com 3,5% no CSS e 2,7% na BA.

As cianobactérias, com 5 táxons identificados dentre eles filamentosos e coloniais, mostrou-se em 2% da comunidade nos dois pontos. A ocorrência das cianobactérias *Trichodesmium* spp. e *Richelia intracellularis*, foram os principais componentes do grupo, sendo que uma espécie de cianobactéria filamentosa não identificada esteve presente em todos os eventos.

A densidade total do microfitoplâncton foi maior na BA, em média 10⁴ cél.L⁻¹, para cêntricas e penatas, mas as diatomáceas predominaram nos dois pontos em todos os eventos. Os valores máximos de densidade das diatoméceas penatas na BA (10⁵ cél.L⁻¹) foram cerca de uma ordem de magnitude maiores do que no CSS (10⁴ cél.L⁻¹) (Tabela 4). As maiores densidades foram observadas nos eventos de verão (E4) e inverno (E1 e E9) para todos os grupos.

6.2.1. Associações do microfitoplâncton

A comunidade microfitoplanctônica apresentou uma variação na predominância entre dois gêneros, a diatomácea cêntrica *Thalassiosira* spp. e a penata *Pseudo-nitzschia* spp. no CSS e na BA (Figura 6).

Os eventos 01, 05, 06, 07, 08 e 09 foram predominados pela *Thalassiosira* spp., já os eventos 02, 03 e 04 apresentaram predomínio de *Pseudo-nitzschia* spp. (Figura 6). A densidade média de *Thalassiosira* spp. na BA foi de 2.10⁴ cél.L⁻¹ e no CSS 6.10³ cél.L⁻¹, portanto, uma ordem maior de magnitude, com valores máximos de 3.10⁵ e 5.10⁴ cél.L⁻¹ respectivamente. A densidade média de *Pseudo-nitzschia* spp. foi similar nos pontos (3.10⁴ cél.L⁻¹), com máxima de 10⁵ cél.L⁻¹.



Figura 6 – Variação da densidade (cél.L⁻¹) dos principais táxons observados no microfitoplâncton, durante os eventos (E1 a E9) amostrados nos pontos do Canal de São Sebastião (CSS) e da Baía do Araçá (BA). Legenda: Tha – *Thalassiosira* spp.; Pnitz – *Pseudo-nitzschia* spp.; Psul – *Paralia* sulcata; Hemi – *Hemiaulus* spp.; Chae – *Chaetoceros* spp.; Lepto – *Leptocylindrus danicus*; Aglac – *Asterionellopsis glaciales*; Tnitzsc – *Thalassionema nitzschioide*; Gymn – *Gymnodiniales*; Gonoy – *Gonoyaulux*; Scrip –*Scrippsiella*; Proro – *Prorocentrum*; Tricho – *Trichodesmium*; Riche – *Richelia* intracellularis.

Os eventos com maiores valores de Riqueza no microfitoplâncton foram observados no inverno (E1 e E9). A BA apresentou maiores valores de Riqueza

de táxons (teste t p<0,001), contudo, os valores de Dominância não indicaram diferença significativa entre os pontos (teste t p=0,06). Os menores valores de Riqueza e maiores valores de Dominância ocorreram nos eventos 03 e 04, com predomínio de *Pseudo-nitzschia* spp. nos dois pontos.

Nos eventos com predominância de *Pseudo-nitzschia* spp. o valor do índice de Dominância é alto, como no evento 03 (10⁵ cél.L⁻¹), com 0,8 no CSS e 0,7 na BA (Figura 7). Isto torna esse gênero um *proxy* da comunidade microfitoplanctônica, onde o predomínio do gênero diminui a riqueza de táxons, fenômeno não observado com o predomínio de *Thalassiosira* spp.



Figura 7 – Relação entre a Riqueza e Dominância de táxons no Canal de São Sebastião (CSS) e na Baía do Araçá (BA) em cada evento (E1 a E9). Relação da Riqueza com a densidade de *Pseudo-nitzschia* spp. (log cél.L⁻¹).

A análise do Agrupamento dos táxons de maior contribuição percentual (>2%), evidenciou dois grupos com grau 2 de similaridade, denominados A e B (Figura 8). Quanto a similaridade foi possível observar quatro grupos (A1, A2, B1, B2) que configuraram a associação da ocorrência dos táxons no microfitoplâncton.

Grupo A (n=10): Composto por 10 táxons, apresentou predominância da diatomácea penata *Pseudo-nitzschia* spp., dividido em dois grupos de similaridade 1 (A1, A2). O grupo A1 com a presença de *Pseudo-nitzschia* spp. (em maiores densidades), dos dinoflagelados tecados dos gêneros *Gonoyaulux, Scrippsiella, Alexandrium* e a diatomácea cêntrica *Leptocylindrus danicus*. O grupo A2 é composto pelas diatomáceas cêntricas *Chaetoceros* spp. e *Hemiaulus* spp. (predominantes nesse grupo), *Dactyliosolen fragillissimus,* pela diatomácea penata *Haslea* sp.1 e a cianobactéria diazotrófica *Richelia intracellularis*. A presença de *Richelia intracellularis* no mesmo grupo que *Hemiaulus*, reforça a associação entre hospedeira e simbionte.



Figura 8 – Agrupamento dos táxons com contribuição relativa acima de 2%, nos ponto do Canal de São Sebastião e Baía do Araçá (n=138) durante os eventos (E1 a E9) amostrados.

Grupo B (n=12): Composto por 12 táxons, predominou a diatomácea cêntrica *Thalassiosira* spp., também subdividida em dois grupos de similaridade 1 (B1 e B2). O grupo B1 é formado pelas diatomáceas penatas *Cylindrotheca closterium* e *Asterionellopsis glacialis*, pelos dinoflagelados tecados do gênero *Prorocentrum* e *Tripos*, pelo dinoflagelado atecado *Gymnodinium* spp. e pela cianobactéria diazotrófica *Trichodesmium* spp. O grupo B2, com a presença de *Thalassiosira* spp., agrupada a diatomácea cêntrica *Paralia sulcata*, as penatas *Navicula* spp. e *Thalassionema nitzschioide*, o silicoflagelado *Dictyocha fibula* e a cianobactéria filamentosa não identificada. Nos eventos com predominância de *Thalassiosira* spp., os táxons observados nos grupos B1 e B2, exceto *Trichodesmium* spp., apresentaram suas maiores densidades observadas.

6.3. Relações entre a comunidade fitoplanctônica e as variáveis meteo-oceanográficas

As relações entre as variáveis meteo-oceanográficas (pluviosidade, direção e velocidade do vento e nível do mar), físico-quimícas (temperatura, salinidade, amônia, nitrito+nitrato, fosfato e silicato) e os táxons de interesse (*Thalassiosira* spp., *Pseudo-nitzschia* spp., *Trichodesmium* spp., *Richelia intracellularis* e *Hemiaulus* spp.) foram avaliadas através da Análise de Redundância (RDA) (Figura 9).



Figura 9 – Diagrama de ordenação da Análise de Redundância (RDA). O primeiro diagrama mostra as relações entre as variáveis ambientais (setas) e os táxons (siglas) de importância. O segundo diagrama representa as estações de cada evento (E1 a E9) nos pontos do CSS e da BA. Legenda: Thala – *Thalassiosira* spp.; P.nitzs – *Pseudo-nitzschia;* Hemi – *Hemiaulus* spp.; R.intra – *Richelia intracellularis;* Tricho – *Trichodesmium* spp.

As variáveis temperatura (λ A=0,03; p=0,004), fosfato (λ A=0,03; p=0,006), nitrito+nitrato (λ A=0,03; p=0,012), velocidade do vento (λ A=0,02; p=0,016) e pluviosidade (λ A=0,02; p=0,038) mostraram as melhores relações com às variações da densidade dos táxons selecionados (Seleção a *posteriori*; Tabela 5). O teste de Monte Carlo revelou relações significativas entre as espécies e as variáveis ambientais, com p=0,002.

Tabela 5 – Variáveis explicativas utilizadas para a Análise de Redundância (RDA) e suas respectivas variâncias. As variáveis estão por ordem decrescente da variabilidade que explicam. Os asteriscos indicam significância estatística (p<0,05):

Efeitos Marginais	5	Efeitos Condicionantes						
Variáveis λ1		Variáveis	λΑ	Р	F			
Temperatura	0.03	Temperatura	0.03	0.004*	4.39			
Pluviosidade	0.03	Fosfato	0.03	0.006*	4.74			
Fosfato	0.03	Nitrito+Nitrato	0.03	0.012*	3.83			
Salinidade	0.02	Velocidade vento	0.02	0.016*	3.16			
Velocidade vento	0.02	Pluviosidade	0.02	0.038*	2.95			
Silicato	0.02	Direção do vento	0.01	0.126	1.94			
Nitrito+Nitrato	0.02	Silicato	0.01	0.012	1.84			
Direção do vento	0.01	Salinidade	0.01	0.144	1.67			
Nível do mar	0.01	Nível do mar	0.01	0.376	0.99			
Amônia	0.01	Amônia	0.01	0.418	0.92			

Os autovetores dos dois primeiros eixos foram significativos, explicando cumulativamente 80,9% da variabilidade dos dados (Tabela 6). O Eixo 1 explica somente 9% da variabilidade dos táxons. A relação dos táxons com as variáveis ambientais explicam 51,8% no Eixo 1 e 29,1% no Eixo 2.

Tabela 6 – Estatística dos dois primeiros eixos da RDA (correlação e percentual):

Fixos	Fixo 1	Fixo 2
Autovalaras	0.002	
Autovalores	0.092	0.052
Correlação táxons-variáveis ambientais	0.441	0.508
Percentual acumulado da variância dos táxons	9.2	14.4
Percentual acumulado da relação táxons-variáveis ambientais	51.8	80.9

Apesar do Eixo 1 explicar 51,8% da variabilidade dos táxons selecionados em função das variáveis ambientais, os resultados das correlações mostraram-se baixos mesmo sendo significativos (r1=0,4). Através da regra do biplot, as diatomáceas do gênero *Thalassiosira* e *Pseudo-nitzschia* indicaram maior influência da velocidade do vento, nível do mar e do nutriente silicato.

Enquanto *Thalassiosira* spp. apresentou alta relação com o nível do mar e a velocidade do vento, *Pseudo-nitzschia* spp. indicou ligação com o nutriente fosfato. A cianobactéria diazotrófica *Richelia intracellularis* está associada à diatomácea hospedeira *Hemiaulus* spp., apresentando forte relação com o fosfato e a direção do vento. A cianobactéria diazotrófica *Trichodesmium* spp., associada ao mesmo quadrante que *R. intracellularis*, apresentou influência da direção do vento e do fosfato, e elevada relação com a temperatura (Figura 9).

6.4. Ocorrência e coexistência de cianobactérias diazotróficas

Foram observados para o Canal de São Sebastião e Baía do Araçá somente a ocorrência de cianobactérias fixadoras de N₂, *Trichodesmium* spp. e *Richelia intracellularis*, pertencentes ao microfitoplâncton (>20 μm). Os filamentos de *Trichodesmium* spp. ocorreram na forma de tricomas livres, com presença em alguns eventos de colônias, tufts e puffs. Já *Richelia intracellularis*, ocorreu somente na diatomácea cêntrica do gênero *Hemiaulus*, nas espécies *H. hauckii, H. membranaceus* e *H. sinensis* (Figura 10). A associação com *Hemiaulus membranaceus* foi predominante, principalmente em densidade, sendo observados até 4 tricomas de *R. intracellularis* dentro da hospedeira.

A contribuição percentual de cianobactérias, dentre elas filamentosas e coloniais, na BA e no CSS foi a mesma (2%) (Tabela 4, pg. 26), grande parte devido à presença das diazotróficas *Trichodesmium* spp. e *Richelia intracellularis*.



Figura 10 – Formas observadas de *Trichodesmium* spp., para: A) Tricomas livres; B) Puffs; C) Tufts. Fotos em microscopia de epifluorescência, cor amarelada indica presença de ficoeritrina. Cianobactéria endossimbionte *Richelia intracellularis* identificada na diatomácea cêntrica *Hemiaulus membranaceus*. Em ordem: D) microscopia de campo claro, imagem preto e branco; E) microscopia de espifluorescência, imagem em preto e branco; F) microscopia de espifluorescência, presença de ficoeritrina.

As densidades das diazotróficas apresentaram grande variação em todos os eventos, com maiores médias na Baía do Araçá, para *Trichodesmium* spp. (10³ tricomas.L⁻¹) e *Richelia intracellularis* (3.10³ tricomas.L⁻¹) (Tabela 7). Somente para a densidade de *Richelia intracellularis* essa diferença entre os pontos foi significativa (teste t p=0,03).

Tabela 7 – Estatística descritiva da densidade de tricomas das cianobactérias diazotróficas *Trichodesmium* spp. (tricomas livres, puffs e tufts) e *Richelia intracellularis* observadas no Canal de São Sebastião (CSS) e Baía do Araçá (BA):

		CSS				ВА				
Cianobactéria	Unidade	Mín.	Máx.	Méd.	DP	Mín.	Máx.	Méd.	DP	
Trichodesmium spp.	tricomas.L ⁻¹	0	1.104	6.10²	±2.10 ³	0	3.104	1.10 ³	±5.10 ³	
Richelia intracellularis	tricomas.L ⁻¹	0	2.10 ⁴	1.10 ²	±4.10 ³	0	6.10 ⁴	3.10 ³	±9.10 ³	

A máximas densidades observadas para *Trichodesmium* spp. no CSS (10⁴ tricomas.L⁻¹) foi observado no E5, evento esse que apresentou o maior volume de pluviosidade local. Na BA, as máximas foram observadas no evento 04 (10⁴ tricomas.L⁻¹), caracterizado por elevadas temperaturas superficiais e pluviosidade de 11,6 mm (Figura 11).

A endossimbionte *R. intracellularis* apresentou densidade máxima de 2.10^4 tricomas.L⁻¹ no CSS durante o evento 04, e 6.10^4 tricomas.L⁻¹ na BA durante o evento 05; ambos eventos na diatomácea *Hemiaulus membranaceus* (Figura 11). A densidade de *Hemiaulus* spp. sem a endossimbionte *R. intracellularis* foi inferior as com presença em todos os eventos de ocorrência (teste t p=0,0001).



Figura 11 – Variação da densidade (log tricomas.L⁻¹) das cianobactérias diazotróficas *Trichodesmium* spp. e *Richelia intracellularis* durante os eventos (E1 a E9) nos pontos do Canal de São Sebastião (CSS) e Baía do Araçá (BA).

As diazotróficas não coexistiram em dois eventos: no E1, *Trichodesmium* spp. não ocorreu nos dois pontos, enquanto *R. intracellularis* não ocorreu no CSS; no E3, a diazotrófica endossimbionte não ocorreu nos dois pontos. Em menor escala temporal, a presença das diazotróficas demonstrou variações com ausência em alguns períodos, principalmente de *R. intracellularis.* No E5, oscilações na densidade de *R. intracellularis* no CSS, resultou em uma variação da coexistência das duas dazotróficas nos dias amostrados antes da chuva, intercalando períodos com ausência da endossimbionte.

No geral, as correlações entre diazotróficas e as variáveis meteooceanográficas e físico-químicas não apresentaram valores altos. As maiores relações de *Trichodesmium* spp. foram observadas para as variáveis direção do vento (S-W), Temperatura e fosfato como observado na Análise de Redundância (RDA). Para *R. intracellularis* as maiores relações foram com a direção do vento e o fosfato (Figura 9, pg. 33).

A pluviosidade não indicou relações diretas com as densidades de diazotróficas segundo a RDA. No entanto, através das correlações em cada evento, foi possível verificar alguns resultados significativos. *Trichodesmium* spp. apresentou relações na BA nos eventos 03 (r=0,8, p<0,05), 04 (r=0,8, p<0,05) e 09 (r=0,4, p<0,05), e no CSS nos eventos 07 (r=0,7, p<0,05) e 09 (r=0,9, p<0,05). Para as observações agrupadas nos dois pontos, as melhores correlações entre a densidade de dizotróficas e a taxa de pluviosidade ocorreram no E4 (CSS r=0,8, p<0,05; BA r= -0,8, p<0,05) e E6 (CSS r=0,5, p<0,05; BA r= 0,5, p<0,05).

A correlação entre as densidades de *R. intracellularis* e a pluviosidade foi significativa no CSS nos eventos 02 (r= 0,6, p<0,05), 04 (r=0,7, p<0,05), 06 (r=0,8, p<0,05) e 09 (r=0,8, p<0,05), enquanto na BA, foram significativas nos eventos 02 (r=0,4, p<0,05), 04 (r=0,8, p<0,5), 05 (r=0,6, p<0,5) e 07 (r=0,6, p<0,6). A maior taxa de pluviosidade registrada durante todas as observações (E5), não indicou maiores densidades de *R. intracellularis* nos pontos (Figura 12).



Figura 12 – Variação da densidade (log tricomas.L⁻¹) das cianobactérias diazotróficas *Trichodesmium* spp. e *Richelia intracellularis* com o aumento de pluviosidade, nos pontos do Canal de São Sebastião (CSS) e Baía do Araçá (BA).

As maiores correlações entre a direção do vento e a densidade de *Trichodesmium* spp. foram no CSS no E4 (r=0,7, p<0,05) e E5 (r=0,8, p<0,05), e na BA no E4 (r= -0,8, p<0,05) e E6 (r= -0,9, p<0,05). Esses eventos coincidiram com a presença de fortes ventos do quadrante S-W antes ou durante da coleta.

7. DISCUSSÃO

Caracterização taxonômica da comunidade fitoplanctônica em diferentes escalas temporais

A estrutura da comunidade fitoplanctônica está diretamente relacionada aos processos físicos da coluna da água que lhe submetem a uma contínua reorganização (Margalef, 1967). A descrição dos organismos presentes num determinado local e tempo, é assim, uma tarefa complexa em ambientes costeiros rasos, de grande hidrodinâmica (Baek *et al.*, 2008). O microfitoplâncton observado no CSS e na BA apresentaram padrões distintos em cada evento amostrado. Ao longo de todas as observações, o microfitoplâncton foi numericamente predominado por diatomáceas, com dois cenários que se repetiram: um aonde houve dominância em densidade da *Thalassiosira* spp., com maior riqueza de táxons e outro aonde *Pseudo-nitzschia* spp. foi dominante e o microfitoplâncton mostrou menor riqueza de táxons.

Nos eventos com predomínio de *Thalassiosira* spp., acompanhou-se maiores densidades das diatomáceas penatas *Cylindrotheca closterium* e *Thalassionema nitzschioide* nos dois pontos, e maior contribuição de dinoflagelados no CSS, como *Prorocentrum micans e Prorocentrum scutellun*. As maiores densidades do gênero predominante (10⁴ cél.L⁻¹), foram identificados nas amostras dos eventos nos meses de setembro, abril, maio, junho e agosto, referentes ao inverno e outono. Garrido *et al.* (2014) também descreveu o predomínio de *Thalassiosira* spp. no microfitoplâncton nos meses de outono e inverno em uma sub-bacia do Mar Mediterraneo, correlacionando a variação da gênero como dependente de entradas de nutrientes, principalmente através da precipitação.

Os eventos com dominância de *Pseudo-nitzschia* spp. mostraram elevadas densidades (10⁵ cél.L⁻¹) nos meses de outubro, dezembro e janeiro, coincidindo com a maior abundância na costa brasileira reportadas para os meses de primavera e verão (Villac e Tenenbaum, 2001; Odebrecht *et al.*, 2001; Fernandes e Brandini, 2004; Mafra *et al.*, 2006; Fernandes e Brandini,

41

2010). Observamos maiores abundâncias nos mesmos períodos (eventos 02,
03 e 04) para os gêneros *Chaetoceros* e *Hemiaulus* (10³ cél.L⁻¹).

A dominância local de um organismo diminui a riqueza e aumenta a uniformidade (Verde e Ostling, 2003). Processos de eutrofização ou variações abióticas do ambiente, podem alterar não só a dominância das espécies comumente encontras em alguns locais, como também reduzir a heterogeinidade da comunidade (Mouquet *et al.*, 2006). O favorecimento de um determinado organismo, pode levar a florações e algumas espécies que se acumulam podem ter efeitos deletérios (HAB´S – Harmful Algal Blooms) com muitas implicações para atividades pesqueiras e de lazer em ambientes costeiros (Paerl, 1987; Hallegraeff, 1993; Anderson *et al.*, 2002).

A presença de vários gêneros/espécies potencialmente nocivas foi registrada no CSS destacando-se os dinoflagelados *Alexandrium* spp., *Gymnodinium* spp., *Dinophysis* spp., *Gonoyaulux* spp., *Tripos furca, Prorocentrum micans e Prorocentrum minimum*, a diatomácea *Chaetoceros* spp., e as cianobactérias *Anabaena* spp. e *Trichodesmium* spp. (ver GEOHAB, 2001). Em muito ecossistemas marinhos a sucessão natural entre espécies dominantes de fitoplâncton pode ser sazonal, incluindo a formação de florações. No entanto, o aumento da frequência desses acúmulos em biomassa podem estar associados às mudanças climáticas bem como a eutrofização costeira (Kudela *et al., 2015).* Em particular, nossos resultados mostram a dominancia de um gênero de HABs, *Pseudo-nitzschia* spp., conhecida por ser capaz de formar florações em regiões costeiras em todo o mundo (Kacmarska *et al., 2005).* Apesar das maiores densidades de *Pseudo-nitzschia* spp.

merecem atenção, uma vez que esse gênero contém espécies que produzem neurotoxinas, como o ácido domóico (Hasle, 2002). Assim, a identificação das condições do ambiente, que favorecem o aumento da densidade de *Pseudo-nitzschia* spp., e seu monitoramento futuro, se tornam importantes.

Apesar do CSS ser considerado um ambiente meso-oligotrófico na maior parte do tempo (Saldanha-Corrêa e Gianesella, 2008), as densidades do microfitoplâncton observadas no presente trabalho (média de 10⁴ cél.L⁻¹), não refletem condições de limitação por nutrientes. Ambientes eutrofizados apresentam densidades celulares elevadas, tornando-se visíveis quando estes ultrapassam a ordem de magnitude de 10⁶ cél.L⁻¹. Os ecossistemas costeiros são suscetíveis a episódios de eutrofização, devido ao aporte continental e atividade antrópica (Nixon, 1995). Estudos no mar Mediterrâneo, com condições oligotróficas, mostram o aumento desses fenômenos costeiros ao longo dos anos (Spatharis *et al.*, 2007a), associados ao aporte de origem continental.

As concentrações de nutrientes no CSS e na BA foram baixas, não indicando alterações em seu estado de eutrofização. Brasil-Lima (1998), sugere que as concentrações de nutrientes permanecem baixas devido à elevada hidrodinâmica do Canal que advecta esses compostos para fora do CSS. De forma similar, a constante troca de águas entre o Canal e a Baía do Araçá minimiza o acúmulo de materiais em seu interior, sendo a última classificada como "em processo de enriquecimento" por Gubitoso (*et al.*, 2008). A concentração de nutrientes da coluna de água na BA tem sido sistematicamente reportada como significativamente mais altas que no CSS (Peres, 2013), sendo o mesmo verificado no presente estudo, porém as

diferenças são pequenas. As entradas de nutrientes incluem esgotos, aporte continental pelas chuvas e pelo Córrego Mãe Izabel, além das atividades biológicas da diversa comunidade bentônica presente nos sedimentos (Amaral *et al.*, 2010). Os nossos resultados, entretanto, não mostram relações robustas entre a concentração de nutrientes e as taxas de precipitação locais na escala temporal amostrada em cada evento (horas e dias), e sugerem, um rápido consumo de nutrientes além da alta dispersão pela troca entre massas de água.

Efeito das variáveis meteo-oceanográficas na composição taxonômica da comunidade fitoplanctônica

A dominância numérica de uma determinada espécie na comunidade fitoplanctônica é reflexo direto de seus mecanismos adaptativos às mudanças físico-químicas (Anderson *et al.*, 1994). Essas variáveis alteram-se em menores escalas temporais pelas ações de ventos e marés, fazendo com que essas generalizações devam ser estudadas regionalmente; ou seja, espera-se que tanto a variabilidade taxonômica e a densidade do fitoplâncton de um local sejam respostas da dinâmica do mesmo.

O CSS apresenta um padrão de circulação que é forçado por ventos de meso-escala (Castro Filho e Miranda, 1998) recebendo além de massas de água de regiões costeiras adjacentes, massas de água de plataforma (e.g., AT e ACAS) resultados de afloramentos A presença de termófilas, típicas de águas oceânicas tropicais quentes como *Hemiaulus membranaceus* e *H. hauckii* (Hasle e Syvertsen *in* Tomas, 1997) reforçam a presença dessas entradas. Assim como a ocorrência dos dinoflagelados oceânicos como *Tripos*

candelabrum, T. declinatum e Podolampas palmipes, encontrados somente no CSS.

Apesar de sempre presentes na composição do microfitoplâncton da BA, as diatomáceas penatas pertencentes ao microfitobentos (i.e. Família Raphoneidaceae), indicam ressuspensão do material do fundo para a coluna de água. Situação provável pela maior mistura em função da profundidade rasa e padrão de circulação do CSS, que a cada ciclo de maré preenche a baía (Villamarin, 2014), sendo também observadas no ponto do canal, no entanto, em menor densidade.

O predomínio de *Thalassiosira* spp. na comunidade microfitoplanctônica foi observado nos eventos com menores temperaturas na superfície (E1 e E9), maiores velocidades de ventos (E5, E6, E7 e E8) e maiores concentrações de silicato (E1, E7 e E8), sugerindo a influência de plumas costeiras, principalmente devido às passagens de frentes frias, condições de outono e inverno para o CSS (Peres, 2013). A mistura turbulenta, provocada por altas velocidades de ventos, gera uma maior contribuição de nutrientes para as águas superficiais (Estrada e Margalef, 1988). Em ambientes não temperados, entretanto, o aumento da pluviosidade e mistura potencializam um enriquecimento localizado por nutrientes em qualquer época do ano. O gênero *Thalassiosira* contém mais de 100 espécies, de água doce e marinha (Round *et al.*, 1990), e a dificuldade de identificação das espécies sem o uso de microscopia eletrônica, dificulta o conhecimento de sua distribuição geográfica e papel ecológico.

A *Pseudo-nitzschia* spp. predominou nos eventos de primavera (E2 e E3) e verão (E4), marcados por maiores volumes de pluviosidade, aumento da

temperatura superficial e aumento gradativo da concentração de fosfato, com máxima no evento 04 (CSS=0,71 μmol.L⁻¹; BA=0,89 μmol.L⁻¹). As maiores densidades foram observadas durante todo o evento 03 (10⁵ cél.L⁻¹), com presença de menor temperatura (19,4°C) e maior salinidade (35,5) nas camadas mais profundas no CSS, características que indicam uma possível presença da ACAS no fundo. A entrada da ACAS no CSS, oriunda de ventos médios NE/SE, ocorre durante a primavera, com a maior presença durante o verão (Paixão, 2008).

Grandes concentrações de *Pseudo-nitzschia* spp. estão ligadas ao enriquecimento das águas pelo escoamento da chuva (Scholin *et al.*, 2000; Odebrecht *et al.*, 2001) e ressurgência costeira (Trainer *et al.*, 2000; Villac e Tenenbaum, 2001). A injeção de nutrientes provocada pelas entradas intermitentes da ACAS no CSS, caso sejam suficientes, pode promover o maior crescimento da classe do microfitoplâncton (Peres, 2013). Segundo a autora, o intercâmbio de águas no CSS, proporciona um comportamento onde as características meso-oligotróficas sofrem influência de pulsos de ressurgência da ACAS. Uma vez no CSS, a dispersão da ACAS é sujeita as correntes superficiais locais, diretamente dependentes da direção do vento (Miranda e Castro, 1995; Castro et al., 2008).

As variáveis meteo-oceanográficas se mostraram de grande importância para a comunidade microfitoplanctônica no CSS e na BA. A velocidade do vento indicou relação direta com a ocorrência dos gêneros predominantes, os quais maiores intensidades estão ligados à *Thalassiosira* spp. e menores à *Pseudo-nitzschia* spp., enquanto a direção do vento (SW) indicou atuação direta na ocorrência das diazotróficas *Trichodesmium* spp. e *Richelia intracellularis/Hemiaulus* no CSS.

Ocorrência e coexistência de cianobactérias diazotróficas

As cianobactérias desempenham uma fração significativa nas comunidades fitoplanctônicas marinhas (Fogg, 1982) constituindo mais de 50% da abundância nos organismos em águas oligotróficas tropicais (Paerl, 2000). Com papel importante nos ciclos biogeoquímicos e tróficos em águas costeiras e oceânicas, as cianobactérias diazotróficas possuem adaptações e estratégias que facilitam o crescimento mesmo em condições oligotróficas.

A coexistência de espécies fixadoras de N₂ atmosférico não têm sido foco de muitos estudos, apesar de boa parte dos trabalhos descreverem a ocorrência de duas ou mais espécies no mesmo ambiente (Carpenter *et al.*, 1999; Foster *et al.*, 2007; Bar-Zeev *et al.*, 2008; Foster *et al.*, 2011; Yeung *et al.*, 2012). A ocorrência destas, deve-se principalmente a disponibilidade de nutrientes (i.e. fosfato e ferro) e temperaturas altas.

Em águas costeiras, mecanismos como aquecimento superficial, descargas estuarinas e precipitação atmosférica podem causar o aumento da estratificação (Castro *et al.*, 2008; Cloern, 1987). Processos como resfriamento superficial e cisalhamento do vento podem ser responsáveis pela diminuição da estratificação, e consequente diminuição de diazotróficas.

Em setembro de 2013 (E1), no evento associado, a temperatura mais baixa na superfície provavelmente foi um fator importante para a ausência das cianobactérias diazotróficas *Trichodesmium* spp. e *Richelia intracellularis*. Temperaturas mais baixas limitaram o crescimento destas, além de inibir a enzima nitrogenase (Karl *et al.*, 2002). Fator importante também neste evento, foi a mistura da coluna de água, causada pelas condições típicas do inverno com velocidades mais intensas dos ventos.

A ausência de *Richelia intracellularis* foi observada no evento de dezembro de 2013 (E3). Neste evento, elevadas densidades de *Pseudo-nitzschia* spp. ocorreram, diminuindo a riqueza dos táxons na comunidade, e observamos a presença de *Hemiaulus hauckii* sem a endossimbionte. Exceto nestes dois eventos *Richelia intracellularis* coexistiu com *Trichodesmium* spp., sendo a última sempre presente em maiores densidades nos dois pontos.

Não foi possível estabelecer uma correlação entre a coexistência de diazotróficas com a pluviosidade local, muito embora, aumentos de densidade tenham sido observados após períodos de maior volume de chuva acumulada (E4 e E5). Registros de florações de *Trichodesmium* spp. foram relacionados a eventos de chuvas após períodos de seca, na costa da Tanzânia (Lugomela *et al.*, 2002), onde reportam um aumento da biomassa na superfície quando condições de calmaria foram reestabelecidas, ressaltando a importância do escoamento da chuva para o aporte de fosfato e ferro.

O aumento de *Trichodesmium* spp. foi notada em nosso estudo com mínimo de 24 horas após a chuva, condizente com a sua taxa de crescimento de cerca de 0,2 dia⁻¹ de acordo com Spugin *et al.* (2014), que destaca a necessidade da permanência de condições favoráveis por alguns dias para que, ocorra um acúmulo de grande biomassa de tricomas. Isso pode ser observado no evento 07, ao qual foi amostrado após uma semana do evento 06, apresentando maiores densidades no primeiro dia de coleta. Portanto, amostragem com maior número de dias após a chuva seria necessário para

uma melhor visualização da influência da pluviosidade. Já *R. intracellularis* apresenta uma taxa de crescimento superior, a 0,67 dia⁻¹, próxima a da sua hospedeira *Hemiaulus* spp. (0,7 dia⁻¹ in: Villareal 1989,1990), respondendo mais rápido às variações ambientais. Todavia, *R. Intracellularis* nunca excedeu numericamente *Trichodesmium spp*,

Eventualmente, os acúmulos celulares em zonas costeiras podem ser reflexos das advecções de florações oceânicas (Lugomela *et al.*, 2002). A direção do vento, principalmente quando provenientes do quadrante SW, mostrou-se importante na ocorrência das diazotróficas no CSS. Este pode ser um indicativo de advecção de células provindas de outros locais, como a entrada de águas oceânicas, encontrando na BA e no CSS um ambiente favorável para o crescimento. *Trichodesmium* spp. são comuns na AT em qualquer período do ano (Gaeta, 1999) ou em águas de plataforma durante o verão, podendo atingir águas rasas (<50m) próximas da costa (Brandini *et al.*, 1989), através do cisalhamento do vento.

A associação entre diazotrófica e diatomáceas é considerada uma adaptação ecológica de sobrevivência nos oceanos oligrotróficos (Foster e O'Mullan, 2008). São poucos os trabalhos entretanto, que relatam a ocorrência de *R. intracellularis* em ambientes costeiros, em especial no litoral brasileiro. As primeiras observações foram de Kilmor *et al.* (1978), que reportaram ocorrências anuais da endossimbionte associada à *H. membranaceus* na região costeira do Sul da Califórnia. Relatos de *R. intracellularis* em ambientes costeiros (Kilmor *et al.*, 1978; Marshall, 1981; White *et al.*, 2007), associam a ocorrência com entrada de massas de águas, reforçando sua relação com os ventos nesses ambientes.

Identificou-se, em janeiro de 2014 (E4), as maiores densidades de *Trichodesmium* spp. (10⁴ tricomas.L⁻¹) e *R. intracellularis* (10⁴ tricomas.L⁻¹), coincidindo com as maiores concentrações de fosfato (CSS=0,71 μ mol.L⁻¹; BA=0,89 μ mol.L⁻¹). Ventos de SW com maior intensidade, seguidos de chuva (11,6 mm) e calmaria, podem ter proporcionado um aumento de diazotróficas dentro da BA e CSS. Moutin *et al.* (2005) demonstraram que a concentração mínima de fosfato para promover o crescimento de *Trichodesmium* spp. a uma taxa superior de 0,1 d⁻¹ é 0,009 μ M. Neste mesmo evento as condições de aquecimento da superfície foram favoráveis, com médias de temperaturas a 29°C (± 0,30), e estratificação da coluna de água no ponto do CSS.

No evento de junho de 2014 (E8) com a ausência de chuva e entrada de ventos do quadrante SW antes da coleta, a média de fosfato (CSS=0,50 ± 0,04 μ mol.L⁻¹; BA=0,51± 0,05 μ mol.L⁻¹) e silicato (CSS=5,09 ± 0,81 μ mol.L⁻¹; BA=4,70 ± 0,66 μ mol.L⁻¹) foi a segunda maior apresentada. Essas condições corroboram com a hipótese de advecção de diazotróficas no CSS, sem atuação da precipitação local.

A turbulência causada pelos ventos ou marés perturbam a formação dos agregados diazotróficos (Moisander *et al.*, 2003), ocasionando competições deste com outros gêneros fitoplanctônicos que possuem taxas superiores de absorção de nutrientes e crescimento (Reynolds, 2006). Águas costeiras geralmente são expostas a estas condições ao longo do ano (i.e. sazonalidade), sendo não favoráveis à fixação de N₂ (Paerl e Zehr, 2000; Paerl *et al.* 2001). Apesar dessas limitações, as diazotróficas são capazes de se beneficiar em determinadas circunstâncias, principalmente em ambientes com insuficiência de nitrogênio, como o CSS.

Portanto, a ocorrência e a coexistência das cianobactérias diazotróficas *Trichodesmium* spp. e *R. intracellularis* em densidades elevadas (máx. 10⁴ tricomas.L⁻¹) no CSS, potencializam o aporte de nitrogênio novo para os ciclos biogeoquímicos locais.

8. CONCLUSÕES

A estrutura da comunidade microfitoplanctônica do Canal de São Sebastião e Baía do Araçá apresentou dois cenários: predomínio da diatomácea cêntrica *Thalassiosira* spp. com maior riqueza de táxons nos meses de inverno e outono; e dominância da diatomácea penata *Pseudonitszchia* spp. com menor riqueza nos meses de primavera e verão. Destacamse como fatores mais importantes para o estabelecimento dessas dominâncias: a temperatura, a velocidade do vento e silicato no caso de *Thalassiosira* spp., e pluviosidade e fosfato no caso de *Pseudo-nitzschia* spp.

A pluviosidade não teve relação direta com a ocorrência das diazotróficas, ainda que, *Trichodesmium* spp. e *Richelia intracellularis* tenham coexistido após os eventos de chuva. Os ventos de SW no CSS indicaram influência na ocorrência das fixadoras, sugerindo advecção de células provenientes de outros locais e sugerindo crescimento favorecido por entradas de fosfato e temperaturas elevadas. Ressalta-se que não ocorreram chuvas substanciais ao longo dos meses de verão, como esperado, e que o panorama apresentado reflete na maioria dos eventos chuvas resultantes de passagens de frentes frias.

9. REFERÊNCIAS

AlgaeBase. Acessado em: www.algaebase.org

AQUINO, E.P.; BORGES, G.C.P.; HONORATO-DA-SILVA, M.; PASSAVANTE, J.Z.O.; CUNHA, M.G.G. Phytoplankton in a tropical estuary, Northeast Brazil: composition and life forms. Check List 11(3): 1633, April, 2015.

AMARAL, A. C. Z.; MIGOTTO, A. E.; TURRA, A.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Araçá: biodiversidade, impactos e ameaças. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 1, p. 219-264. 2010.

AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest: **Centre National pour l'Éxploration des Océans**, 1983.

ANDERSON, A.; HAECKY, P.; HAGSTROEM, A. Effect of temperature and light on the growth of micro, nano and picoplankton: Impact on algal succession. *Mar. Biol.*, 120, 511–520. 1994.

ANDERSON, D.M.; GLIBERT, P. M.; BURKHOLDER, J. M. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. **Estuaries.** August, Volume 25, Issue 4, pp 704-726, 2002.

BALECH, E. Los Dinoflagelados del Atlantico Sudoccidental. Publicaciones Especiales. Instituto Espanol de Oceanografia, vol. 1, Madrid, 309 pp. 1988.

BAR ZEEV, E.L.; YOGEV, T.; AHARONOVICH, D.; BEJA, O.; BERMAN-FRANK, I. Nitrogen contribution to the Mediterranean Sea by the endosymbiotic, nitrogen-fixing, cyanobacterium, *Richelia intracellularis*. **ISME**, 56, 2008.

BIANCHI, T.S. Biogeochemistry of Estuaries. First Edition. Oxford University Press. 704 p., 2007.

BIF, M. B. Influência de parâmetros abióticos e bióticos na ocorrência da cianobactéria *Trichodesmium* no Talude sudoeste do Atlântico Sul. Dissertação de mestrado. Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande, 2015.

BRANDINI, F.P.; MORAES, C.L.B.; THAMM, C.A. Shelf break upwelling, subsurface maxima of chlorophyll and nitrite, and vertical distribution of a subtropical nano - and microplankton community off southeastern Brazil. *In*: Brandini, F.P. (Ed.), *Memórias do III Encontro Brasileiro de Plâncton*. UFPR, Caiobá, pp. 47-56, 1989.

BRASIL-LIMA, G. M. S. de S. Efeitos do efluente doméstico do emissário submarino de São Sebastião (SP), sobre o fitoplâncton marinho: estudos de

campo e de laboratório. 1998. 160f. Tese (Doutorado Oceanogreafia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

CAPONE, D. G. Marine nitrogen fixation: what's the fuss? **Curr. Opin. Microbiol**. 4, 341–348, 2001.

CAPONE, D. G.; ZEHR, J. P.; PAERL, H. W.; BERGMAN, B.; CARPENTER, E. J. *Trichodesmium*, a globally significant marine cyanobacterium. **Science**, 276, 1221–1229, 1997.

CAPONE, D. G.; BURNS, J. A.; MAHAFFEY, C. L.; GUNDERSON, T.; MICHAELS, A. F.; MONTOYA, J. P.; SUBRAMANIAM A.; CARPENTER, E. J. Nitrogen fixation by Trichodesmium spp.: An important source of new nitrogen to the tropical and sub-tropical North Atlantic Ocean. **Glob. Biogeochem. Cycles** 19, 2005.

CARPENTER, E. J., PRICE, C. C. Marine Oscillatoria (Trichodesmium), explanation for aerobic nitrogen fixation without heterocysts. Science, 191:1278-1280, 1977.

CARPENTER, E. J. Nitrogen fixation by marine Oscillatoria (Tricho- desmium) in the world's oceans, in Nitrogen in the Marine Environment, edited by E. J. Carpenter and D. G. Capone, pp. 65–103, *Elsevier*, New York, 1983.

CARPENTER, E. J.; ROMANS, K. Major role of the cyanobacterium *Trichodesmium* in nutrient cycling in the North Atlantic Ocean. **Science**, 254: 1356–1358, 1991.

CARPENTER, E. J.; CAPONE, D. G. Nitrogen fixation in Trichodesmium blooms. In: Carpenter EJ, Capone DG & Rueter J (Eds) *Marine Pelagic Cyanobacteria: Trichodesmium and Other Diazotrophs*, pp 211–217, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1992.

CARPENTER, E. J.; MONTOYA, J. P.; BURNS, J.; MULHOLLAND, M.; SUBRAMANIAM, A.; CAPONE, D. G. Extensive bloom of a N2 fixing symbiotic association in the tropical Atlantic Ocean. *Mar Ecol Prog Ser*, 188:273-283, 1999.

CARPENTER, E. J.; SUBRAMANIAM, A.; CAPONE, D. G. Biomass and primary productivity of the cyanobacterium *Trichodesmium* spp. in the Tropical N Atlantic ocean. *Deep-Sea Res PT I.*, 51: 173-203, 2004.

CARVALHO, M.; GIANESSELA, S. M. F.; SALDANHA-CORRÊA, F. M. P. *Trichodesmium erythraeum* Bloom on the continental Shelf off Santos, Southeast Brazil. *Braz. J. Oceanogr.*, 56: 307-311, 2008.

CASTRO, B. M., L. B. MIRANDA, S. Y. MIYAO. Condições idrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 35 (2), p. 135-151, 1987.

CASTRO, B. M. Correntes e Massas de água da Plataforma Continental Norte de São Paulo. *Tese de Livre Docência, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo*, São Paulo, SP, p. 194, 1996.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Hydrographic properties in the São Sebastião Channel: observed in March 1980. Revista Brasileira de Oceanografia, v. 46, n. 2, p. 111-123, 1998.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B.; SILVA, L. S.; FONTES, R. F. C.; PEREIRA, A. F.; COELHO, A. L. Processos físicos: Hidrografia, circulação e Transporte. In: PIRES-VANIN, A. M. S. (org.) **Oceanografia de um ecossistema subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP**. São Paulo: Edusp, Parte II, cap. 2, p. 59-121, 2008.

CLOERN, J.E. Does the benthos control phytoplankton biomass in South San Francisco Bay (USA)? *Marine Ecology Progress Series* 9: 191–202, 1982.

CLOERN, J. E., Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries, *Cont. ShelfRes.*, 7, 1367-1381, 1987.

CLOERN, J.E. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: a review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Reviews of Geophysics*, 34, 2, 127-168, 1996.

COELHO, A. L. Massas de água e circulação no Canal de São Sebastião (SP). *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 244, 1997.

COELHO, A. L. Respostas da Plataforma Continental Sudeste a ventos sazonais e sinóticos de verão: estudos numéricos. *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 188, 2008.

CPTEC/INPE, 2014 Acessado em :http://www.cptec.inpe.br/

CPTEC/INPE, 2015 Acessado em :http://www.cptec.inpe.br/

CUPP, E.E. Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. In: Sverdrup, H.U., Fleming, R.H., Miller, L.H., Zobell, C.E. (eds.), *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography of the University of California La Holla*, V. 5, California, 238 pp. 1943.

DETONI, A.M.S.; COSTA, L.D.F.; PACHECOB, L.A.; YUNESB, J.S. Toxic Trichodesmium bloom occurrence in the southwestern South Atlantic Ocean. Short communication. **Toxicon**, 2016.

DUGDALE, R. C. Nutrient limitation in the sea dynamics, identification, and significance **Limnol Oceanogr**, 12, 685-695, 1967.

ESTRADA, M., MARGALEF, R. Supply of nutrients to the Mediterranean photic zone across a persistent front. Oceanol. Acta, 9, Spec. issue: 133-142, 1988.

ESTRADA, E; MARGALEF, the Mediterranean photic zone along a persistent front. *Oceanol Acta*, 9, SP, p.133–142, 1988. 1988

FERNANDES, L.F.; BRANDINI, F.P. Diatom associations in shelf waters off Parana State, Southern Brazil: annual variation in relation to environmental factors. Brazilian Journal of Oceanography, n. 1, p. 19-34, 2004.

FERNANDES, L.F; BRANDINI, F.P. The potentially toxic diatom Pseudonitzschia H. Peragallo in the Paraná and Santa Catarina States, Southern Brazil. IHERINGIA, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 65, n. 1, p. 47-62, junho 2010.

FERRARIO, M. E.; VILLAFAÑE, V.; HELBLING, W. HANSEN, O. H. The occurrence of the symbiont *Richellia* in *Rhizosolenia* and *Hemiaulus* in the North Pacific. *Rev. Brasil. Biol*, 55(3), 439-443, 1995.

FOGG, G.E. in: N. G. Carr, B. A. Whitton (eds) The Biology of Blue-Green Algae. Univ. of California Press, Berkeley, 368 pp.,1973.

Follmi, k. b. The phosphorus cycle, phosphogenesis and marine phosphate-rich deposits. Earth Sci. Rev. V.40, p.55-124, 1996.

FOSTER, R. A.; O'MULLAN, G. D. Nitrogen-Fixing and Nitrifying symbioses in the Marine Environment. *Lamont-Doherty Earth Observatory Columbia University* 2008

FOSTER, R. A.; CAPONE, D. G.; CARPENTER, E. J.; MAHAFFEY, C.; SUBRAMANIAM, A.; ZEHR, J. P. Influence of the Amazon River plume on distributions of free-living and symbiotic cyanobacteria in the western tropical north Atlantic Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 52, 517–532, 2007.

FOSTER, R. A.; O'MULLAN, G. D. Nitrogen-fixing and nitrifying Symbioses in the marine environment, in: Nitrogen in the Marine Environment, edited by: Capone, D. G., Bronk, D. A., Mulholland, M. R., and Carpenter, E. J., Academic Press, London, 1197–1218, 2008.

FOSTER, R. A.; PAYTAN, A.; ZEHR, J. P. Seasonality of N2 fixation and *nifH* gene diversity in the Gulf of Aqaba (Red Sea). *Limnol. Oceanogr.*, 54, 219–233, 2009.

FOSTER, R.A.; KUYPERS, M.M.M.; VAGNER, T.; PAERL, R.W.; MUSAT, N.; ZEHR, J.P. Nitrogen fixation and transfer in diatom-cyanobacterial symbioses. **ISME**, 26, 2011.

GAETA, S. A.; RIBEIRO, S. M. S.; METZLER, P. M.; FRANCOS, M. S.; ABE, D. S. Environmental forcing on phytoplankton biomass and primary productivity of the coastal ecosystem in Ubatuba region, southern Brazil. *Rev. bras. oceanogr*., 47(1):11-27, 1999

GALON, J.R.; CHAPLIN, A.E. Recent studies on N2-fixation by nonheterocistous cyanobacteria. *In*: BOTHE, H., DE BRUYN, F. J. & NEWTON, W. E. (eds.) **Nitrogen fixation: hundred years after**. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 183-188, 1988.

GARRIDO, M.; KOECK, B.; GOFFART, A.; COLLIGNON, A.; HECQ, J-H.; AGOSTINI, S.; MARCHAND, B; LEJEUNE, P.; PASQUALINI, V. Contrasting Patterns of Phytoplankton Assemblages in Two Coastal Ecosystems in Relation to Environmental Factors (Corsica, NW Mediterranean Sea). *Diversity*, 6, p. 296-322, 2014.

GEOHAB. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Science Plan. P. Glibert and G. Pitcher (eds). SCOR and IOC, Baltimore and Paris. 87 pp., 2001.

GIANESELLA-GALVÃO, S.M.F.; COSTA, M.P.F.; KUTNER, M.B.B. Bloom of Oscillatoria (*Trichodesmium*) *erythraea* (Ehr.) Kutz. in coastal waters of the Southern Atlantic. **Publ. Esp. Inst. Oceanogr**., 11: 133-140, 1995.

GÓMEZ, F.; FURUYA, K.; TAKEDA S. Distribution of the cyanobacterium *Richelia intracellularis* as an epiphyte of the diatom *Chaetoceros compressus* in the western Pacific Ocean. **Journal of Plankton Research**, 27 pp. 323–330, 2005.

GROSSE, J.; BOMBAR, D.; HAI NHU, D.; LAM NGOC, N.; VOSS, M. The Mekong River plume fuels nitrogen fixation and determines phytoplankton species distribution in the South China Sea during low- and high-discharge season. **Limnol. Oceanogr**., 55, 1668–1680, 2010.

GUBITOSO, S.; DULEBA, W.; TEODORO, A. C.; PRADA, S. M.; ROCHA, M. M.; LAMPARELLI, C. C.; BEVILACQUA, J. E.; MOURA, D. O. Estudo geoambiental da região circunjacente ao emissário submarino de esgoto do Araçá, São Sebastião (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v.33, n.3, p.467-475. 2008.

HALLEGRAEFF, G. M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. **Phycologia**: March 1993, Vol. 32, No. 2, pp. 79-99, 1993.

HARTNETT, H.E.; KEIL, R.G.; HEDGES, J.I.; DEVOL, A.H. Influence of oxygen exposure time on organic carbon preservation in continental marine regions. **Nature**, 391, p.572–574, 1998.

HASLE, G. R.; SYVERTSEN, E. E. Marine Diatoms.. In: Thomas, C. R. (ed.), *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press, p. 5-385, 1997.

HASLE, G.R. Are most of the domoic acid producing species of the diatom genus Pseudo-nitzschia cosmopolites? Harmful Algae 1, 137–146, 2002.

HEINBOKEL, J.F. Note: Occurrence of *Richelia intracellularis* (Cyanophyta) within the diatoms *Hemiaulus haukii* and *H. membranaceus* off Hawaii. **Journal of Phycology** 22: 399-403, 2 figs, 1 table, 1986.

HEIMDAL, B. R. Modern coccolithophorids.. In: Tomas, C. R. (ed.), *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press, p. 731-858, 1997.

HOWARTH, R.W; MARINO, R. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades. Limnol. Oceanogr., 51(1, part 2), 2006, 364–376, 2006.

IVERSON, R.L.; CURL JR.,H. C.; O'CONNORS JR., H. B.; KIRK, D.; ZAKAR, K. Summer phytoplankton blooms in Auke Bay, Alaska, driven by wind mixing of the water column. *Limnology and Oceanography* 19, p. 271–278, 1974.

KACZMARSKA, I.; LEGRESLEY, M.M.; MARTIN, J.L.; EHRMAN, J. Diversity of the genus Pseudonitzschia Peragallo in the Quoddy region of the Bay of Fundy, Canada. Harmful Algae, n. 4, p. 1-19, 2005.

KARL, D. M.; LETELIER, R.; HEBEL, D. V.; BIR, D. F.; WINN, C. D. *Trichodesmium* blooms and new nitrogen in the North Pacific Gyre. In *Marine Pelagic Cyanobacteria: Trichodesmium and Other Diazotrophs*, ed. EJ Carpenter, DG Capone, JG Rueter, pp. 219–38, 1992.

KARL, D. M., MICHAELS, A., BERGMAN, B., CAPONE, D. G., CARPENTER, E. J., LETELIER, R., LIPSCHULTZ, F., PAERL, H., SIGMAN, D., AND STAL., L. Dinitrogen fixation in the world's oceans. *Biogeochemistry*. 57, 47–98, 2002.

KIIMOR, B.; REID, F. M. H.et al. An unusual occurrence of *Hemiaulus membranaceus* Cleve (Baccilariophyceae) with *Richelia intracellularis* Schmidt (Cyanophyceae) off the coast of Southern California in October 1976. *Phycologia*, 17, p.162-166. 1978.

KIMOR, B., REID, F.M.H. & JORDAN, J.B. An unusual occurrence of Hemiaulus membranaceus Cleve (Bacillariophyceae) with Richelia intracellularis Schmidt (Cyanophyceae) off the coast of Southern California in October 1976. Phycologia 17: 162-166, 3 figs, 1978.

KIMOR, B.; GORDON, N. Symbiotic associations among the microplankton in oligotrophic marine environments, with special reference to the Gulf of Aquaba, Red Sea. **J. Plankton Res**., 14, 1217–1231, 1992.

KOENING, M.L.; MACÊDO, S.J. Hydrology and phytoplankton community structure at Itamaracá-Pernambuco (Northeast Brazil). Braz. Arch. Biol. Technol. 42(2):381-392, 1999.

KOENING, M.L.; OLIVEIRA, M.S. Estrutura da comunidade fitoplanctônica. In O arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica (D.L. Viana, F.H.V. Hazin & M.A.C Souza, orgs.). SECIR, Brasília, p.116-123, 2009.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern Approach to the Classification System of Cyanophytes (Nostocales). *Archiv Fuer Hydrobiologie*. Supplementband Monographische Beitraege, 82:247-345, 1989. KOMÁREK, J., ANAGNOSTIDIS, K. Oscillatoriales. In: Büdel, B.; Krienitz, L.; Gärtner, G.; Schagerl, M. (eds.). *Süsswasserflora von Mitteleuropa*. Elsevier/Spektrum, Heidelberg, pp. 1-759, 2005.

KVINGE, T. On the special current and water level variation in the Channel of São Sebastião. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 16(1), p. 23-38, 1967

LANGLOIS, R. J.; LAROCHE, J.; RAAB, P. A. Diazotrophic Diversity and Distribution in the Tropical and Sub-tropical Atlantic Ocean. **Appl. Environ. Microbiol.**, 71, 7910–7919, 2005.

LAROCHE, J., BREITBARTH, E. Importance of the diazotrophs as a source of new nitrogen in the ocean. J Sea Res 53:67-91, 2005.

LETELIER, R. M., KARL, D. M. Role of Trichodesmium spp. in the productivity of the subtropical North Pacific Ocean. Mar Ecol-Prog Ser, 133:263-273, 1996.

LUGOMELA, C., LYIMOIAN, B.T.J., SEMESI, A.K. & BERGMAN, B. Trichodesmium in coastal waters of Tanzania: diversity, seasonality, nitrogen and carbon fixation. Hydrobiologia, 477:1–13, 2002.

LUO, Y.W.; DONEY, S. C.; ANDERSON, L. A.; BENAVIDES, M.; BERMAN-FRANK, I.; BODE, A.; BONNET, S.; BOSTRÖM, K. H.; BÖTTJER, D.; CAPONE, D. G.; CARPENTER, E. J.; CHEN, Y. L.; CHURCH, M. J.; DORE, J. E.; FALCÓN, L. I.; FERNÁNDEZ, A.; FOSTER, R. A.; FURUYA, K.; GÓMEZ, F.; GUNDERSEN, K.; HYNES, A. M.; KARL, D. M.; KITAJIMA, S.; LANGLOIS, R. J.; LAROCHE, J.; LETELIER, R. M.; MARAÑÓN, E.; MCGILLICUDDY JR, D. J.; MOISANDER, P. H.; MOORE, C. M.; MOURIÑO-CARBALLIDO, B.; MULHOLLAND, M. R.; J. NEEDOBA, A.; ORCUTT, K. M.; POULTON, A. J.; RAHAV, E.; RAIMBAULT, P.; REES, A. P.; RIEMANN, L.; SHIOZAKI, T.; SUBRAMANIAM, A. ; TYRRELL, T.; TURK-KUBO, K. A.; VARELA, M. T.; VILLAREAL, A.; WEBB, E. A. ; WHITE, A. E.; WU; J.; ZEHR; J. P. Database of diazotrophs in global ocean: abundance, biomass and nitrogen fixation rates. **Earth Syst. Sci. Data**, 4, 47–73, 2012.

LUND, J.W.G.; KIPLING, C. D.; LE CREN, E. The inverted microscope method of estimating algal numbers and statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiology*, 11:143-170, 1958.

MADARIAGA, I. DE; GONZÁLEZ-AZPIRI, L.; VILLATE, F.; ORIVE, E. Plankton responses to hydrological changes induced by freshets in a shallow mesotidal estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 35: 425-434. 1992.

MAFRA, L.L.; FERNANDES, L.F.; PROENÇA, L.A. O. Harmful algae and toxins in Paranaguá bay, Brazil: bases for monitoring. Brazilian Journal of Oceanography, n. 1/2, p. 107-121, 2006.

MAGUE, T. H., WEARE, N. M. Nitrogen fixation in the North Pacific Ocean. **Mar. Biol.**, 24, 109–119, 1974.

MARGALEF, R. Ritmos, fluctuaciones y sucesión. In: Ecología Marina. Ginés, H., Margalef, R. (eds.). Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas. pp. 454-492, 1967.

MARGALEF, R. Life forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologica Acta**, v. 1, n. 4, p. 493-509. 1978.

MARSHALL, H. G. Occurrence of bluegrenn algae (Cyanophyta) in the phytoplankton off the southeastern coast of the United States. J. Plankt. Res., 3, 163-166, 1981

MAZARD, S. L.; FULLER, N. J.; ORCUTT, K. M.; BRIDLE, O.; SCANLAN, D. J. PCR Analysis of the Distribution of Unicellular Cyanobacterial Diazotrophs in the Arabian Sea. **Appl. Environ. Microbiol**. 70, 7355–7364, 2004.

MAZZINI, P. L. F. Correntes Subinerciais na Plataforma Continental Interna entre Peruíbe e São Sebastião: Observações. *Dissertação de Mestrado*, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, p. 112, 2009.

MESQUITA, A.R. Variações do nível médio do mar nas escalas decadal e interdecadal na costa sudeste do Brasil. In: Seminário Sobre Ondas E Marés Oceânicas, 1o, Arraial do Cabo (RJ). *Resumos. Arraial do Cabo*, p. 52-53, 1995.

MIGON, C., SANDRONI, V. Phosphorus in rainwater: partitioning inputs and impact on the surface coastal ocean. Limnol. Oceanogr. 44, 1160–1165, 1999.

MIGON, C.; SANDRONI, V.; BÉTHOUX, J.P. Atmospheric input of anthropogenic phosphorus to the northwest Mediterranean during the oligotrophic season. Marine Environmental Research 52, 5, 413-426, 2001.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M. Variabilidade da circulação e do transporte de volume co Canal de São Sebastião (SP). *Publção. Esp. Inst. Oceanogr.*, (11), 1-9, 1995.

MIRANDA, L. B. Analise de massa de água de plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tom é (RJ) à Ilha de São Sebastião (SP). São Paulo. **Tese (Livre Docência) Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo**, 194 pp, 1982.

MOISANDER, P.H.; STEPPE, T.F.; HALL, N.S.; KUPARINEN, J.; PAERL, H.W. Variability in nitrogen and phosphorus limitation for Baltic Sea phytoplankton during nitrogen-fixing cyanobacterial blooms. Mar Ecol Prog Ser 262: 81–95, 2003.

MOUQUET, N.; MILLER, T. E.; DAUFRESNE, T.; KNEITEL, J. M. Consequences of varying regional heterogeneity in source–sink metacommunities. Oikos 113:481–488, 2006.

MOUTIN, T., VAN DEN BROECK, N., BEKER, B., DUPOUY, C., RIMMELIN, P., LE BOUTEILLER, A. Phosphate availability controls Trichodesmium spp. biomass in the SW Pacific Ocean. Mar Ecol-Prog Ser, 297:15-21, 2005.

MONTEIRO, J.J.F.; LEÇA, E.E., KOENING, M.L., MACEDO S.J. New record of Trichodesmium thiebautii Gomont ex Gomont (Oscillatoriales - Cyanophyta) for the continental shelf of northeast Brazil. Acta Bot Bras, 24, 1104-1106, 2010.

MONTEIRO, J.J.F.; LEÇA, E.E., KOENING, M.L., MACEDO S.J. Distribution and annual variation of Trichodesmium thiebautii Gomont Ex Gomont (Oscillatoriales - cyanophyta) in tropical waters of northeastern Brazil (Western Atlantic). Tropical Oceanography, 40, 319-326, 2012.

NAITHIRITHI, T.C.; LIMA, A.K.A.; CHELLAPPA, T. Occurrence and dominance of an invasive toxin producin marine cyanobacteria into mangrove environment of the Potengi river estuary, in Natal, Rio Grande do Norte State, Brazil. *Arq. C. Mar.*, 38: 19-27, 2005.

NIXON, S.W. Coastal marine eutrophication—a definition, social causes, and future concerns. Ophelia 41, 199–219, 1995.

NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Analysis for Annual 2014, published online January 2015, retrieved on September 29, 2015 fromhttp://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201413.

NORRIS, R. E. Observations on Phytoplankton organisms collected on the N.Z.O.I. Pacific Cruise. **J. Sci.**, 4, 162–168, 1961.

ODEBRECHT, C.; FERRARIO, M.E.; CIOTTI, A.M.; KITZMANN, D.; MOREIRA, M.O.P.; HINZ, F. The distribution of the diatom Pseudo-nitzschia off southern Brazil, and relationships with oceanographic conditions. In: HALLEGRAEFF, G. et al (Ed) INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMFUL ALGAL BLOOMS, 9.,2001, Hobart. Proceedings... Hobart: 2001. p. 42-45, 2001.

PAERL, H. W. Enhancement of marine primary production by nitrogen-enriched acid rain. **Nature**, 315:747-749, 1985.

PAERL, H.W. Dynamics of blue-green algal (Microcystis aeruginosa) blooms in the lower Neuse River, North Carolina: causative factors and potential controls. Univ. North Carolina Water Resources Research Institute Report No. 229. 164 p. Raleigh, NC, 1987.

PAERL, H. W. Emerging role of atmospheric nitrogen deposition in coastal eutrophication: biogeochemical and trophic perspectives. *Can J Fish Aquat Sci*, 50:2254-2269, 1993.

PAERL, H. W. Coastal eutrophication in relation to atmospheric nitrogen deposition: current perspectives. **Ophelia** 41:237-259, 1995.

PAERL, H.W.; ZEHR, J. P. Marine nitrogen fixation. In: Kirchman DL (Ed) *Microbial Ecology of the Oceans,* pp 387–426, Wiley-Liss, 2000.

PAERL, H.W., J.D. BALES, L.W. AUSLEY, C.P. BUZZELLI, L.B. CROWDER, L.A. EBY, J.M. FEAR, M. GO, B.L. PEIERLS, T.L. Richardson, and J. S. Ramus. Ecosystem impacts of 3 sequential hurricanes (Dennis, Floyd and Irene) on the US's largest lagoonal estuary, Pamlico Sound, NC. Proceedings of the National Academy of Science USA 98(10): 5655–5660, 2001.

PAERL, H.W., K.L. ROSSIGNOL, N.S. HALL, B.L. PEIERLS, AND M.S. WETZ. Phytoplankton community indicators of short and longterm ecological change in the anthropogenically and climatically impacted Neuse River Estuary, North Carolina, USA. *Estuaries and Coasts*. 2009.

PAIXAO, S. V. **Transporte de volume e condições hidrográficas no Canal de São Sebastião**. 2008. 210f. Dissertação (Mestrado Oceanografia Física) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

PAYTAN, A.; MCLAUGHLIN, K. The Oceanic Phosphorus Cycle. Chem. Rev., 107, 563-576, 2007.

PERES, A. L. F. Efeito de diferentes massas de água nas classes de tamanho da biomassa fitoplanctônica na região de desembocadura da baía do Araçá (Canal de São Sebastião - SP) durante o verão e inverno de 2012. **Dissertação mestrado**, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto- USP, 56p., 2013.

PROENÇA, L.A.O.; TAMANAHA, M.S.; FONSECA, R.S. Screening the toxicity and toxin content of blooms of the cyanobacterium *Trichodesmium erythraeum* (ehrenberg) in Northeast Brazil. *J. Venom. Anim. Toxins*, 15: 204-215, 2009.

RAVEN, J.A. The iron and molybdenum use efficiencies of plant growth with different energy, carbon and nitrogen sources. New Phytol, 109:279–287, 1988.

REIMERS, C.E. Feedbacks from the sea floor. *Nature* 391, p.536–537, 1998.

REYNOLDS, C.S. Ecology of Phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, 535 pp., 2006.

RICARD, M. Atlas du Phytoplancton Marin. Diatomophycées. CNRS 2, Paris, 297 pp, 1987.

RORIG, L.R.; YUNES, J.S.; KUROSHIMA, K.N.; SCHETINNI, C.A.F.; PEZZUTO, P.R.; PROENÇA, L.A.O. Studies in the Ecology and toxicity of *Trichodesmium* spp. Blooms in southern Brazilian coastal waters. *In*: Reguera, B, Blanco, J, Fernández, ML & Wyatt, T. (eds) Harmful algae. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission. of **UNESCO**. 1: 22-25, 1998a.
RORIG, L.R.; GUIMARÃES, S.C.P.; LUGLI, D.O.; PROENÇA, L.A.O.; MANZONI, G.C.; MARENZI, A.C. Monitoração de microalgas planctônicas potencialmente tóxicas na área de maricultura da enseada de Armação de Itapocoroy - Penha - SC. **Notas tec. Facimar**, 2: 71-79, 1998b.

ROUND, F.E.; CRAWFORD, R.M.; MANN, D.G. *The Diatoms - Biology & Morphology of the genera*. Cambridge University Press. Reprinted 2000.

RYTHER, J. H.; DUNSTAN, W. N. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171, 1008–1013, 1971.

SALDANHA-CORRÊA, F. M. P.; GIANESELLA, S. M. F. Produção Primária e Fitoplâncton. In: PIRES-VANIN, A. M. S. (Ed). Oceanografia de um Ecossistema Subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP. São Paulo: Edusp, Parte III. cap. 3, p. 223-252, 2008.

SAÑUDO-WILHELMY, S. A., KUSTKA, A. B., GOBLER, C. J., HUTCHINS, D. A., YANG, M., LWIZA, K., CARPENTER, E. J. Phosphorus limitation of nitrogen fixation by Trichodesmium in the central Atlantic Ocean. Nature, 411:66-69, 2001.

SATO, S.; PARANAGUÁ, M.N.; ESKINAZA, E. On the mechanism of red tide of *Trichodesmium* in Recife northeastern Brazil, with some considerations of the relation to the human disease, 'Tamandare fever'. **Trab. Inst. Oceanogr. Univ. Recife**, 5: 7-49, 1963.

SATOH, F.; HAMASAKI, K.; TODA, T.; TAGUCHI, T. Summer phytoplankton bloom in Manazuru Harbor, Sagami Bay, central Japan. **Plankton Biol.Ecol**. 47, 73–79, 2000.

SCHOLIN, C.A.; GULLAND, F.; DOUCETTE, G.J.; BENSON, S.; BUSMAN, M.; CHAVEZ, F.; CORDARO, J.; DELONG, E.F.; VOGELAERE, A.D.; HARVEY, J.; HAULENA, M.; LEFEBVRE, K.; LIPSCOMB, T.; LOSCUTOFF, S.; LOWENSTINE, L.J.; MARIN III, R.; MILLER, P.E.; MCLELLAN,W.A.; MOELLER, P.D.R.; POWELL, C.L.; ROWLES, T.; SILVAGNI, P.; SILVER, M.W.; SPRAKER, T.; TRAINER, V.L.; DOLAH, F.M.V. Mortality of sea lions along the central California coast linked to a toxic diatom bloom. Nature 80–84, 2000.

SHIKATA, T.; NAGASOE, S; MATSUBARA, T.; YOSHIKAWA, S; YAMASAKI, Y; SHIMASAKI, Y. OSHIMA, Y. JENKINSON, I. R.; HONJO, T. Factors influencing the initiation of blooms of the raphidophyte Heterosigma akashiwo and the diatom Skeletonema costatum in a port in Japan. *Limnology and Oceanography*, 53, p. 2503–2518, 2008.

SHOAF, W.T.; LIUM, B.W. Improved extraction of chlorophyll a and b from algae using dimethyl sulfoxide. **Limnol. Oceanogr**., 21: 926-928, 1976.

SILVA, L. S.; MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M. Análise de massas de água no Canal de São Sebastião entre fevereiro de 1994 e março de 1995. *Anais Hidrográficos*, Tomo, LXI, 76-99, 2004.

SILVA, L. S.; MIRANDA, L. B.; CASTRO- FILHO, B. M. Numerical study of circulation and thermohaline structure in the São Sebastião Channel. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 407-425. 2005.

SIQUEIRA, A.; KOLM, H. E.; BRANDINI, F. P. Offshore Distribution Patterns of the Cyanobacterium Trichodesmium erythraeum Ehrenberg and Associated Phyto- and Bacterioplankton in the Southern Atlantic Coast (Paraná, Brazil). *Brazilian Archives of Biology and Technology: An International Journal*, 49 (2), p. 323-337, 2006.

SOHM, J. A.; WEBB, E. A.; CAPONE, D. G. Emerging patterns of marine nitrogen fixation. **Nat. Rev. Microbiol.**, 9, 499–508, 2011b.

SOURNIA, A. Les Cyanophycées dans le plankton marin. *Annals of Biology*. 9: 36, p. 63-76, 1970.

SPATHARIS, S.; TSIRTSIS, G.; DANIELIDIS, D.; DO CHI, T.; MOUILLOT, D. Effects of pulsed nutrient inputs on phytoplankton assemblage structure and blooms in an enclosed coastal area. **Estuar. Coastal Shelf** Sci. 73, 807–815, 2007b

SPUNGIN, D.; BERMAN-FRANK, I.; LEVITAN, O. Trichodesmium's strategies to alleviate phosphorus limitation in the future acidified oceans. *Environmental Microbiology*, 16(6), 1935–1947, 2014.

STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *J. Geophys. Res.*, 97(C6), 9507-9520, 1992.

STECH, J.L. Um estudo comparativo da dinâmica da circulação de inverno entre as plataformas continentais das costas sudeste do Brasil e dos Estados Unidos utilizando um modelo numárico. *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

STEIDINGER, K. A.; TANGEN, K. Dinoflagellates. Pp. 387-584. In: Tomas, C. R. (ed.) *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press, San Diego, p.861, 1997.

SUBRAMANIAM, A.; CARPENTER, E. J.; KARENTZ, D.; FALKOWSKI, P. G. Bio-optical properties of the marine diazotrophic cyanobacteria *Trichodesmium* spp. I. Absorption and photosynthetic action spectra. **Limnol. Oceanogr**., 44(3), 1999, 608–617, 1999.

SUBRAMANIAM, A.; Yager, P. L.; Carpenter, E. J.; Mahaffey, C.; Björkmanll, K.; Cooley, S.; Kustka, A. B.; Montoya, J. P.; . Sañudo-Wilhelmy, S. A; Shipe, R.; Capone, D. G. Amazon River enhances diazotrophy and carbon

sequestration in the tropical North Atlantic Ocean. PNAS Direct Submission. vol. 105 no. 30, 10460-10465, 2008.

SUSINI-RIBEIRO, S. M. M.; MAYZA, M.; GAETA, S. Topographical and hydrographical impacts on the structure of microphytoplankton assemblages on the Abrolhos Bank region, Brazil. **Continental Shelf Research**. Volume: 70, 88-96, 2013.

TAYLOR, F. Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition – a Report on Material Collected by the R. V. "Anton Bruun 1963 - 1964", Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Ngele u. Obermiller) (Stuttgart), p.234, 1976.

TAYLOR, F. J. R. Symbioses in marine microplankton. *Annales De L Institut Oceanographique*, 58, p. 61–90, 1982.

TOMAS, C. R. (ed.) *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press, San Diego, p.861, 1997.

TRAINER, V. L.; ADAMS, G.N.; BILL, B.D. STEHR, C.M.; WEKELL J.C.; MOELLER, P.; BUSMAN, M.; WOODRUFF, D. Domoic acid production near California coastal upwelling zones, June 1998. American Society of Limnology and Oceanography, Inc., Limnol. Oceanogr., 45(8), 1818–18332000.

TRÉGUER, P; NELSON, D.M.; VAN BENNEKOM, A.J.; DEMASTER, D.J.; LEYNAERT, A.; QUÉGUINER, B. The silica balance in the world ocean: a reestimate. **Science.** Apr 21;268(5209):375-9, 1995.

TRÉGUER, P. J; LA ROCHA, C. The World Ocean Silica Cycle. Annual Review of **Marine Science**, Vol. 5: 477 -501, 2013.

TYRRELL, T.; MARAÑON, E.; POULTON, A.J.; BOWIE, A.R.; HARBOUR, D.S.; WOODWARD, E.M.S. Large-scale latitudinal distribution of *Trichodesmium* spp. in the Atlantic Ocean. **J. Plankton Res.**, 25: 405-416, 2003.

UTERMÖHL, VON H. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol., 9: 1-38, 1958.

VENRICK, E. L. The distribution and significance of *Richelia intracellularis* in the North Pacific central gyre. **Limnol. Oceangr**. 19, 437–445, 1974.

VILLAC, M.C.; TENENBAUM, D.R. The coastal *Pseudo-nitzschia* from the state of Rio de Janeiro, Brazil. In: Hallegraeff, G.M., Blackburn, S.I., Bolch, C.J. & Lewis, R.J. (eds.), Harmful Algal Blooms 2000, p. 34-37. IOC, Paris., 2001.

VILLAC, M.C.; NORONHA, V.A.P.C.; PINTO, T.O. The phytoplankton biodiversity of the coast of the state of São Paulo, Brazil. **Biota Neotropica**, vol. 8, no. 3, p. 151-173, 2008.

VILLAMARIN, B. C. Alterações morfológicas da Baía do Araçá: Implicações em sua dinâmica. *Monografia de Bacharelado*. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

VILLAREAL, T.A. "Laboratory culture and preliminary characterization of the nitrogen-fixing *Rhizosolenia-Richelia* symbiosis." **Marine Ecology**. 11: 117-132, 1990.

VILLAREAL, T. A. Nitrogen-fixation by the cyanobacterial symbiont of the diatom genus *Hemiaulus*. **Mar. Ecol. Prog. Ser**., 76, 201–204, 1991.

VILLAREAL, T.A. Marine nitrogen-fixing diatom-cyanobacteria symbioses. In **"Marine Pelagic Cyanobacteria:** *Trichodesmium* and Other Diazotrophs." (Carpenter, E. J., Capone, D. G., and Rueter, J. G., eds.). Kluwer, Dordrecht, Netherlands, pp. 163–175, 1992.

VILLAREAL, T. A. Widespread occurrence of the *Hemiaulus*-cyanobacterial symbiosis in the southwest north Atlantic ocean. **Bull. Mar. Sci**. 54, 1–7, 1994.

VILLAREAL T. A.; CARPENTER E.J. Buoyancy regulation and the potential for vertical migration in the oceanic cyanobacterium *Trichodesmium*. **Microb Ecol**. Jan;45(1):1-10. Epub 2002 Dec 17. 2003.

VOSS, M.; BOMBAR, D.; LOICK, N.; DIPPNER, J. W. Riverine influence on nitrogen fixation in the upwelling region off Vietnam, South China Sea. **Geophys. Res. Lett.**, 33, 2006.

WALSBY, A. E. Gas vesicles. **Microbiological Reviews**, Mar. 1994, p. 94-144, 1994.

WELSCHMEYER, N.A. Fluorometric analysis of chlorophyll *a* in the presence of chlorophyll *b* and pheopigments. *Limnol. Oceanogr.*, 39(8): 1985-1992, 1994.

WHITE, A. E.; PRAHL, F. G.; LETELIER, R. M.; POPP, B. N. Summer surface waters in the Gulf of California: Prime habitat for biological N2 fixation. **Global Biogeochem. Cycles**, 21, 2007.

WILSON, C.; VILLAREAL, T. A.; MAXIMENKO, N.; BOGRAD, S. J.; MONTOYA, J. P.; SCHOENBAECHLER, C. A. Biological and physical forcings of late summer chlorophyll blooms at 30 degrees N in the oligotrophic Pacific. **J. Mar. Syst.**, 69, 164–176, 2008.

WINDGURU. Acessado em: http://www.windguru.cz/pt/

WOOD, E.J.F. Dinoflagellates of the Caribbean Sea and Adjacent Areas. University of Miami Press, Miami, 142 pp, 1968.

YEUNG, L. Y.; BERELSON, W. M.; YOUNG, E. D.; PROKOPENKO, M. G.; ROLLINS, N.; COLES, V. J.; MONTOYA, J. P.; CARPETER, E. J.; STEINBERG, D. K.; FOSTER, R. A.; CAPONE, D. G.; YAGER, P.L. Impact of diatom-diazotroph associations on carbon export in the Amazon River plume. *Geophysical Research Letters*, 39, 2012.

ZEEV, E. B.; YOGEV, T.; MAN-AHARONOVICH, D.; KRESS, N.; HERUT, B.; BÉJÀ, O.; BERMAN-FRANK, I. Seasonal dynamics of the endosymbiotic, nitrogen-fixing cyanobacterium Richelia intracellularis in the eastern Mediterranean Sea. *The ISME Journal*, 2, 911–923, 2008.

ZEHR, J. P. Nitrogen fixation by marine cyanobacteria. *Trends Microbiol*, 19, 162–173, 2011.

ANEXOS

Anexo 1



Figura 1 – Climatologia da precipitação acumulada trimestralmente para região do litoral de São Paulo (CPTEC INPE <u>http://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt#inline content</u>) nos meses de janeiro, fevereiro e março em **A**, abril, maio e junho em **B**, julho, agosto e setembro em **C**, outubro, novembro e dezembro em **D**, ao longo de 1981 a 2014. A linha vermelha indica a média trimestral da série climatológica de 1981 a 2010.

APÊNDICES

Apêndice 1



Figura 1 - Variação temporal dos valores de pluviosidade diária (volume acumulado em 24 horas, expresso em barras) e pluviosidade mensal (volume acumulado no mês, expresso em **X**), obtidos através da estação meteorológica do CEBIMar-USP (23°49´25 S e 45°25´18 W), nos meses amostrados entre o período de setembro de 2013 a agosto de 2014. Note que os valores climatológicos para inverno, primavera, verão e outono são 210, 510, 690 e 260 mm.

Apêndice 2





Figura 2 - Velocidade (Km/h) e direção (0-360°) do vento, e frequência com que ocorreram (círculos pontilhados), durante as campanhas em ordem sequencial: a) 29/08/2013 a 05/09/2013; b) 17 a 24/10/13; c) 29/10/13 a 05/12/13; d) 09-16/01/14; e) 02-17/04/14; f) 09-26/05/14, g) 9-16/06/14; h)01-08/08/14, incluindo até cinco dias antes do início das coletas.

Tabela 1 - Período de coleta e suas respectivas marés (quadratura/sizígia), descrições das variações do nível do mar (m), amplitude total, e correlação (análise de Spearman) dos valores do nível do mar com as componente u e v do vento, destaque em negrito os valores significativos (p<0,05):

Evento	Maró	Máximo	Mínimo	Amplitude	Correlação Spe	arman vento
Lvento	Wate	(m)	(m)	Total (m)	Comp. u	Comp. v
03-05 set 2013	Sizígia	0,99	-0,45	1.441	r=0,03	r=0,3
22-24 out 2013	Quadratura	0,63	-0,19	0.824	r= -0,08	r=-0,1
03-05 dez 2013	Sizígia	0,49	-0,51	1.002	r=0,4	r=0,4
14-16 jan 2014	Sizígia	0,57	-0,47	1.045	r=0,2	r= -0,09
07-18 abr 2014	Quadratura/ Sizígia	0,91	-0,76	1.889	r = -0,1	r= -0,1
14-17 mai 2014	Sizígia	0,47	-0,786	1.261	r= -0,1	r=0,1
20-26 mai 2014	Quadratura	0,54	-0,55	1.088	r= -0,2	r= -0,09
24-26 jun 2014	Sizígia	0,5	-0,32	0.825	r=0,1	-
06-08 ago 2014	Quadratura	0,49	0,48	0.94	r=0,4	r= -0,07

Tabela 2 – Valores de média e desvio padrão das variáveis físico-químicas (Temperatura, Salinidade, Amônia, Nitrito, Nitrato, Fosfato e Silicato) e clorofila-a, de cada evento na superfície (1m) nos pontos do Canal de São Sebastião (CSS) e Baía do Araçá (BA):

		EI	E2	8	E4	9	E6	E7	83	63
Variável	Unidade	CSS	CSS							
Temperatura	Ĵ	19,7 (± 0,37)	23,6 (± 0,28)	25,0 (± 0,72)	29,1 (± 0,30)	26,1 (± 0,60)	24,8 (± 0,36)	24,2 (± 0,29)	22,5 (± 0,22)	21,6 (± 0,18)
Salinidade		30,92 (± 0,05)	32,27 (± 0,25)	34,98 (± 0,13)	34,44 (± 0,18)	35,18 (± 0,24)	35,08 (± 0,17)	34,60 (± 0,23)	34,19 (±0,17)	34,76 (±0,08)
Amônia	µmol.L ^{*1}	1,162 (± 1,18)	0,55 (± 1,26)	0,67 (± 0,39)	0,77 (± 0,24)	1,34 (± 1,45)	0,28 (± 0,11)	0,56 (± 0,39)	0,99 (± 1,79)	0,37 (± 0,13)
Nitrito	μmol.L ⁻¹	0,208 (± 0,03)	0,12 (± 0,06)	0,09 (± 0,03)	0,14 (± 0,04)	0,23 (± 0,07)	0,09 (± 0,01)	0,19 (± 0,09)	0,28 (± 0,08)	0,12 (± 0,03)
Nitrato	µmol.L ^{*1}	0,98 (± 0,51)	0,27 (± 0,13)	0,27 (± 0,18)	0,22 (± 0,06)	0,36 (± 0,15)	0,16 (± 0,05)	0,43 (± 0,20)	0,55 (± 0,09)	0,25 (± 0,04)
Fosfato	µmol.L ⁻¹	0,39 (± 0,07)	0,36 (± 0,08)	0,43 (± 0,12)	0,64 (± 0,31)	0,43 (± 0,15)	0,25 (± 0,21)	0,36 (± 0,17)	0,50 (± 0,04)	0,35 (± 0,02)
Silicato	µmol.L ⁷¹	5,09 (± 1,13)	4,81 (± 1,42)	3,02 (± 1,28)	3,42 (± 0,42)	3,29 (± 0,59)	2,36 (± 1,12)	3,88 (±1,56)	5,09 (± 0,81)	2,27 (± 0,45)
Clorofila total	mg.m ^{-s}	2,42 (± 0,46)	1,14 (± 0,21)	0,96 (± 0,17)	1,52 (± 0,39)	2,86 (± 2,11)	1,45 (± 0,47)	1,93 (± 0,31)	2,5 (± 0,51)	2 (± 0,38)
		BA	BA							
Temperatura	Ĵ	20,1 (± 0,94)	23,4 (± 0,62)	24,7 (± 0,37)	28,9 (± 0,36)	26,0 (± 0,51)	24,8 (± 0,15)	24,0 (± 0,27)	22,4 (± 0,39)	21,5 (± 0,31)
Salinidade		30,97 (± 0,17)	32,69 (± 0,24)	34,93 (± 0,21)	34,50 (± 0,32)	35,13 (± 0,52)	35,08 (± 0,12)	34,61(±0,29)	34,14 (± 0,12)	34,75 (±0,19)
Amônia	µmol.L ^{*1}	0,25 (± 1,07)	0,16 (± 0,04)	0,17 (± 0,03)	0,38 (± 0,16)	0,46 (± 0,10)	0,25 (± 0,21)	0,50 (± 0,45)	0,19 (± 0,12)	0,14 (± 0,02)
Nitrito	µmol.L ⁻¹	0,102 (± 0,05)	0,07 (± 0,01)	0,05 (± 0,07)	0,03 (± 0,02)	0,13 (± 0,04)	0,13 (± 0,07)	0,11 (± 0,03)	0,10 (± 0,02)	0,11 (± 0,01)
Nitrato	µmol.L ^{*1}	0,29 (± 0,107)	0,18 (± 0,05)	0,08 (± 0,07)	0,09 (± 0,08)	0,21 (± 0,12)	0,24 (± 0,08)	0,20 (± 0,06)	0,29 (± 0,03)	0,22 (± 0,03)
Fosfato	µmol.L ⁻¹	0,132 (± 0,04)	0,25 (± 0,08)	0,26 (± 0,06)	0,46 (± 0,22)	0,31 (± 0,12)	0,27 (± 0,17)	0,34 (± 0,12)	0,51 (± 0,05)	0,36 (± 0,02)
Silicato	μmol.L ⁻¹	4,25 (± 1,06)	3,16 (± 0,51)	2,20 (± 1,09)	2,74 (± 0,29)	2,39 (±0,92)	2,00 (± 1,21)	3,97 (± 1,07)	4,70 (± 0,66)	2,47 (± 0,60)
Clorofila total	mg.m_s	4,96 (±1,79)	2,02 (± 0,34)	1,92 (± 1,12)	3,09 (±0,77)	2,96 (± 1,12)	2,17 (± 0,89)	2,59 (± 1,25)	2,36 (± 0,35)	2,23 (± 0,35)



Figura 3 – Perfis de CTD em cada evento, variação da Temperatura e Salinidade na coluna de água em cada evento (E1-E9) nos pontos do Canal de São Sebastião e Baía do Araçá.

Lista de táxons identificados no Canal de São Sebastião e Baía do Araçá:

DIVISÃO BACILLARIOPHYTA Classe Coscinodiscophyceae Ordem Thalassiosirales Família Thalassiosiraceae Thalassiosira rotula Thalassiosira sp.1 Thalassiosira sp.2 Thalassiosira sp.3 Thalassiosira sp.4 Thalassiosira spp. Família Skeletonemataceae Detonula pumila Skeletonema cf. costatum Família Stephanodiscaceae *Cyclotella* spp. Cyclotella striata Cyclotella stylorum Cyclotella litorallis Familia Lauderiaceae Lauderia spp. **Order Melosirales** Família Stephanopyxidaceae Stephanopyxis turris **Ordem Paralilaes** Família Paraleaceae Paralia sulcata **Ordem Coscinodiscales** Família Coscinodiscaceae Coscinodiscus cf. asteromphalus Coscinodiscus granii Coscinodiscus spp. Coscinodiscus wailesii Família Heliopeltaceae Actinoptychus senarius **Ordem Asterolamprales** Familia Asterolampraceae Asteromphalus cf. flabellatus **Ordem Triceratiales** Familia Plagiogrammaceae Plagiogramma spp. Familia Triceratiaceae Odontella aurita Odontella mobiliensis Odontella sinensis Odontella spp.

Triceratium favus Triceratium spp. Família Biddulphiaceae Biddulphia spp. Família Hemiaulaceae Climacodium frauenfeldianum Cerataulina pelagica Hemiaulus membranaceus Hemiaulus hauckii Hemiaulus sinensis Eucampia cornuta Eucampia zodiacus **Ordem Lithodesmiales** Família Lithodesmiaceae Lithodesmium spp. Lithodesmium undulatum Ditylum brightwellii Helicotheca tamesis **Ordem Rhizosoleniales** Família Rhizosoleniaceae Dactyliosolen fragilissimus Guinardia spp. Guinardia flaccida Guinardia delicatula Guinardia striata Proboscia alata Rhizosolenia spp. Rhizosolenia hebetata Rhizosolenia hyalina Rhizosolenia pungens Rhizosolenia setigera Rhizosolenia styliformis Rhizosolenia robusta **Ordem Chaetocerales** Família Chaetocerotaceae Bacteriastrum spp. Bacteriastrum delicatulum Chaetoceros aequatorialles Chaetoceros affinis Chaetoceros cf. brevis Chaetoceros cf. concavicornis Chaetoceros compressus Chaetoceros curvisetus Chaetoceros cf. debilis Chaetoceros danicus Chaetoceros decipiens

Chaetoceros dydimus Chaetocerus lorenzianus Chaetoceros peruvianus Chaetoceros subtitilis Chaetoceros sp. 1 Chaetoceros spp. **Ordem Leptocylindrales** Família Leptocylindraceae Leptocilyndrus danicus Leptocilyndrus minimus Família Corethraceae Corethron spp. **Classe Fragilariophyceae Ordem Fragilariaceae** Família Fragilariaceae Asterionellopsis glacialis Fragilaria spp. Fragilariaceae **Order Achnanthales** Familia Cocconeidaceae Cocconeis spp. **Order Rhaphoneidales** Familia Rhaphoneidaceae Delphineis spp. Rhaphoneis spp. **Ordem Thlassionematales** Família Thalassionemataceae Lioloma pacificum Thalassionema frauenfeldii Thalassionema nitzschioides Thalassionema spp. Thalassionemataceae Thalassiothrix spp. **Ordem Licmophorales** Família Licmophoraceae *Licmophora* spp. **Ordem Naviculales** Familia Diploneidaceae Diploneis spp. Diploneis sp.1 Diploneis sp.2 Diploneis sp.3 Família Naviculaceae Haslea wawrikae Haslea spp. Haslea sp.1 Meuniera membranaceus Navicula spp. Naviculaceae Família Pleurosigmataceae Complexo "Pleurosigma/Gyrosigma" Família Stauroneidaceae

Stauroneis spp. **Ordem Thalassiophysales** Família Catenulaceae Amphora cf. arenaria **Ordem Bacillariales** Família Bacillariaceae Bacillaria paxilifera Cylindrotheca closterium Denticula spp. Fragilariopsis doliulus Nitzschia constricta Nitzschia longissima Nitzschia lorenziana Nitzschia morphotype nitzschiella Pseudo-nitszchia spp. Pseudo-nitszchia "seiata" sp.1 Pseudo-nitszchia "seiata" sp. 2 Pseudo-nitszchia "delicatissima" sp.1

DIVISÃO DINOFLAGELLATA

Classe Dinophyceae Ordem Gymnodiniales Família Gymnodiniaceae Gymnodiniales Gymnodinium spp. Gyrodinium spp. Amphidinium spp. **Ordem Dinophysiales** Família Dinophysaceae Dynophysis acuminata Dynophysis caudata Dynophysis cf. microstigiliformis Dynphysis cf. ovum Dynophysis tripos Dynophysis spp. **Ordem Gonyaulacales** Família Ceratiaceae Tripos spp. Tripos azoricum Tripos candelabrum Stein Tripos declinatum var. declinatum Tripos furca Tripos fusus Tripos hircus Tripos horridum Tripos trichoceros Tripos tripos Família Goniodomataceae Alexandrium spp. Família Gonyaulacaceae Gonoyaulux spp. Família Pyrophacaceae

Pyrophacus spp. **Ordem Peridiniales** Família Peridiniaceae Subfamília Calciodinelloideae Scrippsiella spinifera Scrippsiella trochoidea Scrippsiella spp. Família Heterocapsaceae Heterocapsa spp. Heterocapsa sp. 1 Heterocapsa sp. 2 Heterocapsa sp. 3 Família Oxytoxaceae Oxytoxum spp. Oxytoxum scolopax Família Podolampaceae Podolampas spp. Podolampas palmipes Família Protoperidiniaceae Protoperidinium spp. Protoperidinium cassum *Protoperidinium* cf. *curtipes* Protoperidinium divergens Protoperidinium leonis Protoperidinium mariaeleboriae Protoperidinium parviventer Protoperidinium pentagonum Protoperidinium steinii **Ordem Prorocentrales** Família Prorocentraceae Prorocentrum balticum Prorocentrum compressum Prorocentrum gracile Prorocentrum micans Prorocentrum minimum Prorocentrum scutellum Prorocentrum spp. **Ordem Pyrocystales** Família Pyrocystaceae

Pyrocystis lunula

DIVISÃO CROMOPHYTA

Classe Dictyochophyceae Ordem Dictyochales Família Dictyochaceae Dictyocha spp. Dictyocha fibula Octactis octonaria

DIVISÃO HAPTOPHYTA

Classe Coccolithophyceae Subclasse Prymnesiophycidae Ordem Coccolithales Família Calcidiscaceae Umbilicosphaera spp. Ordem Syracosphaerales Família Syracosphaeraceae Syracosphaera spp. Família Calciosoleniaceae Anaplosenia brasiliensis

DIVISÃO CIANOBACTERIA

Classe Cyanophyceae Subclasse Oscillatoriophycideae **Ordem Oscillatoriales** Família Oscillatoriaceae Oscillatoria spp. Subclasse Synechococcophycideae **Ordem Pseudanabaenales** Família Pseudanabaenaceae Subfamília Pseudanabaenoideae Pseudanabaena spp. Subclasse Oscillatoriophycideae **Ordem Oscillatoriales** Família Phormidiaceae Subfamília Phormidioideae Trichodesmium spp. Subclasse Nostocophycideae **Ordem Nostocales** Família Nostocaceae Richelia intracellularis