UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FFCLRP – DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA COMPARADA

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

ANA LUÍZA DE FARIA PERES

Dissertação apresentada à Faculdade de
Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto
da USP, como parte das exigências para
obtenção de título de Mestre em Ciências -
Área: Biologia Comparada

RIBEIRÃO PRETO

2013

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FFCLRP – DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA COMPARADA

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

“Versão Corrigida”

Ana Luíza de Faria Peres
Orientadora: Profa. Dra. Áurea Maria Ciotti

Dissertação apresentada à Faculdade de
Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto
da USP, como parte das exigências para
obtenção de título de Mestre em Ciências -
Área: Biologia Comparada

Ribeirão Preto
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E/OU DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Peres, Ana Luíza de Faria

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.

Ribeirão Preto, 2013.

57 p. : il. ; 30 cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP.

Área de concentração: Biologia Comparada.

Orientadora: Ciotti, Áurea Maria.

1. ACAS.
2. Tamanho Fitoplanctônico.
3. Sistemas Frontais.
4. Canal de São Sebastião.

FOLHA APROVAÇÃO

Ana Luíza de Faria Peres

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 apresentada à Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da USP, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Ciências - Área: Biologia Comparada

Orientadora: Profa. Dra. Áurea Maria Ciotti

Aprovado em: ____/____/____

Banca examinadora

Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof(a). Dr(a).: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

*Dedico à minha família
de sangue e coração,
presentes no físico e
em pensamento.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro (Processo 2011/14984-7).

À Profa Áurea Maria Ciotti por me acolher, ensinar e encaminhar. Obrigada pela oportunidade de crescimento e aprendizado, em todos os sentidos. E principalmente pelo “padrão de qualidade Ciotti”, que levarei para toda a vida.

À todos do Laboratório Aquarela: André Francisco "Monte" Bucci (pela existência de todos vocês), Bianca Reis Castalde "Bibi" Tocci (por todo o rock n' roll), Maria Fernanda “Caju” Giannini (pelos 427 lançamentos do Free Fall), Ana Carolina “Nervo” Mazzuco (por toda a sua calma), Daniel Schaffer “Gaúcho” Jorge (pelos resgates desesperados), Amábil Ferreira (pelo Kd no fim do túnel), Amália Detoni (pela risada inconfundível), Luis Felipe Gusmão (pelos conselhos e animação), Ronaldo Christofolletti (pela ajuda no início, meio e fim), Carla Berlocher (pelas palavras de tranquilidade), Pollery e Cia (por toda a ajuda e colaboração). E desculpas oficiais pelos hadoukens

Obrigada também a todos os que passaram pelo laboratório e de alguma forma contribuíram para este trabalho: Levanta, Futurama, Tico, Cabaço, For, Bodeia, Marina, Sr.Zé e Rodrigo. Obrigada por todos os colos, socorros, risadas, cafés, chocolates. Agradeço à São Pedro por permitir a realização de todas as coletas de inverno.

Agradecimento especial aos meus Karmas 1 (Monte) e 2 (Bibi) por me deixarem chorar quando precisei e me fazerem engolir o choro quando necessário, por me ajudarem a controlar e lidar com a "outra" Ana Lu, por me socorrerem nos momentos de hipotermia e aguentarem toda a “nerdisse”. E agradeço por existirem Karmas que a gente leva por toda e todas as vidas. Esses são dois que eu nunca vou abandonar (me aguentem, sou o Karma 3). Até os Elíseos! Amo vocês.

Aos técnicos do CEBIMAR Zé, sr Elso, Edu e Joseph por toda a ajuda e paciência despendida. Sem vocês este trabalho não seria possível.

Aos funcionários da biblioteca do CEBIMAR Virginia e Wagney pela ajuda e socorro nos momentos críticos.

À todos os funcionários do CEBIMAR que de maneira direta ou indireta possibilitaram a realização deste trabalho. Obrigada por toda a ajuda.

Aos amigos do CEBIMAR (com certeza vou esquecer de alguém...) por esses dois anos de amizade e companheirismo, que foram indispensáveis para a conclusão desse trabalho.

Às secretarias da pós Graduação da Biologia Comparada Vera e Renata pela competência descomunal e salva-vidas de todos os momentos.

Ao Dr. Ricardo Pollery da Universidade Federal do Rio de Janeiro pelo processamento e auxílio na interpretação dos dados de nutrientes.

Ao Prof. Joseph Harari, por revisar e ceder os dados meteorológicos da estação de Ubatuba do Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo (IO-USP).

Ao Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo (IAC), pelos dados meteorológicos da estação do sul de Ilha Bela.

À NASA Ocean Color e ao Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (POODAC), pela disponibilização das imagens de temperatura superficial do mar

Aos amigos de todos os cantos que por algum motivo me mantiveram lúcida nesses dois anos: Forrest (por sua estrela de quatro pontas), Celena, Dé e Carlito (pela longa amizade), Mô (pelo miga de sempre), Tatu (pelos dias de anime), Tchurma bio04 (por sempre estarem lá), Pitoco (pelos abraços carinhosos), Bea (pela coragem de conviver comigo neste último mês), Sayão (pela reza braba), “Tio” Mike (por mostrar que a vida pode ser sempre mais leve).

Às minhas filhas de patas e pêlos Gaia, Pitty e Catarina por me lembrarem, nos momentos de desespero, o porquê de tudo isso.

À minha família, por sempre estarem do meu lado, mesmo longe. Pela confiança, carinho e por serem a base de minha vida. Amo vocês.

Namastê!

“Domínio soberano sobre a força bruta, triunfo embriagador do organismo vivo sobre as forças elementares do inorgânico”

Konrad Lorenz

“Falava com as bestas, as aves e os peixes”

RESUMO

O estudo ocorreu durante o verão e inverno do Canal de São Sebastião e Baía do Araçá, com o objetivo de analisar a influência da massa de Água Central do Atlântico Sul (ACAS), marés e passagens de sistemas frontais na estrutura de tamanho fitoplanctônico, representada pela concentração de clorofila-a nas classes de tamanho do micro, nano e picofitoplâncton. Para tanto foram realizadas coletas semanais, para a obtenção de dados físico-químicos e concentração de clorofila-a. O Canal de São Sebastião foi considerado um sistema em três estratos de profundidade no verão, aonde os eventos episódicos de entrada de ACAS se apresentou de forma variada, trazendo concentrações de nutrientes de baixas a moderadas. No verão, a ACAS foi responsável pela maior quantidade de nitrato, possibilitando um pequeno acúmulo de biomassa da classe do microfitoplâncton, igualando-a a aquela do nanofitoplâncton. No inverno, o silicato, provindo da baía do Araçá, permaneceu com concentrações altas sugerindo o rápido consumo dos outros compostos. As baixas concentrações de nutrientes na baía indicam um alto consumo local. No inverno, com a coluna de água homogênea, devido à mistura, e a entrada de uma menor concentração de nutrientes, porém constante pela Água Costeira, o nanofitoplâncton se sobressaiu em relação às outras classes de tamanho e promoveu a maior concentração de clorofila-a. Os pontos mais rasos amostrados apresentaram maior variabilidade na concentração de clorofila-a em relação aos pontos mais profundos. Isso sugere que tanto a produção como a retirada da clorofila-a ocorram em uma escala temporal menor quanto menor a profundidade.

Palavras-chave: ACAS, Tamanho fitoplanctônico, Sistemas frontais, Canal de São Sebastião.

ABSTRACT

This study was conducted in São Sebastião Channel and Araçá Bay during summer and winter months in 2012 to analyze the influence of the South Atlantic Central Water (SACW), tides and passage of cold fronts in the phytoplankton size structure, represented by size classes chlorophyll-a concentration of micro, nano and picophytoplankton. Physical and chemical data, as well as chlorophyll-a concentration samples were collected weekly. The São Sebastião Channel was considered a three depth layer system in the Summer, when episodic and variable events of SACW intrusions brought low to moderate nutrients contents. In the Summer, SACW was responsible of the larger nitrate concentration observed, providing a small accumulation of microphytoplankton class biomass, that was equivalent to that of nanophytoplankton. In the Winter, the high silicate concentration was observed in Araçá Bay, suggesting a quickly consumption of other compounds. The overall low nutrient concentration in the Araçá bay suggests a high local consumption. With a homogeneous water column due to mixing, and a probably lower but constant input of nutrients by the Coastal Water mass, the nanophytoplankton predominated over the other size classes and drove the observed higher chlorophyll-a concentration in the Winter. The shallower stations showed a bigger chlorophyll-a concentration variability than the deeper stations, suggesting that both production and removal of chlorophyll-a happen in a smaller temporal scale near shore.

Keywords: SACW, phytoplankton size, frontal system, São Sebastião Channel

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do Canal de São Sebastião e pontos amostrados. Transecto de P1 a P5, partindo de Ilha Bela à Baía do Araçá. A localização dos pontos mostrada representa o transecto realizado no dia 23/01/2012..... **08**
- Figura 2.** Representação do Canal de São Sebastião em três estratos com os respectivos intervalos de profundidade. Os pontos foram intitulados de 1 a 5 (P01, P02, P03, P04 e P05), partindo de Ilha Bela (direita) e terminando na baía do Araçá (esquerda). As profundidades de coleta foram superfície (s), meia água (m) e fundo (f)..... **12**
- Figura 3.** Diagrama representando os fatores utilizados para a análise PERMANOVA. As permutações foram realizadas dentro de cada estação do ano (verão e inverno). Os fatores utilizados foram: semana (da primeira S1 a décima primeira S11), Ponto de coleta (5 pontos: P01, P02, P03, P04 e P05) e Profundidade (estrato superfície [$<3\text{m}$], estrato meio [entre 3 e 20m] e estrato fundo [$>20\text{m}$]). **16**
- Figura 4.** Comparação entre os dados da sonda YSI e do CTD do perfilador Profiler Hyper Pro II para Temperatura (A) e Salinidade (B). **17**
- Figura 5.** Gráfico de Temperatura e Salinidade (Diagrama T-S), para A: Verão e B: Inverno, mostrando os dados do CTD do Perfilador óptico Hyper PRO II. As marcações AC, AT e ACAS representam os índices termoclinais onde encontra-se os valores máximos de Água Costeira, Água Tropical e Água Central do Atlântico Sul, respectivamente. Os índices termoclinais utilizados foram aqueles utilizados em outros projetos do grupo do Laboratório de Dinâmica Oceânica (Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo) em projetos de pesquisa na mesma região. Os índices utilizados para verão e inverno são distintos e podem ser conferidos na Tabela 4, pg15 **18**
- Figura 6.** Corte transversal do Canal de São Sebastião representando, em cores, as temperaturas observadas para o dia 23/02/2012 (verão) e 10/07/2012 (Inverno), feito em ODV (Ocean Data View). As linhas indicam as salinidades observadas. Em ambos os gráficos a Baía do Araçá está localizada a esquerda (Distance 0km) e a Ilha Bela, a direita (Distance 2km). A região cinza representa a batimetria média do local. Para este gráfico foram usados os dados obtidos com o CTD acoplado ao perfilador Profiler Hyper Pro II. Os dados foram interpolados (escala de comprimento para $x=400$ e $y=330$)..... **19**
- Figura 7.** Dados da soma diária de precipitação (mm) para todo o período de coleta, para a região do Canal de São Sebastião (estação meteorológica ao Sul de Ilha Bela). Pontos em vermelho representam o verão e pontos em azul o inverno de 2012..... **20**

Figura 8. Regressão linear da % de ACAS do estrato do fundo e a concentração de nutrientes nos diferentes estratos da coluna d'água, de acordo com A) média do Estrato Superfície, B) média do Estrato Meio e C) média do Estrato Fundo. "Soma N" representa a soma dos compostos nitrogenados Nitrito, Nitrato e Amônia.21

Figura 9. Relação entre nitrato e temperatura. Os círculos preenchidos são os valores de nitrato encontrados para o verão de 2012. Os círculos vazios representam o nitrato calculado através da temperatura, com base na equação retirada do trabalho de Gonzalez-Rodriguez et al. (1992). Neste gráfico os dados de temperatura foram obtidos com a sonda YSI.22

Figura 10. Regressão linear da % de ACAS do estrato do fundo e os valores médios de concentração de clorofila-a nos diferentes estratos da coluna d'água, de acordo com A) média do Estrato Superfície, B) média do Estrato Meio, C) média do Estrato Fundo.23

Figura 11. Regressão linear dos valores médios de salinidade da Baía do Araçá e a concentração de nutrientes nos diferentes estratos da coluna d'água, de acordo com A) média do Estrato Superfície, B) média do Estrato Meio e C) média do Estrato. "Soma N" representa a soma dos compostos nitrogenados Nitrito, Nitrato e Amônia.25

Figura 12. Regressão linear dos valores médios de salinidade da Baía do Araçá e os valores médios de concentração de clorofila-a nos diferentes estratos da coluna d'água, de acordo com A) média do Estrato Superfície, B) média do Estrato Meio e C) média do Estrato Fundo.26

Figura 13. Atenuação da luz ($K_d(\lambda)$) entre 0 e 10m, para as bandas 412, 443, 488, 531, 551, 667 e 668 no verão (A) e inverno (B) de 2012. Os pontos vermelhos indicam as médias e as barras horizontais vermelhas o desvio padrão. Em C e D, o $K_d(\lambda)$ descontando-se o valor de atenuação da luz pela água ($K_{dw}(\lambda)$) para verão e inverno, respectivamente.27

Figura 14. Regressão linear entre atenuação da luz ($K_d(\lambda)$), descontando-se o valor de atenuação da luz pela água ($K_{dw}(\lambda)$), na camada superior (0 a 10m), para as bandas 412, 443, 488, 531, 551, 667 e 668 e a concentração de clorofila-a total, para o verão e inverno de 2012.28

Figura 15. Regressão linear entre atenuação da luz ($K_d(\lambda)$), descontando-se o valor de atenuação da luz pela água ($K_{dw}(\lambda)$), na camada superior (0 a 10m), para as bandas 412, 443, 488, 531, 551, 667 e 668 e o aCDOM (443), para o verão e inverno de 2012.30

Figura 16. Análise dos Componentes Principais 1 e 2 em A: distinguindo-se os pontos referentes ao verão (“v” em vermelho) e inverno (“i” em azul) e a mesma análise em B: destacando-se a camada Superior de 0 a 10m (“s” em vermelho) e camada Meia-água de 10 a 25m (“m” em azul). Os dados abióticos e bio-óticos utilizados foram maré, velocidade do vento (vento), soma dos compostos nitrogenados (N total), Fosfato, Silicato, Salinidade, Temperatura e os K_d s nas bandas 412, 443, 488, 531m551, 667 e 678nm. A Primeira Componente Principal (PC1) e Segunda Componente Principal (PC2) explicam a 45 e 17% da variabilidade observada, respectivamente.32

Figura 17. Regressão linear e coeficiente de determinação (R^2) entre os scores (autovalores) da primeira componente principal (PC1) e A: concentração de clorofila-a Total, B: concentração do microfitoplâncton, C: concentração do nanofitoplâncton e D: concentração do picofitoplâncton.33

Figura 18. Regressão linear e coeficiente de determinação (R^2) entre os scores (autovalores) da segunda componente principal (PC2) e A: concentração de clorofila-a Total, B: concentração do microfitoplâncton, C: concentração do nanofitoplâncton e D: concentração do picofitoplâncton.34

Figura 19. Regressão linear e coeficiente de determinação (R^2) entre o coeficiente de absorção de luz pela matéria orgânica dissolvida colorida em 443nm (aCDOM 443) e os scores (autovalores) das primeira (A) e segunda (B) componentes principais (PC1 e PC2, respectivamente).34

Figura 20. Comparação entre a amplitude de maré e os componentes meridional (Comp. V) e zonal (Comp. U), para o verão e inverno, separadamente. Para este gráfico foram usados apenas os dados coincidentes com os horários das coletas. .35

Figura 21. Regressão linear entre o coeficiente de variação da clorofila-a total e profundidade média de cada ponto amostrado, para o verão de 2012 e inverno de 2012. Em virtude dos pontos não terem sido realizados exatamente nas mesmas coordenadas entre uma estação e outra, devido a derivação do barco, as médias da profundidade local de cada ponto entre verão e inverno foram distintas.36

Figura 22. Concentração de clorofila-a (mg/m^3) do microfitoplâncton (micro), nanofitoplâncton (nano) e picofitoplâncton (pico), nos três estratos da coluna de água amostrada. A altura das barras representa a mediana, e as linhas verticais indicam o erro padrão.37

Figura 23. Mapas de temperatura superficial dos oceanos (média de 8 dias), obtidos do sensor MODIS/AQUA, para os períodos de A: 26/02 a 04/03/2012 e B: 19/07 a 26/07/2012. Em A, mostrando o alcance da pluma de ressurgência (menores temperaturas) de Cabo Frio, no verão de 2012. Em B, mostrando o alcance da pluma costeira no inverno de 2012, devido a passagem de frentes frias, com influência do Rio da Prata. Imagens obtidas pelo site da NASA Ocean Color Web40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Profundidade aproximada de cada ponto e respectivas faixas amostradas.....	09
Tabela 2. Profundidade de coleta de cada ponto utilizada para realizar a média de cada estrato. Em parênteses a profundidade média.	12
Tabela 3. Comprimentos de onda usados pelo sensor AQUA/ MODIS da NASA e respectivas bandas	13
Tabela 4. Índices Termohalinos das massas de água utilizados no cálculo do Triângulo de Mistura. Mamayev, 1975, gentilmente codificado por André Palóczy Filho, do Laboratório de Dinâmica Oceânica – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. AC (Água Costeira), ACAS (Água Central do Atlântico Sul) e AT (Água Tropical). Note que nossas medidas não acompanharam a precisão de 4 casas decimais proposta pelos índices originais ...	15
Tabela 5. Correlação e respectivos valores de p (** 0,01 e * 0,05) da influência da %de ACAS média do Estrato Fundo em comparação com as médias de CHL total, Micro, Nano e Pico dos Estratos Superfície, Meio e Fundo.....	24
Tabela 6. Valore de p encontrados para ANOVA entre Vento e Maré e concentração de clorofila-a total (Total), microfitoplâncton (Micro), Nanofitoplâncton (Nano) e Picofitoplâncton (Pico).	35
Tabela 7. Resultado da análise estatística PERMANOVA para os dados de concentração de clorofila-a em classes de tamanho: micro, nano e picofitoplâncton. O asterisco (*) mostra os modelos com maior número de variáveis se correlacionando significativamente.....	37

LISTA DE ABREVIATÖES

AC – Águu Costeira

ACAS – Águu Central do Atlântico Sul

AT – Águu Tropical

CB – Corrente do Brasil

Cla_total – Concentração de clorofila-a total

Cla_micro – Concentração de clorofila-a da fração microplânctônica - >20 micrômetros

Cla_nano – Concentração de clorofila-a da fração nanoplanctônica – 2-20 micrômetros

Cla_pico – Concentração de clorofila-a da fração picoplanctônica - < 2 micrômetros

SUMÁRIO

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE ABREVIACÕES.....	VII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	7
3 MATERIAIS E MÉTODOS	8
3.1 Da coleta de dados.....	8
3.2 Da análise dos resultados	11
3.3 Análises Estatísticas	15
4 RESULTADOS.....	17
4.1 Massas de água	17
4.2 A influência do campo luminoso.....	27
4.3 Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica.....	36
5 DISCUSSÃO	38
5.1 Massas de água	38
5.2. Comunidade Fitoplanctônica	41
5.3. Campo luminoso.....	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
7 CONCLUSÕES	46
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
9 APÊNDICES	55

1 INTRODUÇÃO

Os processos hidrodinâmicos que ocorrem na região costeira apresentam maior turbulência devido à influência do fundo no transporte de Ekman gerado pelo vento, e na propagação de ondas, que por sua vez amplificam o grau de mistura vertical (BRINK, 2004). A intensidade dessa mistura facilita as trocas de nutrientes entre os sedimentos e massas de água, com maior concentração de nutrientes, presentes no fundo e a superfície, tornando os ambientes costeiros produtivos (e.g., ATKINSON et al., 2004).

Dependendo da intensidade do aporte continental e do tipo de fundo, a mistura vertical em regiões próximas a costa poderá adicionar, além de nutrientes, componentes particulados e dissolvidos na coluna de água. Estes irão modificar a atenuação da irradiância solar, determinando a quantidade e a qualidade espectral da irradiância disponível ao fitoplâncton (IOCCG, 2000). Além disso, ao longo do ano, e principalmente quando inverno e verão são contrastados, é possível observar variações na intensidade luminosa, aquecimento, periodicidade na passagem de frentes frias, e alterações no campo de vento (GARGETT; MARRA, 2002), que podem induzir processos de ressurgências costeiras, como as que ocorrem no sudeste da costa brasileira (e.g., MOSER; GIANESELLA-GALVÃO, 1997).

Um dos fatores determinante das taxas de crescimento do fitoplâncton e de seu acúmulo em biomassa é a disponibilidade luminosa, uma vez que abaixo de um valor limite, as taxas de respiração da comunidade planctônica se tornam maiores que as fotossintéticas (SVERDRUP, 1953). A atenuação da irradiância solar na coluna de água, quantificada pelo coeficiente de atenuação vertical da luz difusa (K_d , m^{-1}), ocorre de forma diferenciada para cada comprimento de onda do espectro luminoso. Isso acontece devido às propriedades de absorção e espalhamento de fótons, diferenciados em comprimentos de onda distintos, por cada componente presente na água (MOREL; PRIEUR, 1977).

As moléculas de água presentes na água do mar são responsáveis pela maior porção da atenuação da irradiância solar na faixa de comprimento de onda do vermelho (667 e 678nm, SMITH; BAKER, 1981). Smith e Baker (1981) propuseram o K_d espectral e específico das moléculas de água ($K_{dw}(\lambda)$), através de medidas feitas em regiões oceânicas. Dessa maneira, portanto, é possível atribuir a atenuação vertical da luz encontrada apenas às partículas e materiais dissolvidos existentes na

coluna de água se as observações de K_d forem subtraídas de K_{dw} . As células de fitoplâncton, devido a presença de clorofila-a e outros pigmentos acessórios, possuem picos evidentes de absorção de luz nos comprimentos de onda na faixa do azul entre 443 e 488 nm (ver revisão por MOREL, 2006).

Modelos empíricos robustos estimando o coeficiente de atenuação da luz difusa ($K_d(\lambda)$) como uma função da concentração de clorofila-a (SMITH; BAKER, 1978a; MOREL, 1988), indicam que o fitoplâncton é o principal componente ativo na atenuação vertical da luz, o que tem sido descrito com frequência em ambientes oligotróficos (i.e. águas de caso I; MOREL; PRIEUR, 1977). Um outro componente ativo na atenuação da luz é a matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM¹), substância proveniente principalmente, da descarga de rios em regiões costeiras. O coeficiente espectral da absorção de luz pelo CDOM é representado por uma função exponencial que decai dos menores aos maiores comprimentos de onda (SMITH; BAKER 1978b; BRICAUD et al., 1981). Os detritos apresentam o mesmo espectro de absorção de luz que o CDOM, o que torna difícil estipular a importância para a atenuação da luz entre esses dois materiais (IOCCG, 2000). Em situações aonde o material particulado inorgânico em suspensão é abundante, o mesmo interfere em $K_d(\lambda)$ principalmente devido a sua influência no retroespalhamento da luz (MOREL; PRIEUR, 1977).

Outro fator limitante para o crescimento fitoplanctônico é a concentração de nutrientes disponíveis para assimilação. Nos oceanos, a presença de diferentes massas de água resulta em mudanças na temperatura e salinidade, mas também de concentração de nutrientes, esses últimos geralmente estão mais disponíveis em massas de água com influência de aportes costeiros, ou massas de água oceânicas sub superficiais.

O fitoplâncton, organismos autotróficos do plâncton, são responsáveis por fornecer grande parte da matéria orgânica primária para as cadeias tróficas pelagiais nos oceanos, e por vezes diretamente para comunidades bentônicas (ALPINE; CLOERN, 1992; PASOTTI et al., 2012), contribuindo também para os ciclos de outros elementos. Desta forma, a presença de diferentes organismos altera as propriedades químicas do ambiente de maneiras distintas (FALKOWSKI, 1998, 2000). A diversidade e a taxonomia do fitoplâncton marinho são complexas, e em

¹ CDOM é o acrônimo em inglês de Colored Dissolved Organic Matter

escalas de tempo de meses, as condições hidrodinâmicas determinam o grupo de organismos que se sobressai numericamente em relação aos outros (CULLEN et. al., 2002). Em ambientes costeiros, a variabilidade taxonômica da comunidade de fitoplâncton é mais dinâmica.

Uma descrição simplificada, mas ainda ecologicamente pertinente, de como os diferentes grupos de fitoplâncton variam no tempo ou no espaço pode ser dada por sua divisão em faixas de tamanho celular. Estas representam grupos com biomassa e ecologia diversas, uma vez que diferentes tamanhos de produtores primários suportam variadas estruturas tróficas e possuem ajustes fisiológicos gerais distintos (LORENZEN, 1966). A categorização do fitoplâncton marinho em classes de tamanho foi inicialmente sugerida por SIEBURTH et. al., (1978) em 3 faixas: picoplâncton (0,2-2 μ m); nanoplâncton (2-20 μ m); e microplâncton (20-200 μ m) e a importância relativa desses grupos em uma amostra de água pode ser estimada pelo emprego de técnicas simples, como medidas de concentração de clorofila-a, onde as amostras são previamente fracionadas nas classes por separação física com auxílio de membranas filtrantes (e.g., DECEMBRINI et. al., 2009; LOCHTE et. al., 1993).

A literatura estabelece relações entre as características físicas do ambiente pelágico e a dominância de certas classes de tamanho do fitoplâncton (MARGALEF, 1978; LAWS et. al., 2000). Os ambientes oligotróficos, onde há baixa concentração de nutrientes e de clorofila-a, são comumente observados em regiões oceânicas distantes dos continentes, principalmente nas faixas subtropicais. Nessas áreas, os organismos menores (picoplâncton) tendem a dominar em biomassa fitoplanctônica (KIORBOE, 1993; MARAGLEF, 1997), e o carbono primário produzido é transferido para os níveis tróficos superiores por pequenos nano- predadores (JACKSON, 1980; POMEROY, 1974). Nos ambientes oligotróficos por vezes, existe a ocorrência de cianobactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (KIRCHMAN, 2008), que podem pertencer tanto ao pico (WATERBURY et al., 1986) como ao microfitoplâncton (DUGDALE et al., 1961).

As generalizações entre tamanho celular e as variações no ambiente, em áreas costeiras, são mais difíceis devido à menor escala temporal em que os processos ocorrem. A entrada de elevadas concentrações de nutrientes, capaz de impulsionar o crescimento da fração do microfitoplâncton, pode ser governada pelo campo dos ventos, e esse último é alterado constantemente pela passagem de

sistemas frontais em regiões subtropicais. As passagens de frentes frias sobre uma região possuem frequência de dias a semanas, dependendo da época do ano. As correntes de maré, que também interferirem na mistura e advecção das massas de água, variam em intensidade e direção em escalas de horas. Além disso, vento e maré influenciam a coluna de água de maneiras distintas conforme a profundidade local. Além da advecção, que pode tanto auxiliar o crescimento fitoplanctônico por trazer nutrientes como transportar o que foi produzido para outra região, existe a retirada da biomassa fitoplanctônica pela pastagem. Nos ambientes rasos, os animais bentônicos presentes no sedimento podem causar mudanças drásticas na magnitude e sazonalidade da comunidade fitoplanctônica (ALPINE; CLOERN, 1992),

A plataforma sudeste brasileira é caracterizada por dois regimes oceanográficos distintos, cujo limite latitudinal parece ser a ilha de São Sebastião (Mahiques et al., 1999). A plataforma, e o litoral de forma esporádica, recebem influências das massas de água oceânicas que fluem com a Corrente do Brasil (CB), sendo elas: a Água Tropical (AT) em superfície, formada pela intensa radiação e evaporação possuindo médias de temperatura maiores que 20°C e salinidade acima de 36, e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) em sub-superfície, a qual possui temperatura e salinidade entre 6-20°C e 34,6-36, respectivamente. Na região interna da plataforma continental sudeste a massa de maior influência é a Água Costeira (AC), apresentando baixa salinidade devido ao aporte continental (SILVEIRA et. al., 2000) e variações sazonais de temperatura e salinidade.

O Canal de São Sebastião separa a Ilha de São Sebastião (ou Ilha Bela) do continente, e está localizado aproximadamente em 23°49' S e 045°23' W e é em geral considerado um ambiente oligo-mesotrófico. Na maior parte do tempo, o Canal de São Sebastião é preenchido por AC, com presença menos frequente de AT durante o outono, e intrusões episódicas de ACAS (CASTRO et. al., 2008). A entrada de ACAS (águas frias e com maior concentração de nutrientes) pelo Canal de São Sebastião é resultado do processo de ressurgência costeira induzida pelo vento na costa sudeste brasileira. Este processo é mais conhecido e registrado próximo ao Cabo Frio durante os meses de primavera e verão, porém, pode ocorrer em outros locais da costa sudeste (MOSER; GIANESELLA-GALVÃO, 1997). A ACAS ressurgida entra pelo Canal de São Sebastião por sua porção sul (CASTRO et. al., 2008), mas o grau de sua influência no Canal e adjacências é variável em

função da dinâmica das massas de água locais, que se alteram conforme o regime de ventos e maré.

A dinâmica das massas de água no Canal de São Sebastião foi descrita por Silva et. al. (2005), que reportou velocidades de correntes mais intensas durante os meses de verão, para sul, em resposta aos ventos predominantes de nordeste. O vento nordeste predominante é alterado durante passagens de sistemas de instabilidade meteorológicas (frentes frias ou sistemas frontais), mais frequentes e intensas durante os meses de inverno, que promovem correntes superficiais para o norte em resposta aos ventos predominantes de sudoeste (CASTRO et. al., 2008). Paixão (2008) registrou no Canal, em Julho, Outubro e Dezembro de 2006, um padrão de circulação em duas camadas, sendo a superficial em direção ao sul em resposta aos ventos e a de profundidade em sentido norte em respostas a intrusão da massa de água mais densa e fria. Anteriormente, Castro e Miranda (1998) observaram o mesmo padrão em duas camadas e bidirecional, porém o sentido da corrente superficial se alterou ciclicamente no decorrer do período estudado (4 a 7 de Março de 1980). Correntes com sentido contrário também facilitam a mistura e injeção de nutrientes do fundo para a superfície. Variações nos padrões das correntes irão transportar horizontalmente o material dissolvido e as partículas, incluindo organismos planctônicos, no sentido norte e sul no interior do Canal.

De forma geral, e excluindo eventos de florações mono-específicas, assume-se que o aumento de biomassa fitoplanctônica resultante de injeções de nutrientes em ambientes inicialmente oligotróficos, seja o produto da adição de células do nano e microfitoplâncton a uma comunidade de picofitoplâncton relativamente estável em número no tempo e no espaço (YENTSCH; PHINNEY, 1989). Considerado um ambiente oligo-mesotrófico na maior parte do tempo (SALDANHA-CORRÊA; GIANESELLA, 2008), espera-se observar no Canal de São Sebastião produtores primários numericamente dominantes nas menores classes de tamanho, sendo o carbono transferido para os níveis tróficos maiores por micro-zooplâncton. A injeção de nutrientes provocada pelas entradas intermitentes da ACAS no Canal, caso sejam suficientes, pode promover o maior crescimento da classe do microplâncton, consequentemente suportando predadores maiores (FENCHEL, 1988). Durante períodos de ressurgência, espera-se que células de fitoplâncton maiores conseguem sustentar taxas de crescimento equivalentes aquelas das células menores (HUETE-ORTEGA et. al., 2010). De fato, os modelos empíricos existentes mostram uma

relação direta entre a biomassa fitoplanctônica total e tamanho dominante de fitoplâncton (e.g, MARAÑÓN, 2009), prevendo que mudanças de dominância para maiores classes de tamanhos do fitoplâncton representem um aumento da diversidade. Em Cabo Frio, durante um evento de ressurgência (19 a 24 de fevereiro de 2002; GUENTHER et al., 2008) foi possível observar o aumento da concentração de clorofila-a, em superfície, apenas em algumas horas após o início da ressurgência (~12hs). Juntamente com o aumento da clorofila-a, houve o aparecimento da fração do microfitoplâncton, porém, a fração do nanofitoplâncton permaneceu como a dominante.

Outra fonte de nutrientes para a região do Canal de São Sebastião é a AC, que provém das massas de água originadas no aporte continental local (GUBITOSO et al., 2008), provenientes de regiões ao norte (CASTRO et al., 2008) e de regiões ao sul (CAMPOS et al., 1999; PIOLA et al., 2005; MÖLLER et al., 2008) de São Sebastião. Gubitoso et al. (2008) descreveram a influência do emissário existente na baía do Araçá como uma fonte local de nutrientes. Os mesmos autores reportam que a maior parte da pluma do emissário do Araçá é dissipada por correntes, em direção sul-sudeste do Canal, mas que uma parcela desses é incorporada aos sedimentos, sugerindo um potencial processo de enriquecimento na baía do Araçá.

Assumindo que a concentração de clorofila-a em 3 classes de tamanho representa a estrutura da comunidade, esse trabalho pretende testar as seguintes hipóteses:

1. a injeção de nutrientes, provocada pelas entradas de ACAS no Canal de São Sebastião, causaria maior crescimento do microfitoplâncton e consequente maior biomassa, no verão.
2. A maior biomassa ocorreria no inverno devido ao maior aporte continental.
3. Pontos mais rasos teriam maior biomassa devido à mistura e re-suspensão de nutrientes provocadas pela maré.

2 OBJETIVOS

Verificar através de estimativas de biomassa fitoplanctônica a influencia da ACAS, marés e da mistura turbulenta, provocada pela passagem de sistemas frontais, na estrutura da comunidade fitoplanctônica de acordo com um gradiente de profundidades no Canal de São Sebastião. Especificamente iremos:

- 1) Quantificar a variabilidade na estrutura da comunidade fitoplanctônica entre verão e inverno, induzida pela potencial influencia da ACAS no verão e pelo aporte continental no inverno
- 2) Quantificar a influência das marés nas variações da estrutura de comunidade do fitoplâncton entre verão e inverno em função da profundidade local e da atenuação de luz.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Da coleta de dados

Foram realizadas 11 coletas semanais, durante o verão de 2012 (meses de Janeiro, Fevereiro e Março) e 11 durante o inverno de 2012 (meses de Junho, Julho e Agosto). Os dias foram estipulados com base nos máximos previstos para a amplitude de maré de sizígia (luas cheia e nova) e quadratura (luas crescente e minguante). Porém, a logística da coleta não permitiu amostrar todos os pontos ao mesmo tempo, sendo o horário de início padrão de cada amostragem às 7:00 am. A altura das marés foi averiguada posteriormente às coletas (Apêndice 1). Os pontos amostrais foram dispostos em um transecto perpendicular ao Canal de São Sebastião (Figura 1), e as atividades foram realizadas com uma lancha de 43 Pés. Foram amostradas 05 estações oceanográficas desde a Ilha Bela em direção à baía do Araçá (Figura 1). A localização exata dos pontos ao longo deste transecto foi estipulada dia-a-dia, de acordo com a profundidade seguindo a Tabela 1. Como orientação, porém, foram seguidas as coordenadas também apresentadas na Tabela 1. As campanhas em média levaram 4 horas com navegação de aproximadamente 4 milhas náuticas, sempre encerradas no ponto amostrado na baía do Araçá.

Figura 1. Localização do Canal de São Sebastião e pontos amostrados. Transecto de P1 a P5, partindo de Ilha Bela à Baía do Araçá. A localização dos pontos mostrada representa o transecto realizado no dia 23/01/2012.

As amostras foram coletadas em 1 metro abaixo da superfície (de agora em diante denominado 'Superfície') e em mais uma ou duas profundidades sub superficiais, dependendo da profundidade local (Tabela 1). 'Fundo' foi estipulado na profundidade máxima em cada ponto amostral e 'Meio', numa profundidade intermediária entre a superfície e o fundo variando, portanto, de acordo com o ponto amostrado. Entretanto seguimos a premissa de que o Canal de São Sebastião apresentaria no máximo 3 camadas de circulação.

Tabela 1. Profundidade aproximada de cada ponto e respectivas faixas amostradas

Ponto	Profundidade Local	Latitude	Longitude	Faixas amostradas
1	~15m	-23.826	-45.391	Superfície e Fundo
2	~45m	-23.823	-45.395	Superfície, Meio e Fundo
3	~25m	-23.820	-45.398	Superfície, Meio e Fundo
4	~10m	-23.818	-45.400	Superfície e Fundo
5	~1,5m	-23.816	-45.402	Superfície

As coletas de água foram feitas como auxílio de garrafas Van Dorn. Em cada profundidade de coleta pré-estabelecidas como Superfície, Meio e Fundo, foram realizados três lançamentos da garrafa Van Dorn, sendo que em um deles foram retiradas amostras para análises de concentração de clorofila-a em classes de tamanho e concentração de nutrientes. Em todos os 3 lançamentos de garrafas, neste caso tratadas como réplicas, foram coletadas alíquotas destinadas à medidas de fluorescência natural da comunidade como um todo (i.e. não separadas em classes de tamanhos) lidas a bordo com fluorímetro de campo modelo Aquafluor (Turner Desings). Para estas leituras as amostras foram antes mantidas em frascos escuros por 30 minutos para a foto-aclimatação. Este procedimento permite que todos os fotossistemas fiquem disponíveis para a captação de fótons (i.e. atingir um ótimo de eficiência fotoquímica) no momento da leitura (LAZAR, 1999; MAXWELL; JOHNSON, 2000), minimizando efeitos fisiológicos durante as leituras.

Em cada ponto de coleta foram obtidas as variáveis temperatura e salinidade com sonda YSI 30, e CTD (sensor de Condutividade, Temperatura e Profundidade, da sigla em inglês de "Conductivity, Temperature and Depth") acoplado ao perfilador Profiler Hyper Pro II (Satlantic), que mensurou penetração de irradiância solar espectral

na coluna de água. A condutividade obtida pelo CTD do perfilador foi convertida em salinidade segundo Fofonoff e Millard (1983), adaptado por Phil Morgan (1993) e Lindsay Pender (2012).

Os dados de marés, ventos e nível do mar foram acompanhados continuamente durante as coletas, através da estação meteorológica e ondógrafo do CEBIMar. Dados complementares de maré foram obtidos da estação meteorológica de Ubatuba do Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo (IO-USP). Os valores médios diários de vento foram cedidos pelo Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo (IAC), da estação meteorológica do sul de Ilha Bela.

As amostras de água destinadas à concentração de clorofila-a foram processadas em campo. Para tanto, 300 ml de amostras de água foram filtradas (a vácuo, com pressão de 10-20 mmHg) imediatamente após a coleta em filtros de fibra de vidro GF/F (Whatman, poro de 0,7 μm) em um sistema de filtração e extraídas, ao abrigo da luz em uma solução pré-resfriada de acetona 90% e óxido de dimetil sulfato (6:4 em volume, SHOAF; LIUM, 1976), mantida em baixa temperatura em campo por cerca de 4 horas, e transferida a um freezer para completar a extração por 24 horas. Após a extração, as fluorescências dos extratos foram lidas em um fluorímetro (Turner Designs modelo Trilogy), equipado com um módulo contendo filtros de excitação e emissão para o método descrito por Welschmeyer (1994). Essas amostras representam a clorofila-a total (micro + nano + picoplâncton).

Para a determinação da concentração de clorofila-a por classes de tamanho, amostras de 500 ml e 300 ml, respectivamente para amostras $<20 \mu\text{m}$ e $<2 \mu\text{m}$, foram filtradas primeiramente em malha de 20micras de poro. O filtrado para o $<20 \mu\text{m}$ foi diretamente passado pelo filtro GF/F seguindo a partir daí o protocolo anterior. Para as amostras $<2 \mu\text{m}$, após passarem pela malha de 20 μm , o filtrado passou por um filtro de polycarbonato com 47 mm de diâmetro e 2 μm de poro, e posteriormente o filtrado concentrado em filtro GF/F e também processados como descrito acima para a concentração total de clorofila-a.

As amostras fracionadas representam respectivamente nano + picoplâncton e picoplâncton, e as diferentes classes serão computadas de acordo com as equações:

- (1) $\text{Cla_micro} = \text{Cla_total} - \text{filtrado de } 20 \mu\text{m (nano + pico)}$;
- (2) $\text{Cla_nano} = \text{filtrado de } 20 \mu\text{m (nano + pico)} - \text{filtrado de } 2 \mu\text{m (pico)}$;
- (3) $\text{Cla_pico} = \text{filtrado de } 2 \mu\text{m (pico)}$;

Onde, Cla_micro, Cla_nano e Cla_pico representam a concentração de clorofila referentes ao microfitoplâncton (>20µm), nanofitoplâncton (2 a 20 µm) e picofitoplâncton (<2 µm), respectivamente. Em algumas situações a equação 1 resultou em valores negativos (de -0,98 a -0,01) provavelmente porque os valores de Cla_micro estavam próximos ou inferiores aos limites de detecção do instrumento utilizado. Dessa forma, nessas situações, os valores da equação 1 foram assumidos ser zero.

Alíquotas com cerca de 50 ml do filtrado das amostras de clorofila foi utilizado para medidas do branco da fluorescência natural, coeficiente de absorção da luz pela Matéria Orgânica Dissolvida Colorida (aCDOM) e concentração de nutrientes inorgânicos. As amostras destinadas à concentração de nutrientes foram mantidas congeladas até o momento da análise. Valores de nitrogênio amoniacal (NH₃-N e NH₄-N), nitrito, nitrato, íons ortofosfato e silicato foram obtidos em espectrofotômetro. Todas as metodologias empregadas foram baseadas em Aminot e Chaussepied (1983). Essas análises foram feitas em parceria com o Dr. Ricardo Pollery da UFRJ.

A alíquota utilizada para análises do CDOM (150ml) passou por um filtro de cápsula (Polycap) de 0,2µm de poro. Espectros de absorção de luz pelo CDOM foram obtidas através da leitura desta amostra em espectrofotômetro (Ultrapath, WPI) com caminho ótico de 50cm. Os espectros foram parametrizados do 350 ao 600nm, de acordo com Babin et al. (2003) (Eq. 1) de modo a resultar na magnitude de absorção de luz pelo CDOM em 443nm (aCDOM):

$$a_{CDOM}(\lambda) = a_{CDOM}(\lambda_{ref}) * e^{(-S_{CDOM}(\lambda - \lambda_{ref}))}$$

Eq. 1

onde λ representa comprimento de onda em nm, sendo λ_{ref} igual a 443nm, e SCDOM ao decaimento exponencial espectral.

3.2 Da análise dos resultados

Na premissa de que o Canal de São Sebastião é um corpo de água com no máximo 3 camadas distintas dependendo da profundidade local, no tratamento dos dados bióticos e abióticos as três camadas ditas como Superfície, Meio e Fundo

foram estipuladas em três intervalos de profundidades (Figura 2). São eles: <3m (“Estrato Superfície”), entre 3 e 20m (“Estrato Meio”), e >20m (“Estrato Fundo”). Desta forma, as análises que se referem aos diferentes estratos correspondem a valores médios dos pontos amostrais descritos na Tabela 2.

Figura 2. Representação do Canal de São Sebastião em três estratos com os respectivos intervalos de profundidade. Os pontos foram intitulados de 1 a 5 (P01, P02, P03, P04 e P05), partindo de Ilha Bela (direita) e terminando na baía do Araçá (esquerda). As profundidades de coleta foram superfície (s), meia água (m) e fundo (f).

Tabela 2. Profundidade de coleta de cada ponto utilizada para realizar a média de cada estrato. Em parênteses a profundidade média.

Estrato	P01	P02	P03	P04	P05
Superfície	s (1m)	s (1m)	s (1m)	s (1m)	s (1m)
Meio	f (~12m)	m (~20m)	m (~12m)	f (~11m)	----
Fundo	----	f (~39m)	f (~23m)	----	----

Para o verão, foi estabelecido que a ACAS, presente no estrato fundo, seria a principal fonte de nutrientes para todo o Canal. Assim, as comparações feitas com a concentração de nutrientes e clorofila-a total usaram como base a média da porcentagem da ACAS no estrato fundo.

No inverno, foi assumido que a principal fonte de nutrientes para o Canal de São Sebastião seria a baía do Araçá, devido ao aporte continental e formação de uma pluma com origem no Araçá e extensão até o Canal. A salinidade foi utilizada como indicador do aporte continental.

Fluorescência Natural

A fluorescência natural, diferente da clorofila extraída, é obtida com os organismos intactos, ou seja, sujeitos à fatores que afetam sua fisiologia (LORENZEN, 1966; FALKOWSKI; KOLBER, 1995). Para avaliar a relação entre a fluorescência in vivo e clorofila-a extraída foi feita a regressão linear entre estas duas variáveis. Todavia, a conversão da fluorescência natural para concentração de clorofila foi feita ponto a ponto, com base na razão clorofila-a:fluorescência da primeira réplica.

Dados Perfilador óptico Profiler Hyper Pro II

Os dados do perfilador óptico foram processados com o programa ProSoft 7.7.16 (Satlantic), até nível 3a, onde são apresentados dados de condutividade, temperatura, e dados ópticos de radiância e irradiância em intervalos ("bins") pré-definidos de profundidade. Valores de velocidade de descida do perfilador e angulação de descida ("tilt") foram utilizados como critério para remover dados espúrios. O valor mínimo de velocidade foi de 0,3m/s e tilt máximo de 2 graus. Posteriormente, foi feita a interpolação dos dados ópticos nos comprimentos de onda de 350 a 730 nm de 1 em 1 nanômetro e de profundidade de 1 em 1m, e físicos (temperatura e salinidade), também em 1 em 1m de profundidade. Para simplificar as análises dos dados ópticos, foram empregadas as bandas usadas pelo sensor Aqua MODIS da NASA (Tabela 3).

Tabela 3. Comprimentos de onda usados pelo sensor AQUA/ MODIS da NASA e respectivas bandas.

Comprimentos de ondas usados para média (nm)	Banda espectral
405 – 420	412
438 – 448	443
483 - 493	488
526 – 536	531
546 – 556	551
662 – 672	667
673 - 683	678

O coeficiente de atenuação vertical da luz difusa ($K_d(\lambda)$) foi calculado segundo a equação descrita em Morel (1998), onde $K_d(\lambda)$ representa o coeficiente de atenuação vertical da luz difusa em um determinado comprimento de onda (λ); Z é a profundidade na vertical em metros; $E_{d0}(\lambda)$ é a irradiância do mesmo comprimento de onda na superfície da coluna de água e $E_{dz}(\lambda)$ é a irradiância na profundidade Z (Eq.2).

$$K_d(\lambda) = Z^{-1} \ln [E_{d,0}(\lambda)/E_{d,z}(\lambda)]$$

Eq. 2

Posteriormente subtraiu-se do coeficiente de atenuação da luz total ($K_d(\lambda)$) o coeficiente de atenuação da luz específico da água ($K_{dw}(\lambda)$), para melhor visualização de quais componentes influenciaram a atenuação da luz. Os valores de $K_{dw}(\lambda)$ utilizados foram retirados de Smith e Baker (1981). Devido o escopo deste trabalho, nos resultados e discussão, será levado em conta apenas o coeficiente de absorção de luz pelas partículas e material dissolvido.

Com os dados de temperatura e salinidade obtidos pelo CTD acoplado ao perfilador óptico, foram calculadas as porcentagens das massas de água presente no Canal: água costeira (AC), água central do atlântico sul (ACAS) e água tropical (AT). Para este cálculo foi utilizado o método de triângulo de mistura (MAMAYEV, 1975, gentilmente codificado por André Palóczy Filho, do Laboratório de Dinâmica Oceânica – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo), Os índices termohalinos (i.e. assinatura de temperatura e salinidade) usados para as três massas de água foram aqueles utilizados em outros projetos do grupo do Laboratório de Dinâmica Oceânica (Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo) em projetos de pesquisa na mesma região (Tabela 4).

Tabela 4. Índices Termohalinos das massas de água utilizados no cálculo do Triângulo de Mistura. Mamayev, 1975, gentilmente codificado por André Palóczy Filho, do Laboratório de Dinâmica Oceânica – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. AC (Água Costeira), ACAS (Água Central do Atlântico Sul) e AT (Água Tropical). Note que nossas medidas não acompanharam a precisão de 4 casas decimais proposta pelos índices originais.

		AC	ACAS	AT
Verão	Temperatura (°C)	27,5419	12,6774	25,2968
	Salinidade (ppt)	34,3624	35,1971	37,2082
Inverno	Temperatura (°C)	21,5329	14,1626	24,5523
	Salinidade (ppt)	33,6304	35,3669	37,1841

Como ferramenta visual para os perfis de temperatura e salinidade foi utilizado o software Ocean Data View (ODV) da AWI, versão 3.4.3 (Schlitzer, 2009).

3.3 Análises Estatísticas

As análises estatísticas preliminares consistiram em testes ANOVA de uma e duas vias, a 5 ou 1% de significância, testes de correlação e regressão linear com cálculo do coeficiente de determinação (R^2).

Posteriormente foi utilizada a análise PERMANOVA (Análise de Variância Multivariada por Permutação), para avaliação da composição das frações de tamanho da comunidade fitoplanctônica (micro, nano e picofitoplâncton). Os fatores utilizados foram (Figura 3):

- (1) Tempo (Verão/2012 e Inverno/2012)
- (2) Semana (de 1 a 11, dentro de verão e inverno)
- (3) Ponto de Coleta (ponto de coleta de 1 a 5)
- (4) Profundidade (3 profundidades: estrato superfície, estrato meio e estrato fundo)

Figura 3. Diagrama representando os fatores utilizados para a análise PERMANOVA. As permutações foram realizadas dentro de cada estação do ano (verão e inverno). Os fatores utilizados foram: semana (da primeira S1 a décima primeira S11), Ponto de coleta (5 pontos: P01, P02, P03, P04 e P05) e Profundidade (estrato superfície [<3m], estrato meio [entre 3 e 20m] e estrato fundo [>20m]).

A análise PCA (do nome em inglês “Principal Components Analysis”, Análise de Componentes Principais) foi utilizada como ferramenta estatística para descrever, por meio de seus componentes principais, padrões de variação espaço-temporais dos objetos de coleta. Cada objeto de coleta representa a amostragem realizada em cada dia, ponto e profundidade. Como produto final, a análise PCA atribui uma percentagem de 0 a 100% para cada componente principal, que corresponde a quanto da variação observada pode ser explicada por este eixo. Em geral, nesse tipo de análise a maior parte da variabilidade dos dados é explicada pelas quatro primeiras componentes principais da PCA. O número final de componentes principais é equivalente ao número de variáveis empregadas na análise. As variáveis utilizadas foram: sete abióticas (velocidade do vento, amplitude de maré, Fosfato, Silicato, soma dos compostos nitrogenados, temperatura e salinidade) e sete bio-ópticas (coeficiente de atenuação da luz difusa nas bandas espectrais 412, 443, 488, 531, 551, 667 e 678nm). A relação com a concentração de clorofila-a total e em classes de tamanho foi realizada com a primeira componente principal, a qual explica a maior variabilidade dos dados.

Apenas foram incluídos nessa análise os pontos com profundidade suficiente para realizar os perfis verticais com o instrumento Profiler Hyper Pro II.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa R (R CORE TEAM, 2012), através dos pacotes básicos e vegan (OKSANEN et al, 2013).

4 RESULTADOS

4.1 Massas de água

Não houve diferença (ANOVA $p=0,6$) entre os dados obtidos com a sonda YSI e o CTD do perfilador Profiler Hyper Pro II para a temperatura amostrada (Figura 4A). Já para a salinidade (Figura 4B), estatisticamente, esses dados foram considerados distintos (ANOVA $p= 0,0002$). Como os momentos de coleta dos dados pelos instrumentos, em um mesmo ponto, foram distintos, diferenças já eram esperadas nos valores obtidos. Quando um ou outro dado for utilizado, de acordo com a necessidade da análise (i.e. dados discretos ou contínuos), será discriminado qual instrumento o gerou.

Figura 4. Comparação entre os dados da sonda YSI e do CTD do perfilador Profiler Hyper Pro II para Temperatura (A) e Salinidade (B).

A presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) foi detectada em todas as coletas de verão exceto na última (31/03/2012), onde a seção transversal ao Canal estava homogênea na vertical e com temperaturas superiores a 23,8°C. A contribuição da ACAS em cada transecto amostrado foi variável ao longo do verão (entre 0 e 80%; Figura 5A), e as temperaturas observadas variaram entre 14,7°C no fundo e 27,3°C, na superfície. A Água Costeira (AC) e a Água Tropical (AT) tiveram porcentagens de 3 a 100% e 0 a 30%, respectivamente (Figura 5A). Na Figura 6A é possível observar a distribuição de temperatura e salinidade de um dia característico do verão (23/02/2012). Nesse dia as temperaturas variaram de 14,7°C a 27,2°C e a salinidade de 34,6 a 35,4.

No inverno (Figura 5B), em todas as coletas, a coluna de água se mostrou homogênea, com temperaturas variando entre 20,5 e 24,07°C. Nesse período ainda, a variação da salinidade foi menor (aproximadamente 2,5 retirando-se os valores extremos) e atingiu valores mais baixos que no verão (min = 29,1 e max = 34,9). A AC teve participação de 100% em todos os pontos amostrados (Figura 5B). O perfil de temperatura e salinidade para esta estação do ano está exemplificado na Figura 6B. Para este dia (10/07/2012) a temperatura variou de 21,5°C a 22,2°C e a salinidade de 33,1 a 34.

Figura 5. Gráfico de Temperatura e Salinidade (Diagrama T-S), para A: Verão e B: Inverno, mostrando os dados do CTD do Perfilador óptico Hyper PRO II. As marcações AC, AT e ACAS representam os índices termoalinos onde encontra-se os valores máximos de Água Costeira, Água Tropical e Água Central do Atlântico Sul, respectivamente. Os índices termoalinos utilizados foram aqueles utilizados em outros projetos do grupo do Laboratório de Dinâmica Oceânica (Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo) em projetos de pesquisa na mesma região. Os índices utilizados para verão e inverno são distintos e podem ser conferidos na Tabela 4, pg15.

Figura 6. Corte transversal do Canal de São Sebastião representando, em cores, as temperaturas observadas para o dia 23/02/2012 (verão) e 10/07/2012 (Inverno), feito em ODV (Ocean Data View). As linhas indicam as salinidades observadas. Em ambos os gráficos a Baía do Araçá está localizada a esquerda (Distance 0km) e a Ilha Bela, a direita (Distance 2km). A região cinza representa a batimetria média do local. Para este gráfico foram usados os dados obtidos com o CTD acoplado ao perfilador Profiler Hyper Pro II. Os dados foram interpolados (escala de comprimento para $x=400$ e $y=330$).

Os valores diários de taxas de precipitação local registradas pelas estações pluviométricas (Figura 7) não foram significativamente distintos entre verão e inverno ($6,04\text{mm} \pm 16,05$ e $4,37 \pm 11,96$, respectivamente; ANOVA $p=0,49$; teste t $p=0,51$). Isso sugere que, no inverno, ocorre maior influência de plumas costeiras providas do norte e sul do Canal na AC observada.

Figura 7. Dados da soma diária de precipitação (mm) para todo o período de coleta, para a região do Canal de São Sebastião (estação meteorológica ao Sul de Ilha Bela). Pontos em vermelho representam o verão e pontos em azul o inverno de 2012.

Com o intuito de investigar a influência da ACAS na concentração de nutrientes da coluna d'água, comparamos a média observada da porcentagem de ACAS no estrato fundo em cada dia de coleta, durante o verão, com a concentração de nutrientes dos três diferentes estratos.

A relação entre ACAS e nutrientes foi significativa apenas para o Estrato Fundo (Figura 8C) e somente para a soma dos compostos nitrogenados ($p=0,03$, $R^2=0,42$) e para o fosfato ($p=0,03$, $R^2=0,43$). Os valores médios do estrato fundo (<20m) para soma dos compostos nitrogenados, Fosfato e Silicato foram de $4,7\mu\text{mol/L}$, $0,66\mu\text{mol/L}$ e $3,18\mu\text{mol/L}$, respectivamente. Não foi encontrada diferença estatística (teste t $p=0,46$) entre as concentrações de N amoniacal (média verão = $1,26\mu\text{mol/L}$) e nitrato (média verão = $1,12\mu\text{mol/L}$). Por isso os compostos nitrogenados foram somados e tratados como N total.

Figura 8. Regressão linear da % de ACAS do estrato do fundo e a concentração de nutrientes nos diferentes estratos da coluna d'água, de acordo com A) média do Estrato Superfície, B) média do Estrato Meio e C) média do Estrato Fundo. "Soma N" representa a soma dos compostos nitrogenados Nitrito, Nitrato e Amônia.

É interessante verificar que as concentrações de nitrato observados no presente estudo seguem a relação com a temperatura em Cabo Frio (GONZALEZ-RODRIGUEZ et al., 1992), porém com uma maior dispersão (Figura 9, círculos preenchidos). Na Figura 9, os círculos vazios representam o nitrato calculado, em função da temperatura, através da equação encontrada por Gonzalez-Rodriguez et

al. (1992) em um cruzeiro realizado em Janeiro de 1986, em Cabo Frio. A equação (Eq. 3) de Gonzalez-Rodriguez et al. (1992) utilizada para o cálculo foi:

$$\text{NO}_3 = -1.562 (\pm 0.152) T + 31.677$$

Eq. 1

Onde: NO_3 é a concentração de nitrato em $\mu\text{mol/L}$ e T a temperatura em $^\circ\text{C}$. Essa equação é válida para temperaturas entre 13,9 e 23,2 $^\circ\text{C}$.

Figura 9. Relação entre nitrato e temperatura. Os círculos preenchidos são os valores de nitrato encontrados para o verão de 2012. Os círculos vazios representam o nitrato calculado através da temperatura, com base na equação retirada do trabalho de Gonzalez-Rodriguez et al. (1992). Neste gráfico os dados de temperatura foram obtidos com a sonda YSI.

A mesma análise feita entre os nutrientes e ACAS foi realizada para os dados de verão de clorofila-a total e nas classes de tamanho, nos três estratos da coluna d'água (Figura 10 e Tabela 5).

Figura 10. Regressão linear da % de ACAS do estrato do fundo e os valores médios de concentração de clorofila-a nos diferentes estratos da coluna d'água, de acordo com A) média do Estrato Superfície, B) média do Estrato Meio, C) média do Estrato Fundo.

Tabela 5. Correlação e respectivos valores de p (** 0,01 e * 0,05) da influência da %de ACAS média do Estrato Fundo em comparação com as médias de CHL total, Micro, Nano e Pico dos Estratos Superfície, Meio e Fundo.

Local comparado	Classe de tamanho	R ²	p
Est. Superfície	Total	0,334	0,063
	Micro	0,228	0,137
	Nano	0,290	0,088
	Pico	0,264	0,106
Est. Meio	Total	0,506	0,014**
	Micro	0,249	0,118
	Nano	0,415	0,032**
	Pico	0,534	0,011**
Est. Fundo	Total	0,107	0,008**
	Micro	0,005	0,836
	Nano	0,170	0,208
	Pico	0,181	0,192

A porcentagem de ACAS no fundo influenciou diretamente as concentrações de clorofila-a do nano, picofitoplâncton e total no Estrato Meio (Figura 10B e Tabela 5), local com menor concentração de nutrientes, em relação ao fundo, porém com maior intensidade luminosa. Também houve relação significativa entre a média do Estrato Fundo e a clorofila-a total (Figura 10C e Tabela 5). A porção da concentração de clorofila-a pertencente ao microplâncton não apresentou relação com a porcentagem de ACAS do fundo.

No inverno, devido a ausência de participações expressivas de ACAS nos dias de coletas, a salinidade da Baía do Araçá foi assumida como indicativo da influência combinada da pluviosidade local e do aporte continental como fonte provável de nutrientes. Relações significativas foram encontradas entre a salinidade e a concentração de silicato e de fosfato, nos três estratos ($p < 0,05$ e $R^2 > 0,41$) (Figura 11). Devido ao grau de mistura vertical, não houve diferença significativa entre os estratos na concentração dos compostos fosfato, silicato e soma dos compostos nitrogenados ($p > 0,05$). Assim como no verão, não houve diferença (teste t $p = 0,04$) nas concentrações entre N amoniacal (média inverno = $0,4 \mu\text{mol/L}$) e nitrato (média inverno = $0,55 \mu\text{mol/L}$).

As relações entre a concentração de clorofila-a e a salinidade no interior da baía do Araçá (Figura 12), foram apenas significativas ($p < 0,04$) para o nanoplâncton (nos estratos do meio e fundo). Destacamos que, apesar das concentrações de nutrientes não diferirem no inverno entre os estratos, as classes de tamanho apresentaram diferentes concentrações conforme a profundidade amostrada (Figura 12), assim como diferentes correlações com a salinidade média da Baía do Araçá.

Figura 11. Regressão linear dos valores médios de salinidade da Baía do Araçá e a concentração de nutrientes nos diferentes estratos da coluna d'água, de acordo com A) média do Estrato Superfície, B) média do Estrato Meio e C) média do Estrato. "Soma N" representa a soma dos compostos nitrogenados Nitrito, Nitrato e Amônia.

Figura 12. Regressão linear dos valores médios de salinidade da Baía do Araçá e os valores médios de concentração de clorofila-a nos diferentes estratos da coluna d'água, de acordo com A) média do Estrato Superfície, B) média do Estrato Meio e C) média do Estrato Fundo.

4.2 A influência do campo luminoso

A atenuação vertical da luz difusa ($K_d(\lambda)$, m^{-1}) na coluna de água para todos os comprimentos de onda selecionados, representativos daqueles do sensor MODIS/Aqua, não apresentou diferenças significativas (ANOVA $p>0,05$) entre o verão e o inverno de 2012 abaixo de 10m de profundidade.

O $K_d(\lambda)$ das camadas superior (0 a 10m) e meia água (10 a 25m) foram iguais no verão para as bandas centradas em 531nm e 551nm (ANOVA $p>0,05$). Em 678nm, os valores de $K_d(\lambda)$ de uma mesma camada não diferiram (ANOVA $p>0,05$) entre as estações do ano, sendo os maiores valores observados na camada superior. Os valores de $K_d(\lambda)$ em meia água por terem pouca significância, não serão analisados ou discutidos. Na Figura 13 é mostrada a comparação entre os $K_d(\lambda)$ s das sete bandas espectrais observados na camada superior, não corrigindo e corrigindo com o valor de K_{dw} (Coeficiente de atenuação da luz pela água "pura"). Corrigindo-se os valores de $K_d(\lambda)$ com o $K_{dw}(\lambda)$, as bandas mais afetadas foram 667nm e 678nm, com valores chegando a zero.

Figura 13. Atenuação da luz ($K_d(\lambda)$) entre 0 e 10m, para as bandas 412, 443, 488, 531, 551, 667 e 668 no verão (A) e inverno (B) de 2012. Os pontos vermelhos indicam as médias e as barras horizontais vermelhas o desvio padrão. Em C e D, o $K_d(\lambda)$ descontando-se o valor de atenuação da luz pela água ($K_{dw}(\lambda)$) para verão e inverno, respectivamente.

A concentração de clorofila-a total correlacionada com os valores de $K_d(\lambda)$ corrigidos por $K_{dw}(\lambda)$ na camada superior (de 0 a 10m; Figura 14) foi significativa para todas as bandas espectrais analisadas ($p < 0.01$), com maior coeficiente de determinação (R^2) na banda centrada em 488nm ($R^2 = 0,54$) no verão e naquela centrada em 412nm ($R^2 = 0,44$) no inverno.

Figura 14. Regressão linear entre atenuação da luz ($K_d(\lambda)$), descontando-se o valor de atenuação da luz pela água ($K_{dw}(\lambda)$), na camada superior (0 a 10m), para as bandas 412, 443, 488, 531, 551, 667 e 678 e a concentração de clorofila-a total, para o verão e inverno de 2012

A magnitude do coeficiente de absorção da luz pela matéria orgânica dissolvida colorida no comprimento de onda 443nm (aCDOM(443)), apresentou maiores valores no inverno (ANOVA $p=0$). No verão, aCDOM(443) foi marginalmente relacionado à massa de água ACAS ($p=0,05$ e $R^2=0,02$) e à salinidade no inverno ($p=0,01$ e $R^2=0,05$). O aCDOM(443) não obteve significância com o K_d - $K_{dw}(\lambda)$ na camada superior (0 a 10m) em nenhum dos comprimentos de onda ($p>0,05$), tanto no verão como no inverno (Figura 15). Também não houve correlação entre $K_d(\lambda)$ e as variáveis vento e maré ($p>0,05$). Em relação às classes de tamanho, $K_d(\lambda)$ obteve significância apenas quando relacionado ao micro e picofitoplâncton no inverno ($p<0,01$).

Figura 15. Regressão linear entre atenuação da luz ($K_d(\lambda)$), descontando-se o valor de atenuação da luz pela água ($K_{dw}(\lambda)$), na camada superior (0 a 10m), para as bandas 412, 443, 488, 531, 551, 667 e 668 e o a_{CDOM} (443), para o verão e inverno de 2012

As análises de componente principal (PCA) foram feitas com o intuito de identificar padrões espaciais e temporais entre os pontos amostrados (Figura 16). O primeiro eixo principal da PCA explica 45% da variabilidade observada. Para este eixo, as variáveis com maior influência no padrão de distribuição dos pontos foram o coeficiente de atenuação da luz ($K_d(\lambda)$), em todas as bandas espectrais, e, em menor intensidade, o restante das variáveis (Silicato, Fosfato, N total, salinidade, temperatura, maré e velocidade do vento). Para o segundo eixo principal (17% da variabilidade) as variáveis temperatura, Silicato e N total tiveram maior impacto no padrão de distribuição dos pontos que as variáveis restantes. A segunda componente contribuiu para maior dispersão, em seu eixo, dos pontos de verão, em relação aos de inverno (Figura 16A). O terceiro e quarto eixo principais foram responsáveis por 15 e 10% da variabilidade observada, respectivamente.

A correlação entre os autovalores da Componente Principal 1 (PC1), ou seja as coordenadas dos pontos na PCA, neste eixo, com a concentração de clorofila-a total e nas classes de tamanho (Figura 17) foi significativa ($p < 0,05$). O coeficiente de atenuação de luz ($K_d(\lambda)$) foi o determinante para o agrupamento dos pontos de inverno, na fração negativa da PC1 (Figura 16A, azul), referentes a camada de superfície (Figura 16B, vermelho). Estes pontos parecem estar relacionados aos maiores valores de concentração de clorofila-a encontrados (Figura 17A), indicando a importância da intensidade luminosa no inverno, para o acúmulo de biomassa.

Os autovalores da segunda componente principal (PC2) foram relacionados à concentração de clorofila-a total, à fração do nano e picofitoplâncton ($p < 0,01$), e marginalmente correlacionado a fração microfitoplâncton ($p = 0,013$). Os maiores valores de concentração de clorofila-a não se mostraram relacionados à PC2, estando localizados próximos ao zero deste eixo (Figura 18A). Entretanto os valores intermediários de concentração de clorofila-a são associados à porção negativa da PC2, com maior influência da atenuação da luz e concentração de nutrientes (Figura 16).

Figura 16. Análise dos Componentes Principais 1 e 2 em A: distinguindo-se os pontos referentes ao verão ("v" em vermelho) e inverno ("i" em azul) e a mesma análise em B: destacando-se a camada Superior de 0 a 10m ("s" em vermelho) e camada Meia-água de 10 a 25m ("m" em azul). Os dados abióticos e bio-óticos utilizados foram maré, velocidade do vento (vento), soma dos compostos nitrogenados (N total), Fósforo, Silicato, Salinidade, Temperatura e os K_ds nas bandas 412, 443, 488, 531m551, 667 e 678nm. A Primeira Componente Principal (PC1) e Segunda Componente Principal (PC2) explicam a 45 e 17% da variabilidade observada, respectivamente.

Figura 17. Regressão linear e coeficiente de determinação (R^2) entre os scores (autovalores) da primeira componente principal (PC1) e A: concentração de clorofila-a Total, B: concentração do microfitoplâncton, C: concentração do nanofitoplâncton e D: concentração do picofitoplâncton.

O coeficiente de absorção de luz pela matéria orgânica dissolvida colorida em 443nm (aCDOM 443) foi relacionado significativamente apenas com a primeira componente principal (Figura 19A, $p=0,001$). As variáveis relacionadas aos maiores valores do aCDOM foram $K_d(\lambda)$ e salinidade.

Figura 18. Regressão linear e coeficiente de determinação (R^2) entre os scores (autovalores) da segunda componente principal (PC2) e A: concentração de clorofila-a Total, B: concentração do microfitoplâncton, C: concentração do nanofitoplâncton e D: concentração do picofitoplâncton.

Figura 19. Regressão linear e coeficiente de determinação (R^2) entre o coeficiente de absorção de luz pela matéria orgânica dissolvida colorida em 443nm ($a_{CDOM.443}$) e os scores (autovalores) das primeira (A) e segunda (B) componentes principais (PC1 e PC2, respectivamente).

Tanto no verão como no inverno, foi observada relação entre a maré real (harmônica mais a meteorológica) e os componentes zonal e meridional do vento (Figura 20; $p < 0,05$).

Figura 20. Comparação entre a amplitude de maré e os componentes meridional (Comp. V) e zonal (Comp. U), para o verão e inverno, separadamente. Para este gráfico foram usados apenas os dados coincidentes com os horários das coletas.

Comparando-se a velocidade do vento e a altura de maré com a concentração de clorofila-a (Tabela 6), relações significativas foram obtidas no verão para o nano e picofitoplâncton (ANOVA, $p < 0,05$) e no inverno para a concentração de clorofila-a total, do micro e do nanoplâncton (ANOVA, $p < 0,05$).

Tabela 6. Valores de p encontrados para ANOVA entre Vento e Maré e concentração de clorofila-a total (Total), microfitoplâncton (Micro), Nanofitoplâncton (Nano) e Picofitoplâncton (Pico).

	Verão			Inverno		
	Vento	Maré	Vento e Maré	Vento	Maré	Vento e Maré
Total	0,16	0,1	0,23	0,00	0,01	0,00
Micro	0,5	0,17	0,59	0,00	0,00	0,00
Nano	0,15	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00
Pico	0,07	0,47	0,03	0,07	0,04	0,8

Foi encontrada uma relação inversa entre a profundidade local e o coeficiente de variação da concentração de clorofila-a total dos dados de cada réplica no tempo (Figura 21). Foram utilizados os valores reais de concentração de clorofila-a e os derivados da fluorescência natural.

Figura 21. Regressão linear entre o coeficiente de variação da clorofila-a total e profundidade média de cada ponto amostrado, para o verão de 2012 e inverno de 2012. Em virtude dos pontos não terem sido realizados exatamente nas mesmas coordenadas entre uma estação e outra, devido a derivação do barco, as médias da profundidade local de cada ponto entre verão e inverno foram distintas.

4.3 Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica

A comunidade fitoplanctônica do verão de 2012 foi composta por micro e nanoplâncton, em iguais concentrações ($0,53 \pm 0,41 \text{ mg/m}^3$ e $0,68 \pm 0,54 \text{ mg/m}^3$, ANOVA $p=0,09$), sendo o picoplâncton observado em menores valores, como esperado ($0,35 \pm 0,19$, ANOVA $p<0,05$), mas em mesmas ordens de magnitude que as outras duas classes. No inverno, os maiores valores de concentração de clorofila-a foram observados na fração do nanoplâncton, seguida pelo microplâncton e picoplâncton, todas diferentes entre si ($0,63 \pm 0,38 \text{ mg/m}^3$, $0,99 \pm 0,7 \text{ mg/m}^3$, $0,45 \pm 0,21 \text{ mg/m}^3$, ANOVA $p<0,05$), mas ainda dentro da mesma ordem de magnitude.

Na Figura 22 observa-se a distribuição das classes de tamanho nas profundidades amostradas. O micro e o nanofitoplâncton apresentaram iguais concentrações em superfície no verão ($0,46 \pm 0,41$ e $0,47 \pm 0,42$, ANOVA $p=0,98$). Em todas as outras profundidades durante verão e inverno, o nanofitoplâncton obteve maiores valores (ANOVA $p<0,05$).

Figura 22. Concentração de clorofila-a (mg/m^3) do microfitoplâncton (micro), nanofitoplâncton (nano) e picofitoplâncton (pico), nos três estratos da coluna de água amostrada. A altura das barras representa a mediana, e as linhas verticais indicam o erro padrão.

A análise de PERMANOVA (Tabela 7) mostrou que para a variância da concentração de clorofila-a do micro, nano e picofitoplâncton, foram significativas as relações entre Tempo (verão e inverno), os Pontos de Coleta (P01 a P05) e semana (semana 1 a semana 11) ($p < 0,05$), e entre Tempo, Estrato (Superfície, Meio e Fundo) e semana ($p < 0,01$).

Tabela 7 Resultado da análise estatística PERMANOVA para os dados de concentração de clorofila-a em classes de tamanho: micro, nano e picofitoplâncton. O asterisco (*) mostra os modelos com maior número de variáveis se correlacionando significativamente.

	R^2	p
Tempo	0,07	0,00
Ponto de coleta	0,06	0,00
Estrato	0,04	0,00
Semana	0,14	0,00
Tempo x Ponto x Semana	0,08	0,03*
Tempo x Estrato x Semana	0,06	0,01*
Tempo x Ponto x Estrato x Semana	0,03	0,6

5 DISCUSSÃO

5.1 Massas de água

Análises em grande escala de tempo das condições físicas do Canal de São Sebastião foram descritas em Wainer e Taschetto (2008), que destacam temperaturas da superfície do mar maiores que 26°C para o verão e entre 18,5° e 23,2°C para o inverno. No verão, contudo, devido a presença da ACAS mais próxima a costa, as temperaturas no fundo podem atingir valores menores de 18°C (CASTRO et al., 2008). Os valores de temperatura da água do mar observados no presente estudo encontram-se dentro do esperado para a região, destacando-se os valores reduzidos junto ao fundo, durante os eventos de entrada de ACAS acompanhando a batimetria do Canal. Valores de salinidade na superfície no Canal durante o verão são em geral maiores que 36, enquanto que para o inverno, a salinidade se mantém ao redor de 34 (CASTRO et al., 2008). Os valores de temperatura e salinidade permitiram detectar a presença de três massas de água nesta região: ACAS, AC e AT (ver SILVEIRA et al., 2000). Lembramos que os coeficientes de temperatura e salinidade utilizados para a classificação das massas de água foram sazonais, permitindo melhor distinção entre elas. (e.g. FERREIRA et al, 1999), mas esses ainda não são definitivos.

O afloramento sub superficial da ACAS possui escala temporal de dias a semanas, abrangendo de dezenas a centenas de quilômetros ao longo da plataforma continental sudeste do Brasil (CASTRO et al., 2006). Esse processo é bastante conhecido para a região de Cabo Frio, Rio de Janeiro, mas existem alguns registros da entrada de ACAS pelo Canal de São Sebastião (FERREIRA et al, 1999; PAIXÃO, 2008), que de acordo com os nossos resultados, pode ou não estar diretamente ligada a pluma de ressurgência em Cabo Frio. Esta é mais frequente durante o final da primavera e o verão, devido à predominância de ventos de Leste e Nordeste, porém foi observada durante o inverno (MOSER; GIANESELLA-GALVÃO, 1997). A entrada de ACAS no Canal ocorre pelo sul, devido à canalização dessa massa de água em paleo-canais na parte oceânica da Ilha Bela (PAIXÃO, 2008). A ACAS esteve presente no Canal nos meses de verão em proporções de até 80% no estrato médio e fundo, não sendo observada durante o inverno.

As altas correlações observadas entre a proporção de ACAS e a concentração de nutrientes mais próximas ao fundo (>20m) resulta das elevadas concentrações reportadas para essa massa de água. Do mesmo modo, durante um evento de ressurgência costeira em Cabo Frio (fevereiro de 2002), Guenther et al. (2008) encontraram valores médios, no fundo (40m), de $9,43\mu\text{mol/L}$ para soma dos compostos nitrogenados, $0,71\mu\text{mol/L}$ de Fosfato e $6,27\mu\text{mol/L}$ para Silicato. Gonzalez-Rodriguez et al. (1992) acharam uma ótima correlação entre temperatura e concentração de nitrato em Cabo Frio. Nossas observações estão de acordo com esse modelo empírico, mas apresentam alta dispersão e faixa de valores mais baixas, como já observado em trabalhos anteriores para a região (GIANESELLA et al., 1999; GIANESELLA; SALDANHA-CORRÊA, 2008).

O empobrecimento da ACAS está ligado ao consumo destes compostos que na região da uma pluma de ressurgência Cabo Frio leva poucos dias. (GONZALEZ-RODRIGUEZ et al., 1992). O mesmo pode estar acontecendo no afloramento da ACAS nas imediações da Ilha Bela até a entrada no Canal De fato, observamos valores maiores que $6,8\mu\text{mol/L}$ de soma dos compostos nitrogenados, relacionado à ACAS, em apenas três eventos durante o verão. Nos dias 17/01/2012, 07/02/2012 e 23/02/2012 a ACAS em meia água e fundo do Canal ficou com proporções entre 72 e 84%, de acordo com o triângulo de mistura empregado, atingindo o máximo de $11,65\mu\text{mol/L}$. Em outros dias, em que as proporções de ACAS foram superiores a 70% a média de N total foi de $5.8\mu\text{mol/L}$. Desta forma, se espera que o Canal, no verão, funcione como as adjacências de Cabo Frio durante eventos de ressurgência de menor magnitude (Figura 23A), exceto episodicamente quando a entrada de compostos nitrogenados é de fato alta, evidenciando de que a ACAS encontrada no Canal aflora em diferentes porções da plataforma adjacente a São Sebastião, apesar de algumas imagens de satélite sugerir que a extensão da pluma de Cabo Frio possa por vezes alcançar as proximidades da Ilha Bela. O esgotamento dos nutrientes de maneira mais rápida em algumas situações também é plausível. Todavia, não é possível inferir consumo de nutrientes em nossa escala temporal de observação.

Outra fonte de nutrientes para o Canal é a AC, resultante da interação das massas de água da plataforma com o aporte continental costeiro que depende da precipitação. Assim, a AC é caracterizada principalmente por salinidades baixas (SILVEIRA et al., 2000). Para a região de São Sebastião a climatologia prevê verões

chuvosos e invernos secos (médias de 226 mm e 76 mm, respectivamente. CLIMATEMPO, 2013), porém, estatisticamente, não houve diferença significativa entre as taxas de precipitação do verão e inverno de 2012.

Altas concentrações de nutrientes, no entanto, foram registradas próximo ao emissário submarino da Baía do Araçá (BRASIL-LIMA, 1998), e nos sedimentos ao redor Gubitoso et al. (2008). Porém, devido ao elevado hidrodinamismo, que carrega o excesso desses compostos (BRASIL-LIMA, 1998), esta área da Baía do Araçá foi classificada como “em processo de enriquecimento” (GUBITOSO et al., 2008). Assim, é possível inferir que o aumento da entrada de esgotos ou a restrição da circulação na baía poderiam acelerar esse processo, devido ao acúmulo de matéria orgânica. No presente trabalho as concentrações de nutrientes na baía do Araçá foram baixas, com exceção do silicato no inverno. Porém, devido aos elevados valores de concentração de clorofila-a, é possível inferir alto consumo local desses compostos. A grande diversidade e abundância de organismos bentônicos (AMARAL et al., 2010), sugere ainda uma alta interação entre a biota presente nos sedimentos e os nutrientes da coluna de água.

Figura 23. Mapas de temperatura superficial dos oceanos (média de 8 dias), obtidos do sensor MODIS/AQUA, para os períodos de A: 26/02 a 04/03/2012 e B: 19/07 a 26/07/2012. Em A, mostrando o alcance da pluma de ressurgência (menores temperaturas) de Cabo Frio, no verão de 2012. Em B, mostrando o alcance da pluma costeira no inverno de 2012, devido a passagem de frentes frias, com influência do Rio da Prata. Imagens obtidas pelo site da NASA Ocean Color Web.

Existem registros (CAMPOS et al., 1999; PIOLA et al., 2005; MÖLLER et al., 2008) que águas menos salinas são trazidas do sul por correntes costeiras durante o inverno, e possuem influência da pluma do Rio da Prata ao sul da plataforma continental Brasileira (Figura 23B). Ao se deslocar para o norte, cujo alcance latitudinal é maior em períodos com muita chuva na bacia de drenagem do Rio da Prata (SOARES; MÖLLER, 2001) esta massa de água é enriquecida por águas de rios menores da costa brasileira e impulsionada pelas frentes frias até a costa sudeste. Como resultado da Pluma do Rio da Prata e acúmulo com a Lagoa dos Patos, Piola et al. (2000) descreveram elevados valores de Silicato ($>10\mu\text{mol/L}$) em superfície, entre 38 e 36°S durante o verão, e atingindo latitudes menores durante o inverno. No Canal o inverno apresentou maiores valores de Silicato do que o verão (4,5 e 2,02 $\mu\text{mol/L}$, respectivamente), mesmo com os valores de precipitação entre as duas estações do ano sem diferenças significativas, sugerindo, portanto, a influência da corrente costeira trazendo aportes continentais remotos para o Canal. Porém, outros nutrientes que não o silicato, apresentaram menores valores no inverno (1,23 e $<0,1\ \mu\text{mol/L}$, para soma de compostos nitrogenados e fosfato, respectivamente), sendo o fosfato observado abaixo do limite de detecção. Assim presumimos que os maiores valores de silicato observados no inverno sejam residuais (BIBBY; MOORE, 2011), após o uso do pouco nitrato e fosfato disponível.

A AT é a massa de água de superfície da corrente do Brasil (Silveira et al., 2000), e, portanto, tende a se manter em regiões de talude e plataforma continental externa. No Canal ela só foi detectada durante o verão, não sendo observados maiores valores no inverno ou grandes intrusões sobre a plataforma continental, como visto em trabalhos anteriores (FERREIRA et al., 1999).

5.2. Comunidade Fitoplanctônica

A região do Canal de São Sebastião é considerada oligo-mesotrófica, e a presença de ACAS no Canal durante os meses de maior chance de afloramento dessa massa de água foi sempre associada a um aumento de biomassa fitoplanctônica devido à injeção de nutrientes (SALDANHA, 1993). No verão de 2012, elevados percentuais de ACAS trouxeram de fato uma maior concentração de nitrogênio e fosfato episodicamente, permitindo maior biomassa de microfitoplâncton do que no inverno. No entanto, ao longo das 11 semanas amostradas em cada

estação do ano, a clorofila-a total foi maior nos meses mais frios, com uma maior contribuição em biomassa da fração do nanofitoplâncton. Destacamos que a fração nanoplâncton cobre um gradiente de tamanhos relativamente grande da comunidade (entre 2 e 20 micras).

A maior porcentagem de ACAS no fundo (no verão) e a salinidade da baía do Araçá (no inverno) foram tratadas como fonte de nutrientes nas respectivas estações do ano. Marañón et al. (2001) já haviam discutido que as regiões oligotróficas de oceano aberto não se comportariam da mesma maneira que as áreas temperadas, com aumento da porcentagem de células maiores ocasionando maior biomassa. O que inferimos de nossas observações é que o Canal é um intercâmbio de situações onde o ambiente se comporta com características oligotróficas e em dado momento com influência da ressurgência em pulsos de curta duração no tempo.

A intrusão de nitrogênio novo (i.e. nitrato), decorrente dos pulsos de ACAS, parece ser o fator relevante no aumento da concentração do microfitoplâncton no verão. Entretanto, esse maior crescimento parece ser regulado segundo a relação apresentada por Agustí et al. (1987) onde tanto a densidade como a biomassa apresentam relação inversa com o tamanho celular. Já que o microfitoplâncton igualou sua biomassa à do nanofitoplâncton, de acordo com as estimativas de clorofila-a fracionada, ao que parece seu crescimento não foi suficiente para ultrapassar essa classe de tamanho. É razoável ainda inferir que as menores porcentagens observadas para o nanofitoplâncton só ocorreu devido à pastagem (KIORBOE, 1993; CÁCERES et al., 2013). Esse fato é corroborado pelo trabalho de Gasol et al. (1997), onde mostraram que em regiões oligotróficas a biomassa heterotrófica é geralmente superior à autotrófica, resultando em uma pirâmide invertida de biomassa. Os pulsos periódicos de injeção de nitrogênio promoveram uma vantagem para as maiores células no verão em relação a homogeneidade da entrada de nutriente no inverno (MALONE, 1980). No inverno o aporte de nutrientes pela AC foi mais constante (i.e. menor coeficiente de variação) nessa época, porém foi rapidamente exaurido. Os valores abaixo do limite de detecção do fosfato juntamente com elevada clorofila sugerem que este composto esteve presente em algum momento, mas que seu consumo foi rápido.

O fracionamento em classe de tamanho, por mais que apresente limitações metodológicas (LOGAN, 1993) foi consistente e revelou padrões sazonais na distribuição das classes de tamanho. A retenção de indivíduos menores que o poro

do filtro, pela presença de apêndices não pode ser excluída totalmente (LOGAN et al., 1994), mas foi minimizada pelo uso do vácuo baixo durante as filtrações (10-20mmHg) (SHELDON, 1972).

A escala semanal de amostragem do trabalho possibilitou explorar os processos de enriquecimento por nutrientes dos pontos mais profundos, localizados no meio do Canal de São Sebastião com a presença da ACAS.

A relação inversa bastante robusta entre o coeficiente de variação da Cla_{total} no tempo com a profundidade média local dos pontos deixa evidente que, nos pontos mais rasos, principalmente para o da Baía do Araçá, a pequena profundidade da Baía (~1,5m) e a mistura provocada pela maré permitem maior contato entre os organismos planctônicos e a fauna bentônica, propiciando variações na concentração de clorofila-a em pequena escala temporal (LUCAS; CLOERN, 2002). A Baía do Araçá possui uma diversa comunidade de macrofauna bentônica (AMARAL et al, 2010), com potencial para o controle da produção primária planctônica (ALPINE; CLOERN, 1992; PASOTTI et al., 2012), o que corrobora o consumo local quase por completo dos nutrientes provindos pelos pequenos aportes de água doce locais.

Baseado na distribuição vertical, sazonal, esperada das massas de água, o desenho amostral assumindo o Canal estruturado em três estratos homogêneos distintos, se mostrou relevante durante o verão, devido à heterogeneidade físico-química observada nos 3 estratos. A relação da ACAS proveniente do fundo com as classes de tamanho ocorreram principalmente no estrato médio (3 a 20m) onde a luz já se fazia presente. Apesar de não ter havido correlação da ACAS com o microfitoplâncton, esta classe de tamanho esteve presente nas mesmas concentrações em todos os estratos.

No inverno, a ação conjunta da maré e vento no inverno ocasionou empilhamento de água dentro do Canal, gerando maior mistura na coluna de água e conseqüente homogeneidade dos nutrientes. A ação das marés no transporte e formação de correntes é considerada insignificante (PAIXÃO, 2008) no Canal. No entanto, conforme menor a profundidade mais esta variável passa a ser relevante (LUCAS; CLOERN, 2002). A homogeneidade entre os estratos e a entrada constante, porém baixa, de nutrientes, parecem ter sido os fatores que propiciaram maiores proporções do nanofitoplâncton (HUETE-ORTEGA et al., 2011).

5.3. Campo luminoso

A atenuação da luz na coluna de água é quantificada pelo coeficiente de atenuação vertical da luz difusa (K_d [m^{-1}]), o qual é diretamente relacionado à absorção desta nos diferentes comprimentos de onda (MOREL; PRIEUR, 1977). O $K_d(\lambda)$, em todas as bandas espectrais, foi diretamente responsável pela distribuição dos pontos na camada de superfície (0 a 10m). Nesse intervalo de profundidade ocorreu a maior parte da atenuação da luz, devido, principalmente, à comunidade fitoplanctônica. A correlação entre os maiores valores de $K_d(\lambda)$ e os menores comprimentos de onda, bandas espectrais onde ocorre a maior absorção de luz pelo fitoplâncton, comprovam isso (MOREL, 1988). Em meia-água (10-25m), o coeficiente de atenuação da luz ficou muito reduzido. Isso ocorreu devido a maior aproximação do $K_d(\lambda)$ em relação ao $K_d(\lambda)$ específico da água (K_{dw}), indicando, principalmente na banda espectral do vermelho (667-678nm), que a atenuação da luz ocorreu exclusivamente pelas moléculas de água (MOREL; MARITORENA, 2001). Os valores negativos ocorreram devido aos $K_{dw}(\lambda)$ utilizados (SMITH; BAKER, 1981) terem sido estipulados para águas “naturalmente claras”, sem influência de nenhum outro material.

O aCDOM, que é um indicativo da concentração da matéria orgânica dissolvida colorida, não apresentou correlação com o K_d - $K_{dw}(\lambda)$, em nenhum comprimento de onda, em ambas as estações do ano e nas camadas superior e inferior. A maior magnitude do aCDOM foi observada no inverno, onde apresentou também correlação com a salinidade. Ao contrário do observado em outros estudos (BRICAUD et al., 1981), o aCDOM não apresentou correlação com a concentração de clorofila-a, podendo indicar que os maiores valores de CDOM encontrados no inverno, provém do aporte terrestre. Entretanto, apesar de significativa ($p=0,01$), o R^2 da correlação aCDOM-salinidade foi muito baixo ($R^2=0,05$).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica do Canal possui diferentes escalas de variabilidade espaço – temporais que varia com a distância da linha da costa. Uma restrita nas menores profundidades, onde os processos de produção e retirada da comunidade fitoplanctônica parece ocorrer em escalas de dias, e outra com escala semanal, presente nas porções com maior profundidade local. No Canal a ressurgência é tida como moderada, com ACAS se apresentando de forma bastante variada, trazendo nutrientes ou não. Durante o verão foram observadas três camadas distintas, com maior clorofila em meia água, onde a proporção de luz e nutrientes se mantém favorável ao crescimento fitoplanctônico.

Com volumes iguais de chuvas entre verão e inverno, a concentração dos nutrientes foram muito baixas, sugerindo que os mesmo sejam exauridos rapidamente. No verão a ACAS foi responsável pela maior quantidade de nitrato, possibilitando o maior crescimento da classe do microfitoplâncton. No inverno, o silicato, provindo da baía do Araçá, permaneceu com concentrações altas devido ao rápido consumo dos outros compostos. A concentração de clorofila-a, devido ao maior acumulo de nanofitoplâncton, foi maior no inverno. As análises multivariadas sugerem que isso se deve a baixa concentração de nutrientes que, associada a maior mistura, promoveu a dominância da classe de menor tamanho celular.

7 CONCLUSÕES

A estrutura da comunidade variou entre verão e inverno. No verão a ACAS promoveu o aumento do microfitoplâncton, porém não houve dominância dessa fração. No inverno, a mistura e a provável entrada constante de nutrientes de origem continental favoreceu a fração do nanofitoplâncton

A mistura turbulenta por maré e ventos se mostrou quase tão importante quanto luz e nutrientes na concentração de clorofila-a, em cada classe de tamanho.

Os resultados indicam que ao longo do tempo existe uma forte relação entre a variabilidade e a profundidade local que sugere um alto grau de acoplamento bentico-pelagial na região mais rasa do cana de São Sebastião.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUSTI, S.; DUARTE, C. M.; KALFF. Algal cell size and the maximum density and biomass of phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, v.32, n. 4, p. 983-986. 1987.
- ALPINE, A. E.; CLOERN, J. E. Trophic interactions and direct physical effects control phytoplankton biomass and production in an estuary. **Limnology and Oceanography**, v.35, n.5, p. 946-955. 1992.
- 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'Exploration des Océans. 1983.
- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, p. 32–46. 2001.
- ATKINSON, L. P.; HUTHNANCE, J.; BLANCO, J.L. Circulation, mixing and the distribution of remineralized nutrients. In: ROBINSON, A. R.; MCCARTHY, J.; ROTHSCILD, B. J. (Ed.). **The Sea**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2004. v. 13. cap. 8, p. 227-268.
- BABIN, M.; STRAMSKI, D.; FERRARI, G. M.; CLAUSTRE, H.; BRICAUD, A.; OBOLENSKY, G.; HOEPFFNER, N. Variations in the light absorption coefficients of phytoplankton, non-algal particles, and dissolved organic matter in coastal waters around Europe. **Journal of Geophysical Research**, v.108, n. C7 p. 4,1-4,20. 2003.
- BIBBY, T. S.; MOORE, C. M. Silicate: nitrate ratios of upwelled waters control the phytoplankton community sustained by mesoscale eddies in sub-tropical North Atlantic and Pacific. **Biogeosciences**, v. 8, p. 657–666. 2011.
- 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 Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.
- BRICAUD, A.; MOREL, A.; PRIEUR, L. Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains. **Limnology and Oceanography**, v. 26, n. 1, p. 43-53. 1981.
- BRINK, K. H. Coastal physical processes overview. In: ROBINSON, A. R.; MCCARTHY, J.; ROTHSCILD, B. J. (Ed.). **The Sea**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2004. v. 13. cap. 2, p. 37-59.

- CÁCERES, C.; TABOADA, F. G.; HÖFER, J.; ANADÓN, R. Phytoplankton growth and microzooplankton grazing in the subtropical northeast Atlantic. **PLoS ONE**, v. 8, n. 7. e69159. doi:10.1371/journal.pone.0069159. 2013.
- CAMPOS, E. J. D.; LENTINI, C. A. D.; MILLER, J. L.; PIOLA, A. R. Interannual variability of the sea surface temperature in the South Brazil bight. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 14. p. 2061-2064. 1999.
- CASTRO, B. M., LORENZZETTI, J. A., SILVEIRA, I. C. A. S., MIRANDA, L. B. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B.; MADUREIRA, L.S-P. (Orgs) **O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Edusp. 2006, cap 1, p. 11-120.
- 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, 2008. Parte II, cap. 2, p. 59-121.
- CLIMATEMPO. Climatologia de São Sebastião (SP). Disponível em < <http://www.climatempo.com.br/climatologia/808/saosebastiao>> Acesso em: 19 set. 2013
- CLOERN, J. E.; JASSBY, A. D. Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine-coastal ecosystems. **Estuaries and Coasts**. v. 33. p. 230-241. 2010.
- CULLEN, J. J. The deep chlorophyll maximum: comparing vertical profiles of chlorophyll a. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 39, p. 791-803. 1982.
- CULLEN, J. J.; EPPLEY, R. W. Chlorophyll maximum layers of the Southern California Bight and possible mechanisms of their formation and maintenance. **Oceanologica Acta**, v. 4, n. 1, p. 23-32. 1981.
- CULLEN, J. J.; FRANKS, P. J. S.; KARL, D. M.; LONGHURST, A. Physical influences on marine ecosystem dynamics. In: ROBINSON, A. R.; MCCARTHY, J. J.; ROTHCHILD, B. J. **The Sea**. New York: John Wiley & Sons, 2002, v. 12, cap 08, p.297-336.
- DECEMBRINI, F.; CAROPPO, C.; AZZARO, M. Size structure and production of phytoplankton community and carbon pathways channeling in the Southern Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean). **Deep-Sea Research II**, v. 56, p. 687-699. 2009.

- DUGDALE, R.; MEZNEL, D. W.; RYTHER, J. H. Nitrogen fixation in the Sargasso Sea. **Deep-Sea Research**, v. 7, p. 297-300.
- FALKOWSKI, P. G. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. **Science**, v. 281. p. 200-206. 1998.
- FALKOWSKI, P. G. Rationalizing elemental ratios in unicellular algae: mini review. **Journal of Phycology**, v. 36, p. 3-6. 2000.
- FALKOWSKI, P. G.; KOLBER, Z. Variations in Chlorophyll Fluorescence yields in phytoplankton in the world oceans. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 22, p. 341-355. 1995.
- FALKOWSKI, P.G.; RAVEN, J. A. **Aquatic Photosynthesis**. Princeton: Princeton University Press, 2nd ed. 2007.
- FENCHEL, T. Marine plankton food chains. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 19, p. 19-38, 1988.
- FERREIRA, M. M.; FARIA, C. G.; PAES, E. T. Oceanographic characterization of northern São Paulo Coast: a chemometric study. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 47, p. 289–297. 1999.
- FOFONOFF, P.; MILLARD, R. C. Jr. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. **Unesco technical papers in marine science**. n.44. p.53.
- GARGETT, A.; MARRA, J. Effects of upper ocean physical processes (turbulence, advection and air-sea interaction) on ocean primary production. In: ROBINSON, A. R.; MCCARTHY, J. J.; ROTHCHILD, B. J. (Ed.). **The Sea**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002. v. 12, cap. 2, p.19-49.
- GASOL, J. M.; GIORGIO, P. A. del; DUARTE, C. M. Biomass distribution in planktonic communities. **Limnology and Oceanography**, v. 46, n. 2, p.1353-1363. 1997.
- GEIDER, R. J.; MACINTYRE, H. J.; KANA, T. M. A dynamic regulatory model of phytoplanktonic acclimation to light, nutrients, and temperature. **Limnology and Oceanography**, v. 43, n. 4, p. 679-694. 1998.
- GIANESELLA, S. M. F.; KUTNER, M. B. B.; SALDANHA-CORRÊA, F. M. P.; POMPEU, M. Assessment of plankton community and environmental conditions in São Sebastião Channel prior to the construction of a produced water outfall. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 47, n. 1, p. 29-46. 1999.
- GIANESELLA, S. M. F.; SALDANHA-CORRÊA, F. M. P. Características químicas. In: PIRES-VANIN, A. M. S. (org.) **Oceanografia de um ecossistema subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP**. São Paulo: Edusp, 2008. Parte III, cap. 1, p. 183-203.
- GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; VALENTIN, J. L.; ANDRÉ, D. L.; JACOB, S. A. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brazil): comparison of biomass and

- primary production responses. **Journal Of Plankton Research**, v. 14, n. 2, p. 289-306. 1992.
- 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.
- GUENTHER, M.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; CARVALHO, W. F.; REZENDE, C. E.; MUGRABE, G.; VALENTIN, J. L. Plankton trophic structure and particulate organic carbon production during a coastal downwelling-upwelling cycle. **Marine Ecology Progress Series**, v. 363, p.109-119. 2008.
- HOUT, Y.; BABIN, M.; BRUYANT, F.; GROB, C.; TWARDOWSKI, M. S.; CLAUSTRE, H. Relationship between photosynthetic parameters and different proxies of phytoplankton biomass in the subtropical ocean. **Biogeosciences**, v. 4, p. 853-868. 2007.
- HUETE-ORTEGA, M.; CALVO-DÍAZ, A.; GRAÑA, R.; MOURIÑO-CARBALLIDO, B.; MARAÑÓN, E. Effect of environmental forcing on the biomass, production and growth rate of size-fractionated phytoplankton in the central Atlantic Ocean. **Journal of Marine Systems**, v. 88, p. 203-213. 2011.
- HUETE-ORTEGA, M.; MARAÑÓN, E.; VARELA, M; BODE, A. General patterns in the size scaling of phytoplankton abundance in coastal waters during a 10-year time series. **Journal of Plankton Research**, v. 32, n. 1, p. 1-14. 2010.
- IOCCG - INTERNATIONAL OCEAN-COLOUR COORDINATING GROUP. Status and plans for satellite ocean-colour missions: considerations for complementary missions. **Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group**, Dartmouth, Canada, n. 2, p. 1-43, 1999.
- IOCCG - INTERNATIONAL OCEAN-COLOUR COORDINATING GROUP. Remote Sensing of ocean color in coastal, and other optically-complex, waters. **Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group**, Dartmouth, Canada, n. 3, p. 1-140, 2000.
- JACKSON, G. A. Phytoplankton growth and zooplankton grazing in oligotrophic oceans. **Nature**, v. 184, p. 439 – 441. 1980.
- KIORBOE, T. Turbulence, phytoplankton cell size and the structure of pelagic food webs. **Advances in Marine Biology**, v. 29, p. 1-72. 1993
- KIRCHMAN, D. L. **Microbial ecology of the oceans**. New York: Wiley, 2nd ed. 2008.
- LAWS, E. A.; FALKOWSKI, P. G.; SMITH, W. O. Jr.; DUCLOW, I.; MCCARTHY, J. J. Temperature effects on export production in the open ocean. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 14, n. 4, p. 1231-1246. 2000.
- LAZAR, D. Chlorophyll a fluorescence induction. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1412, p 1-28. 1999.

- LEGENDRE, L.; RASSOULZADEGAN, F. Food-web mediated export of biogenic carbon in oceans: hydrodynamic control. **Marine Ecology Progress Series**, v. 145, p 179-193. 1996.
- LOCHTE, K.; DUCKLOW, H. W.; FASHAM, M. J. R.; STIENEN, C. Plankton succession and carbon cycling at 47°N 20°W during the JGOFS North Atlantic Bloom Experiment. **Deep-Sea Research II**, v. 40, n. 1/2, p 91-114. 1993.
- LOGAN, B. E. Theoretical analysis of size distributions determined with screens and filters. **Limnology and Oceanography**, v. 32, n. 2, p. 372-381. 1993.
- LOGAN, B. E.; ALLDREDGE, A. L. Variable retention of diatoms on screens during size separation. **Limnology and Oceanography**, v. 39, n. 2, p. 390-395. 1994.
- LONGHURST, A. R.; HARRISON, W. G. The biological pump: profiles of plankton production and consumption in the upper ocean. **Progress in Oceanography**, v. 22, p. 47-123. 1989.
- LORENZEN, C. J. A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. **Deep-Sea Research**, v. 13, p. 223-227. 1966.
- LUCAS, L. V.; CLOERN, J. E. Effects of tidal shallowing and Deepening on Phytoplankton Production Dynamics: A Modeling Study. **Estuaries**, v. 25, n. 4A, p. 497–507. 2002.
- LUCAS, L. V.; CLOERN, J. E. Effects of tidal shallowing and deepening on phytoplankton production dynamics: a modeling study. **Estuaries**, v. 25, n. 4A, p.497-507. 2002.
- MALONE, T. C. Algal size. In: MORRIS, I. (Ed.). **The Physiological Ecology of Phytoplankton**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1980. cap. 12, p. 433-463.
- MAHIQUES, M. M.; MISHIMA, Y.; RODRIGUES, M. Characteristics of the sedimentary organic matter on the inner and middle continental shelf between Guanabara Bay and São Francisco do Sul, south-eastern Brazilian margin. **Continental Shelf Research**, v. 19, p. 775–798, 1999.
- MAMAYEV, O. I. **Temperature Salinity analysis of world ocean waters**. Amsterdam: Elsevier. 1975
- MARAÑÓN, E. Phytoplankton size structure. In: STEELE, J. H.; TUREKIAN, K. K.; THORPE, S. A. (Ed.). **Encyclopedia of Ocean Sciences**. Oxford: Academic Press, 2009. p. 252-256.
- MARAÑÓN, E.; HOLLIGAN, P. M.; BARCIELA, R.; GNZÁLEZ, N.; MOURIÑO, B.; PAZÓ, M. J.; VARELA, M. Patterns of phytoplankton size structure and productivity in contrasting open-ocean environments. **Marine Ecology Progress Series**, v. 216, p. 43-56. 2001.
- MARGALEF, R. Life forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologica Acta**, v. 1, n. 4, p. 493-509. 1978.

- MARGALEF, R. Turbulence and marine life. **Scientia Marina**, v. 61, n. 1, p. 109-123. 1997.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668. 2000.
- MILLER, C. B. **Biological Oceanography**. Oxford: Blackwell Science Ltd. 2004.
- MÖLLER JR, O. O.; PIOLA, A. R.; FREITAS, A. C.; CAMPOS, E. J. D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1607-1624. 2008.
- MOREL, A. Meeting the challenge of monitoring chlorophyll in the ocean from outer space. In: GRIMM, B.; PORRA, R. J.; RÜDIGER, W.; SCHEER, H. (Ed.): **Chlorophylls and Bacteriochlorophylls: Biochemistry, Biophysics, Functions and Applications**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2006. cap. 36, p. 521–534.
- MOREL, A. Optical Modeling of the upper ocean in relation to its biogenous matter content (case I waters). **Journal of Geophysical Research**, v. 39, n. C9, p.10749-10768. 1988.
- MOREL, A. Optical modeling of the upper ocean in relation to its biogenous matter content (Case 1 Waters). **Journal of Geophysical Research**, v. 93, n. C9, p. 10.749-10.768. 1988.
- MOREL, A.; MARITORENA, S. Bio-optical properties of oceanic waters: a reappraisal. **Journal of Geophysical Research**, v.106, n. C4, p. 7163-7180. 2001.
- MOREL, A.; PRIEUR, L. Analysis of variations in ocean color. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 4, p. 709-722. 1977.
- MOSER, G. A. O; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F. Biological and oceanographic upwelling indicators at Cabo Frio (RJ). **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 45, n. 1/2, p. 11-23. 1997.
- OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; M.; STEVENS, H. H.; WAGNER, H. **vegan: Community Ecology Package**. R package version 2.0-8. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>. 2013
- 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.
- PASOTTI, F.; TROCH, M.D.; RAES, M.; VANREUSED, A. Feeding ecology of shallow water meiofauna: insights from a stable isotope tracer experiment in potter Cove, King George Island, Antarctica. **Polar Biology**, v. 35, p.1629–1640. 2012.

- PIOLA, A. R., MATANO, R. P., PALMA, E. D., MÖLLER JR, O. O., CAMPOS, E. J. D. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. L01603, p. 1-4. 2005.
- PIOLA, A. R.; CAMPOS, E. J. D.; MÖLLER JR, O. O.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. Subtropical Shelf Front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. C3, p 6565-6578. 2000.
- POMEROY, L. R. The Ocean's Food Web, A Changing Paradigm. **BioScience**, v. 24, n. 9, p 499-504. 1974.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. 2012.
- RICHARDSON, T. L.; CIOTTI, A. M.; CULLEN, J. J.; VILLAREAL, T. A. Physiological and optical properties of *Rhizosolenia formosa* (Bacillariophyceae) in the context of open-ocean vertical migration. **Journal of Phycology**, v. 32, p. 741-757. 1996.
- RICHARDSON, T. L.; JACKSON, G, A. Small Phytoplankton and Carbon Export from the Surface Ocean. **Science**, v. 315, p 838-840. 2007.
- 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, 2008. Parte III. cap. 3, p. 223-252.
- SALDANHA, F. M. P. **Simulação da mistura vertical de massa de água da região de Ubatuba (SP): efeitos sobre a produção primária e biomassa fitoplanctônica**. 1993. 276f. Dissertação (Mestrado Oceanografia Biológica). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.
- SCHLITZER, R., 2009. **Ocean Data View**, <http://odv.awi-bremerhaven.de>, 2009.
- SHELDON, R. W. Size separation of marine seston by membrane and glass- fiber filters. **Limnology and Oceanography**, v. 17, p. 494–498. 1972.
- SHOAF, W. T.; LIUM, B. W. Improved extraction of chlorophyll a and b from algae using dimethylsulfoxide. **Limnology and Oceanography**, v. 21, p. 926-928. 1976.
- SIEBURTH, J. McN.; SMETACEK, V.; LENZ, J. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. **Limnology and Oceanography**, v. 23, n. 2, p. 1256-1263. 1978.
- 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.

- SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; IKEDA, Y. A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171-183. 2000.
- SMITH, R. C.; BAKER, K. S. Optical classification of natural waters. **Limnology and Oceanography**, v. 23, n. 2, p. 260-267. 1978b.
- SMITH, R. C.; BAKER, K. S. Optical properties of the clearest natural waters (200-800 nm). **Applied Optics**, v. 20, n. 2, p. 177-184. 1981
- SMITH, R. C.; BAKER, K. S. The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. **Limnology and Oceanography**, v. 23, n. 2, p. 247-259. 1978a.
- SOARES, I.; MÖLLER JR, O. Low-frequency currents and water mass spatial distribution on the southern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, v. 21, p. 1785–1814. 2001.
- SVERDRUP, H. U. On Conditions for the vernal blooming of phytoplankton. **Journal du Conseil / Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer**, v. 18, p. 287-295. 1953.
- VEGA-PÉREZ, L. A. Zooplâncton. In: PIRES-VANIN, A. M. S. (org.) **Oceanografia de um ecossistema subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP**. São Paulo: Edusp, 2008. Parte III. cap. 4, p. 253-272.
- WAINER, I.; TASCHETTO, A. S. Climatologia dos parâmetros de superfície marinha da região sudeste da costa brasileira: ênfase na região de São Sebastião. In: PIRES-VANIN, A. M. S. (org.) **Oceanografia de um ecossistema subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP**. São Paulo: Edusp, 2008. Parte II. cap. 1, p. 41-57.
- WATERBURY, J. B.; WATSON, S. W.; VALOIS, F. W.; FRANKS, D. G. Biological and ecological characterization of the marine unicellular cyanobacterium *Synechococcus*. In: PLATT, T.; LI, W. K. W. (org.) **Photosynthetic phytoplankton**. Ottawa: Department of Fisheries and Oceans, 1986. p. 71-120.
- WELSCHMEYER, N. A. Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence of chlorophyll b and pheopigments. **Limnology and Oceanography**, v. 39, n. 8, p. 1985-1992. 1994.
- YENTSCH, C. S.; PHINNEY, D. A. A bridge between ocean optics and microbial ecology. **Limnology and Oceanography**, v. 34, n. 8, p. 1694-1750. 1989.

9 APÊNDICES

Apêndice 1

Tabela contendo os dados de tábua de maré *versus* altura de maré medida.

DATA	ESTAÇÃO	HORA	ALTURA TÁBUA	ALTURA MEDIDA
17/01/2012	1	09:11	0,6	0,34
17/01/2012	2	11:20	0,8	0,46
17/01/2012	3	12:44	0,8	0,81
17/01/2012	4	14:16	0,8	0,72
17/01/2012	5	15:40	0,4	0,38
23/01/2012	1	08:05	0,3	0,59
23/01/2012	2	08:45	0,3	0,53
23/01/2012	3	10:06	0,3	0,47
23/01/2012	4	11:35	0,3	0,61
23/01/2012	5	12:32	1,1	0,86
31/01/2012	1	07:23	0,9	0,28
31/01/2012	2	08:18	0,9	0,14
31/01/2012	3	09:35	0,9	0,06
31/01/2012	4	10:23	0,9	0,12
31/01/2012	5	11:05	0,5	0,06
07/02/2012	1	07:52	0,2	-0,02
07/02/2012	2	08:50	0,2	-0,17
07/02/2012	3	10:13	0,2	-0,13
07/02/2012	4	11:09	0,2	-0,01
07/02/2012	5	11:56	1,2	0,24
14/02/2012	1	07:55	0,6	0,18
14/02/2012	2	09:14	0,7	0,14
14/02/2012	3	10:10	0,7	0,16
14/02/2012	4	10:52	0,7	0,2
14/02/2012	5	11:30	0,7	0,1
23/02/2012	1	07:37	0,2	0,81
23/02/2012	2	08:26	0,2	0,64
23/02/2012	3	09:13	0,2	0,54
23/02/2012	4	10:19	0,2	0,52
23/02/2012	5	10:52	0,2	0,48
29/02/2012	1	07:35	0,9	0,68
29/02/2012	2	08:20	0,9	0,56
29/02/2012	3	09:30	0,9	0,57
29/02/2012	4	10:20	0,9	0,66
29/02/2012	5	11:00	0,9	0,51

DATA	ESTAÇÃO	HORA	ALTURA TÁBUA	ALTURA MEDIDA
08/03/2012	1	07:39	0,1	-0,06
08/03/2012	2	08:30	0,1	-0,22
08/03/2012	3	10:00	0,1	-0,09
08/03/2012	4	11:10	0,1	0,29
08/03/2012	5	11:45	1,2	0,54
14/03/2012	1	07:10	0,6	0,5
14/03/2012	2	08:20	0,6	0,53
14/03/2012	3	09:43	0,7	0,45
14/03/2012	5	11:05	0,7	0,53
22/03/2012	1	07:55	0,1	0,41
22/03/2012	2	08:55	0,1	0,24
22/03/2012	3	09:58	0,1	0,25
22/03/2012	4	10:35	0,1	0,3
22/03/2012	5	11:30	0,1	0,41
30/03/2012	1	07:24	0,8	0,73
30/03/2012	2	08:20	0,8	0,55
30/03/2012	3	09:55	0,8	0,48
30/03/2012	4	10:40	0,8	0,43
30/03/2012	5	11:12	0,8	0,4
04/06/2012	1	07:33	1	0,39
04/06/2012	2	08:00	0	0,06
04/06/2012	3	08:39	0	-0,23
04/06/2012	4	09:19	0	-0,11
04/06/2012	5	09:50	0	0,05
12/06/2012	1	07:47	0,5	0,06
12/06/2012	2	08:15	0,8	0,79
12/06/2012	3	09:17	0,8	0,78
12/06/2012	4	10:03	0,8	0,83
12/06/2012	5	10:35	0,8	0,8
19/06/2012	1	07:41	0,1	0,65
19/06/2012	2	08:16	0,1	0,15
19/06/2012	3	09:16	0,1	0,03
19/06/2012	4	10:06	0,1	-0,03
19/06/2012	5	10:40	0,1	0,16
27/06/2012	1	07:50	0,9	0,24
27/06/2012	2	08:52	0,9	0,85
27/06/2012	3	09:55	0,9	0,8
27/06/2012	4	10:35	0,9	0,67
27/06/2012	5	11:14	0,9	0,68
10/07/2012	1	07:45	0,9	0,66
10/07/2012	2	08:25	0,9	0,56
10/07/2012	3	10:02	0,9	0,44
10/07/2012	4	10:38	0,9	0,35

DATA	ESTAÇÃO	HORA	ALTURA TÁBUA	ALTURA MEDIDA
10/07/2012	5	11:02	0,9	0,33
19/07/2012	1	07:20	0	0,3
19/07/2012	2	08:04	0	0,35
19/07/2012	3	09:00	0	0,18
19/07/2012	4	10:05	0	0,1
19/07/2012	5	10:40	0	0,14
26/07/2012	1	07:10	0,8	0,24
26/07/2012	2	08:49	0,8	0,86
26/07/2012	3	09:46	0,8	0,75
26/07/2012	4	10:28	0,8	0,77
26/07/2012	5	10:55	0,8	0,76
02/08/2012	2	07:45	-0,1	0,91
02/08/2012	3	08:48	-0,1	0,03
02/08/2012	4	09:25	-0,1	-0,2
02/08/2012	5	09:51	-0,1	-0,37
09/08/2012	1	07:34	0,8	-0,32
09/08/2012	2	08:10	0,8	-0,29
09/08/2012	3	08:57	0,8	0,48
09/08/2012	4	09:27	0,8	0,46
09/08/2012	5	09:53	0,8	0,36
16/08/2012	1	07:11	0	0,34
16/08/2012	2	07:38	0	0,29
16/08/2012	4	09:54	0	-0,36
16/08/2012	5	NaN	0	-0,3
24/08/2012	4	07:16	0,8	-0,26
24/08/2012	1	08:18	0,8	0,08
24/08/2012	2	09:28	0,8	0,4
24/08/2012	3	10:40	0,8	0,37
24/08/2012	5	NaN	0,8	0,41