BETINA GALERANI RODRIGUES ALVES

Dinâmica do acoplamento bento-pelágico na plataforma
interna ao largo de Ubatuba (São Paulo, Brasil)

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

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Yukio Gomes Sumida

SÃO PAULO

2009

Universidade de São Paulo
Instituto Oceanográfico

Dinâmica do acoplamento bento-pelágico na plataforma interna ao largo de Ubatuba (São Paulo, Brasil)

Betina Galerani Rodrigues Alves

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

Julgada em ____/____/____

Prof. Dr.

Conceito

Prof. Dr.

Conceito

Prof. Dr.

Conceito

A percepção do desconhecido é a mais fascinante das experiências. O homem que não tem os olhos abertos para o misterioso passará pela vida sem ver nada.

Albert Einstein

Dedico a meus pais...

Agradecimentos

Ao Instituto Oceanográfico por me fornecer toda a logística necessária para realização desse trabalho. Obrigada a todos do Instituto!

Ao Prof. Paulo Sumida, pela oportunidade de trabalhar em seu laboratório e me iniciar no mundo científico, pela orientação, pelas idéias e ensinamentos, pelo estímulo e por acreditar em mim e nesse trabalho, Obrigada Paulo!!!

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado

A todo laboratório de Dinâmica Bêntica, Arthur, por toda a ajuda na estatística e nas ótimas dicas na correção! Cintia, pelos ensinamentos, ajuda, dicas, correções, conversas, amizade, proporcionando sua casa para muitos momentos de lazer! A Paula Moraes, por me ensinar tudo que sei sobre bactérias, pelas ótimas dicas na correção, pelo carinho e amizade, por também fornecer sua casa em muito momentos de lazer!!!! Por tudo! Karin, pelo companheirismo, sempre disposta a ajudar, pela amizade, por toda a ajuda sempre, a Camila, pelos ensinamentos lipídicos, dedico a você e ao Marcos toda a parte lipídica desse trabalho, obrigada!!!! A Maria, por todo carinho, por ter feito a biomassa pra mim, obrigada Maria!!! ao Marcos pelo incentivo e trabalhar com os lipídios, pelas dicas, pelo estímulo, por toda a força! A Dea, que pra mim terá sempre seu lugar aqui no laboratório, pela amizade, pelas caronas, por toda ajuda e carinho, aos estagiários A Paulinha, Tauana, Fernando, Carol e Lídia, seja bem vindos pois eu fui muito bem recebida nesse laboratório e me sinto muito feliz por estar junto a vocês!!! Obrigada!!

Ao laboratório vizinho e seus integrantes, San, obrigada por tudo sempre, você é o máximo! Cau, companheira, amiga, obrigada por tudo, Mau, obrigada pela ajuda na estatística, pela amizade, pelas caronas, por tudo! A Naty, pelas conversas, dicas de trabalho, por tudo! A Michele, pelo carinho, pelas conversas! Adorei sua companhia em Abrolhos! A Evelin, pela simpatia! Adoro vocês!!

Aos agregados do laboratório vizinho, Carol, amiga, arrasa gata!! Torço por você! Ao Bica, pelos muitos cafés engraçados! a Thais, companheira de Rio Claro, por muito momentos divertidos, por ter me emprestado o carro várias vezes, obrigada! A minha querida Caia, pelo carinho, desde as primeiras conversas, pela amizade e companheirismo, você é uma grande amiga!

Ao Prof. Gaeta por ter abrido as portas de seu laboratório para alguém que mal conhecia, por toda força, por ter acreditado em mim e me encaminhado para esse laboratório que estou hoje com todo o carinho! Anda bem que continuamos o contato por meio do Projeto Antares!! Obrigada, a Mayza, por todos os ensinamentos, por toda a força nas coletas e por ter me salvado do traumático primeiro embarque! Se não fosse você, acho que estava no Velliger até agora!!!! A Paulinha, pela ajuda no início do estágio, ao Gustavo Robinho, pela figura dos ventos! Pelas conversas, por toda a ajuda! Obrigada por tudo gente!

A Sati, do Laboratório de Química Orgânica, por disponibilizar os espectômetros, pela ajuda, pelos ensinamentos, pela simpatia e boa vontade sempre, muito grata!!!!

Ao Marcelo Rodrigues por ter feito o mapa que está neste trabalho, pelas conversas, pela força, Obrigada!!!

Ao Tomazinho, do DOB, por ter feito quase todas as minhas coletas, pela granulometria, pela simpatia, você é um herói!!! Ao pessoal do Velliger,

Manuel, Oziel e Daico, por me ajudarem sempre com meus enjôos e fazerem minha coleta! Obrigada!!!

A todos os especialistas que identificaram meus bichinhos: Sandra Bromberg (poliquetas), Carina Weiterman (anfípodas), Pedro Cristales (Cumáceos) e Paulo Sumida (ofiuróides), Obrigada!!!

A minha querida família, começando por vocês Pai e Mãe, por terem me apoiado em quase tudo o que quiz fazer na vida, obrigada por tudo sempre!!!! Aos meus irmãos do coração, Franklin e Fábio, vocês são muito preciosos, sou muito feliz de ter vocês ao meu lado sempre, amo vocês!!

A minhas queridas amigas ourinhenses, Mariana, Aninha, Kelize, Karine, Poline e Cristiane, morro de saudade de vocês, ter a amizade de vocês é a coisa mais gostosa do mundo e esse carinho sempre me deu muita força! Obrigada minhas queridas!!!!

A minha família paulistana, Eloisa, Tauana, Rafaela e Djalma, vocês me acolheram da forma mais carinhosa possível, completaram minha vida aqui nessa cidade maluca!!!! Obrigada sempre por toda a força, pelo carinho, por tudo!!!!!!!

Ao meu marido Djalma, grande amor da minha vida, meu companheiro, meu chão, minha vida, obrigada por tudo, amo você demais!!

ÍNDICE

Índice de Tabelas.....	iii
Índice de Figuras.....	Iv
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
3. ÁREA DE ESTUDO.....	6
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
4.1. Coleta de dados e amostragem.....	8
4.2. Coluna d'água.....	8
4.3. Amostragem do sedimento.....	10
4.3.1 Análise granulométrica e determinação do teor de carbonato de cálcio.....	10
4.3.2. Determinação do conteúdo de matéria orgânica total (MOT).....	11
4.3.3. Determinação da concentração de fitopigmentos.....	11
4.3.4. Análise de biormacadores lipídicos do sedimento.....	12
4.3.5. Determinação da densidade, biomassa e atividade bacteriana bêntica.....	14
4.3.6. Processamento de dados referentes à Macrofauna.....	16
4.4. Análise dos dados obtidos.....	16
5. RESULTADOS.....	19
5.1. Coluna d'água.....	19
5.2. Análise Granulométrica.....	22
5.3. Matéria orgânica total do sedimento.....	23
5.4. Análise dos fitopigmentos.....	23
5.5. Análise Lipídica.....	25
5.5.1. <i>Classes lipídicas</i>	25
5.5.2. <i>Análise de Componentes Principais</i>	33
5.6. Análise da comunidade bacteriana bêntica.....	35
5.7. Macrofauna.....	38
5.7.1. <i>Abundância, Composição, Contribuição relativa e Biomassa</i>	38

5.7.2. <i>Descritores de comunidade</i>	45
5.7.3. <i>Grupo Trófico – grupo Polychaeta</i>	46
5.8. <i>Resultados das análises multivariadas</i>	47
5.8.1. <i>Composição específica da comunidade da macrofauna bêntica</i>	47
5.8.2. <i>Análise temporal da variação dos dados ambientais – PCA</i>	49
5.8.3. <i>Dados Ambientais versus composição faunística – CCA e BIO-ENV</i>	51
6. DISCUSSÃO	53
6.1. <i>Coluna d’água</i>	53
6.2. <i>Ambiente sedimentar</i>	54
6.2.1. <i>Granulometria e Matéria Orgânica Total</i>	54
6.2.2. <i>Clorofila-a, Feopigmentos e Fitodetritos Sedimentares</i>	56
6.2.3. <i>Biomarcadores lipídicos</i>	57
<i>Principais fontes da matéria orgânica sedimentar na plataforma interna de Ubatuba</i>	57
<i>Forçantes ambientais sobre a composição da MO nos sedimentos de Ubatuba</i>	60
6.2.4. <i>Comunidade bacteriana bêntica</i>	62
6.2.5. <i>Macrofauna</i>	64
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
8. PERSPECTIVAS FUTURAS	72
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1: Posição geográfica dos cruzeiros, profundidade e equipamentos utilizados nos períodos de coleta.....</i>	8
<i>Tabela 2: Coordenadas geográficas, profundidade, temperatura, salinidade e concentração de oxigênio dissolvido na água de superfície e de fundo para o período amostrado.....</i>	19
<i>Tabela 3: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos ácidos graxos encontrados no sedimento da plataforma interna de Ubatuba Tabela 5: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos ácidos graxos encontrados no sedimento da plataforma interna de Ubatuba.....</i>	27
<i>Tabela 4: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos lipídios neutros, incluindo os álcoois, esteróis e alquenonas, encontrados no sedimento da plataforma interna de Ubatuba durante o período de amostragem.....</i>	32
<i>Tabela 5: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) das classes lipídicas encontradas no sedimento da plataforma interna de Ubatuba.....</i>	33
<i>Tabela 6: Resultados da análise de variância ANOVA de um critério referentes aos valores médios de biomassa da macrofauna total e dos principais grupos da macrofauna, entre os meses de amostragem ($n = 13$). *: valores de p não significativos. ns: valores não significativos.....</i>	44
<i>Tabela 7: Possíveis fontes dos principais biomarcadores lipídicos (modificada de Yoshinaga, 2006).....</i>	60

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Mapa da área de estudo mostrando a estação fixa, na costa de Ubatuba (SP).....</i>	8
<i>Figura 2: Perfil vertical de temperatura e salinidade para todo o período de coleta. Os perfis verticais de temperatura e salinidade mostraram a presença da ACAS no início do outono, na coleta de março/07 e no fim do inverno, em agosto/07. Entre o período que estende de abril a agosto/07, a coluna d'água manteve um perfil homogêneo (Figura 2) e, pelas características de temperatura superior a 20°C e salinidade entre 32,5 e 35,4, foi preenchida pela AC (Miranda, 1982).....</i>	19
<i>Figura 3: Variação temporal dos teores médios de matéria orgânica total (MOT) na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais representam o erro-padrão. Não houve amostragem de dados referentes a MOT em janeiro/07 e julho/07.....</i>	22
<i>Figura 4: Variação temporal das concentrações médias de clorofila-a e feopigmentos na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais representam o erro-padrão. Não houve amostragem em janeiro e julho de 2007.....</i>	23
<i>Figura 5: Razão Clorofila-a/Feopigmentos do sedimento, durante o período de amostragem.....</i>	24
<i>Figura 6: Variação temporal dos valores médios da deposição de cloropigmentos (CPE) na plataforma interna de Ubatuba. As linhas horizontais representam o erro padrão. Não houve amostragem em janeiro/07 e julho/07.....</i>	25
<i>Figura 7: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) das diferentes classes de lipídios nos sedimentos analisados. SCFA=Ácidos graxos saturados de cadeia curta (C_{14}-C_{21}), BRANCH=Ácidos graxos ramificados (10-metil-C_{16}, iso e anteiso C_{15} e C_{17}), MUFA=Ácidos graxos monoinsaturados (C_{16}, C_{18} e C_{20}), PUFA=Ácidos graxos poli-insaturados ($\text{C}_{16:2}$, $18:2$, $20:4$, $20:5$), LCFA=Ácidos graxos saturados de cadeia longa (C_{22} à C_{32}). Não houve amostragem em janeiro e julho/07, SCOH = álcoois saturados de cadeia curta (C_{10}-C_{22}), LCOH= álcoois de cadeia longa (C_{23}-C_{34}), $\sum \text{C}_{26} - \sum \text{C}_{30}$ = somatória dos esteróis C_{26} a C_{30}, Alquenonas = total de alquenonas insaturadas de cadeia longa (C_{37} e C_{38}).....</i>	28

- Figura 8: Contribuição relativa dos tipos de lipídios encontrados nos sedimentos amostrados. Não houve amostragem em janeiro e julho/07. SCFA=Ácidos graxos saturados de cadeia curta (C_{14} - C_{22}), BRANCH=Ácidos graxos ramificados (10-metil- C_{16} , iso e anteiso C_{15} e C_{17}), MUFA=Ácidos graxos monoinsaturados (C_{16} , C_{18} e C_{20}), PUFA=Ácidos graxos poli-insaturados ($C_{16:2}$, $18:2$, $20:4$, $20:5$), LCFA=Ácidos graxos saturados de cadeia longa (C_{24} à C_{32}). Não houve amostragem em janeiro e julho/07, SCOH = álcoois saturados de cadeia curta (C_{10} - C_{22}), LCOH= álcoois de cadeia longa (C_{23} - C_{34}), $\sum C_{26} - \sum C_{30}$ = somatória dos esteróis C_{26} a C_{30} , Alquenonas = total de alquenonas insaturadas de cadeia longa (C_{37} e C_{38}).....* 29
- Figura 9: Análise de componentes principais (PCA) através da representação gráfica dos eixos 1 e 2, assim como os grupos I e II, com os principais biomarcadores lipídicos encontrados, correlacionando suas possíveis fontes.....* 34
- Figura 10: Variação temporal dos valores médios de densidade bacteriana bêntica na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais indicam o erro padrão. Não houve amostragem em janeiro e julho de 2007.....* 35
- Figura 11: Variação temporal dos valores médios de biomassa bacteriana bêntica na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais indicam o erro padrão. Não houve amostragem em janeiro e julho de 2007.....* 36
- Figura 12: Variação temporal dos valores médios da porcentagem de células em divisão, na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais indicam o erro padrão. Não houve amostragem em janeiro e julho de 2007.....* 37
- Figura 13: Variação temporal dos valores médios da abundância em $0,05 \text{ ind.m}^{-2}$ da macrofauna, na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais a cima das barras indicam o erro padrão.....* 38
- Figura 14: Abundância média dos grupos pertencentes a macrofauna no sedimento da plataforma interna de Ubatuba. Outros: Nemertea, Sipuncula, Echiura, Priapulida e Hemichordata.....* 39
- Figura 15: Contribuição relativa dos grandes grupos da macrofauna durante o período amostrado.....* 41
- Figura 16: Variação temporal das espécies mais abundantes encontradas durante o período de estudo. As linhas verticais indicam o erro-padrão. A ausência de barras verticais indicam a ausência da espécie no período.....* 42

<i>Figura 17: Variação temporal da biomassa (peso úmido) da macrofauna total, durante o período de amostragem. Grupos inseridos: Polychaeta, Crustacea, Mollusca, Ophiuroidea, Echiura e Sipuncula). Linhas verticais indicam o erro-padrão.....</i>	43
<i>Figura 18: Biomassa relativa dos principais grupos da macrofauna durante o período de amostragem. Outros: Echiura e Sipuncula.....</i>	44
<i>Figura 19: Descritores de comunidade da macrofauna benthica (valores médios), durante o período de amostragem. Linhas verticais indicam o erro-padrão.....</i>	45
<i>Figura 20: Abundância relativa dos grupos funcionais alimentares do grupo Polycheta para todos os períodos de coleta. C = carnívoros, B = depositívoros de subsuperfície, DS = depositívoros de superfície, O = onívoros.....</i>	46
<i>Figura 21: Análise de ordenação (MDS) dos meses de amostragem em função da abundância das espécies da macrofauna benthica.....</i>	47
<i>Figura 22: Análise de ordenação (MDS) dos meses agrupados em estações do ano, em função da abundância das espécies da macrofauna benthica.....</i>	48
<i>Figura 23: Análise de componentes principais (PCA), com as variáveis representadas por vetores e os meses representados por pontos. O eixo 1 está na horizontal e o eixo 2 está na vertical.....</i>	49
<i>Figura 24: Análise de correspondência canônica (CCA) entre as principais variáveis ambientais e os táxons de maior abundância para a região de estudo. O eixo 1 está na horizontal e o eixo 2 na vertical.....</i>	51
<i>Figura 25: Direção e velocidade média, componente meridional e zonal dos ventos, durante o período de 2006 a 2008 na plataforma interna de Ubatuba (40 m). Fonte: Gustavo Oliveira, Laboratório de Produção Primária, Instituto Oceanográfico, USP.....</i>	68

RESUMO

Os sedimentos costeiros são importantes globalmente, pois atuam como receptores de grandes quantidades de material orgânico alóctone e autóctone, sendo responsáveis por cerca de 90% do enterramento de carbono no oceano global. Grande parte da matéria orgânica produzida na zona eufótica pelo fitoplâncton não atinge a superfície dos sedimentos, já que é reciclada na coluna d'água. Porém áreas costeiras, mais rasas, apresentam maior fluxo de fitodetritos, originados da produção primária da coluna d'água e do sedimento (pelo microfitobentos), além de pelotas fecais do zooplâncton. Dentro dos ecossistemas de plataforma continental, a fauna bêntica desempenha papel vital tanto como receptora de energia proveniente do pelágico, quanto como fornecedora de energia para os organismos demersais e de nutrientes para o fitoplâncton. O estudo do bentos é, portanto, fundamental para qualquer abordagem ecossistêmica que se pretenda fazer. O objetivo principal do trabalho foi analisar a variação temporal da dinâmica da macrofauna bêntica na plataforma interna de Ubatuba. A dinâmica bêntica foi analisada pela abundância, biomassa, descritores da comunidade (riqueza, diversidade, equitatividade) e análise trófica dos grupos mais abundantes, em função da origem e composição da matéria orgânica sedimentar, identificando a importância nutricional dos materiais de origem autóctones e alóctones. As coletas foram realizadas mensalmente em uma estação fixa, com início em outubro de 2006, por um período de um ano. A estação fixa possui uma profundidade de 40m e um regime oceanográfico de transição entre águas costeiras e de plataforma continental. O sedimento coletado foi utilizado para a análise de cloropigmentos, matéria orgânica total e classes lipídicas, assim como para análise de densidade e biomassa bacteriana bêntica e macrofauna. O presente estudo indicou que a dinâmica bêntica na região da plataforma interna de Ubatuba demonstra um regime não sazonal, mas sim dependente de forçantes ambientais, como a intrusão de massas d'água, e.g. a ACAS, trazendo nutrientes para a coluna d'água, gerando a chamada produção nova. Ou ainda pela chegada de frentes frias, com ventos fortes, mistura da coluna d'água e revolvimento do fundo. Pode-se dizer que houve uma íntima interação entre o compartimento bêntico e o pelágico através do fluxo de detritos da coluna d'água e sua mineralização pela biota bêntica. A dinâmica desta relação é moldada por fenômenos físicos que causam mudanças nas inter-relações entre os diversos compartimentos bênticos, ficando evidente o acoplamento bento-pelágico na região.

Palavras-Chave: macrofauna, matéria orgânica, acoplamento bento-pelágico, Ubatuba.

ABSTRACT

Coastal sediments are globally important for their role in the carbon cycle, being responsible for about 90% of the carbon burial in the global ocean. In continental shelf ecosystems, benthic communities play a vital role receiving energy from the pelagic system, serving as food source for demersal organisms, recycling nutrients back to the water column and sequestering part of the carbon into deeper layers of marine sediments. The present study aimed to investigate the variation on the dynamics of the benthic macrofauna on the inner shelf off Ubatuba-SP. Benthic macrofauna abundance, biomass, species richness, diversity, equitability and polychaete trophic groups were compared with the origin and composition of sedimentary organic matter. Sampling was carried out on a monthly basis starting in October 2006 for a year in a permanent station at 40 meters depth. The area is characterized by a transition between coastal and oceanic regimens. Sedimentary organic matter composition in terms of total organic matter, lipid biomarkers and phytopigments and phytodetritus showed a complexity typical from inner shelves and was driven by oceanic and atmospheric dynamics. Lipid biomarker composition revealed that particulated organic matter was mainly derived from autochthonous sources, composed of a combination of material derived from live plankton and detritic remains, bacterial production and from the benthic metazoan fauna. Terrestrial contribution to the sediment organic matter was small. The present study indicated that the benthic dynamics in the inner shelf off Ubatuba is molded by environmental forcing, especially the intrusion of water masses onto the shelf (e.g. ACAS), which brings nutrients to the euphotic zone stimulating new phytoplanktonic primary production. This enhances the flux of organic matter to the bottom increasing the benthic biota density and biomass. The arrival of cold fronts, with strong S-SW winds promoting water column mixing and sediment resuspension, was also fundamental in decreasing benthic community parameters (i.e. abundance and biomass). The dynamics of organic matter accumulation and removal suggest that the benthic biota in the inner shelf of Ubatuba is subjected to a constant pattern of settling and recolonization, which can be a key factor in the maintenance of high levels of species richness and equitability. The results obtained in the present study suggest a strong and complex benthic-pelagic coupling, influenced by mesoscale oceanographic events (i.e. hundreds of km; intrusion of ACAS) on the one hand and, on the other, by atmospheric events influencing the benthic system on a local scale, through the remobilization of sediments.

Keywords: macrofauna, organic matter, benthic pelagic coupling, Ubatuba.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas oceânicos possuem um papel vital no ciclo de carbono. O fluxo de carbono orgânico para o fundo marinho representa cerca de 0,1% da reserva global de carbono orgânico (Harvey, 2006) e está diretamente relacionado à produção primária e à profundidade local. A formação de depósitos sedimentares ricos em carbono orgânico ocorre principalmente em ambientes de alta produtividade e baixo hidrodinamismo (Henrichs, 1992). Em comparação ao oceano aberto, onde a deposição é mais lenta, nas áreas costeiras, o acúmulo de matéria orgânica no sedimento é maior, sendo que 25-50% da matéria orgânica produzida na coluna d'água atinge os sedimentos (Killops & Killops, 2005). Esse fluxo representa um elo entre os ciclos biogeoquímicos nos ecossistemas marinhos (Middelburg & Soetaert, 2004).

As fontes de matéria orgânica são diversas e dependentes da intensidade da produção autóctone (fitoplancônica) e da proximidade dos aportes alóctones fluviais, de erosão costeira, entre outros (Hedges, 1992). Grande parte da matéria orgânica produzida na zona eufótica pelo fitoplâncton não atinge a superfície dos sedimentos, já que é reciclada na coluna d'água. Porém áreas costeiras, mais rasas, apresentam maior fluxo de fitodetritos, originados da produção primária da coluna d'água e do sedimento (pelo microfitobentos), além de pelotas fecais do zooplâncton (Azam et al., 1983; Graf, 1992; Gooday & Turley, 1990). Uma parcela importante do carbono fixado em águas superficiais (10-40%) é utilizada pelo bacterioplâncton e remineralizada através da alça microbiana (Azam et al., 1983). A matéria orgânica depositada nos sedimentos estimula a degradação biogeoquímica mediada por esses microorganismos, em um processo conhecido como diagênese recente (Henrichs, 1992). Adicionalmente, organismos bênticos como a macrofauna consomem a matéria orgânica e influenciam, através da bioirrigação e bioturbação, nos processos de troca entre as frações orgânica e inorgânica nos sedimentos (Burdige, 2007).

A porção lábil da matéria orgânica consiste de biopolímeros como os carboidratos, proteínas, ácidos nucleicos e alguns lipídios, que são rapidamente degradados (Danovaro et al., 1999). A matéria orgânica refratária é composta por macromoléculas, como os ácidos húmicos e fúlvicos, álcoois de cadeia longa, que se preservam mais no sedimento por serem de difícil remineralização, sendo então

lentamente degradados (Bouillon & Boschke, 2006). Dessa forma, o acesso a origem, fontes e estado de reatividade da matéria orgânica sedimentar é feito através do uso de biomarcadores marinhos como os lipídios, pois constituem parte do material orgânico dos organismos marinhos e terrestres, assim como da matéria orgânica particulada que atinge os sedimentos. Em relação aos lipídios, esses compostos possuem uma grande variedade estrutural acoplada a uma elevada especificidade biológica, podendo ser utilizados como indicadores moleculares de organismos específicos (bactérias, diatomáceas, zooplâncton) e também como ferramentas para determinar fontes diferentes de matéria orgânica (continental, marinha, etc.) (Wakeham et al., 1995).

Os fitopigmentos são muito associados a quantidade de MO produzida na coluna d'água que atinge o sedimento (Boon et al., 1998). A clorofila-a é considerada o pigmento mais abundante do fitoplâncton e atua como traçador da MO derivada da produção primária. Já os feopigmentos são traçadores da quantidade de detritos depositada no sedimento (Sun et al., 1994). Por isso são eficientes marcadores da qualidade e quantidade da matéria orgânica.

A variação espacial e temporal na quantidade e na constituição da matéria orgânica que atinge a superfície dos sedimentos têm influência sobre a distribuição e o metabolismo dos organismos, bem como sobre a dinâmica da comunidade bêntica (Graf, 1992).

Dentro dos ecossistemas de plataforma continental, a fauna bêntica desempenha papel vital tanto como receptora de energia proveniente do pelagial, quanto como fornecedora de energia para os organismos demersais e de nutrientes para o fitoplâncton. O estudo do bentos é, portanto, fundamental para qualquer abordagem ecossistêmica que se pretenda fazer (Proop *et al.*, 1979; Postma & Zijlstra, 1988). A riqueza destes habitats também faz deles lugares de alimentação e criação para espécies migratórias, como peixes e crustáceos (Levinton, 1995).

A fonte de energia que alimenta as comunidades bênticas é proveniente principalmente da produção de matéria orgânica na coluna d'água e que atinge o fundo sob diversas formas, tais como restos de animais grandes, principalmente carcaças de vertebrados; restos vegetais de macroalgas, gramíneas marinhas e material de origem terrestre; partículas orgânicas, tais como pelotas fecais, carcaças de zooplâncton, carapaças de crustáceos e restos de organismos do fitoplâncton; e por último os macroagregados formados por organismos zooplanctônicos

gelatinosos, aderidos por filmes de bactérias denominados genericamente de neve marinha (Mann, 1982; Smetacek, 1984; Smith, 1985; Gooday & Turley, 1990; Hargrave, 1991).

Dentro do ambiente bêntico, as bactérias representam peça-chave na teia alimentar, pois são capazes de aumentar a qualidade da matéria orgânica através do enriquecimento protéico (Fabiano et al., 2004). Além disso, as bactérias são eficientes utilizando a porção refratária da matéria orgânica (Danovaro et al., 1999). Com isso, as bactérias podem ser consideradas um dos recursos alimentares utilizados pela meiofauna e macrofauna (Alongi, 1985). Alguns estudos sobre a resposta da biomassa microbiana bêntica em consequência do aporte de fitodetrítos foram realizados por Sumida et al. (2005), na região de ressurgência de Cabo Frio e por Yoshinaga et al. (2006) e Quintana (2004, 2008) na região de Ubatuba. Análises mais detalhadas sobre a dinâmica da comunidade bacteriana bêntica, principalmente em termos de densidade e biomassa, foram realizadas por Moraes (2007) e pelo presente trabalho.

O litoral norte do estado de São Paulo possui características oceanográficas que influenciam de forma significativa a estruturação das comunidades bênticas. A área interna da plataforma continental de Ubatuba exhibe variações de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e das condições hidrodinâmicas junto ao fundo. Essas variações hidrodinâmicas estão primariamente relacionadas a fenômenos locais como a intrusão da Água Central do Atlântico sul (ACAS) na plataforma interna durante o período de primavera-verão, e recuo no inverno, além do revolvimento do fundo devido a correntes de maré e passagens de frentes frias, estas mais freqüentes no outono e inverno (Mahiques et al., 2004).

O interesse nos processos dinâmicos associados às comunidades bênticas tem se desenvolvido principalmente nas regiões temperadas e de altas latitudes (Josefson et al., 2002; Stoeck & Kröncke, 2001; Cividanes et al., 2001; entre outros). Nesses ecossistemas, os padrões espaciais dessas comunidades são muito bem conhecidos. Em contraste, os ambientes tropicais e subtropicais de plataforma continental são menos compreendidos devido à sua grande extensão, compondo cerca de um terço das áreas de plataforma dos oceanos (Postma & Zijlstra, 1988), além de terem sido relativamente menos estudados.

Estudos sobre a organização espaço-temporal da comunidade bêntica na região de Ubatuba, realizados por Pires-Vanin (1992, 1993) e Sumida e Pires-Vanin,

(1997), encontraram variações sazonais na abundância da macrofauna relacionadas a processos físicos como entrada da ACAS e entrada e frentes frias, sendo a fauna bêntica mais abundante no período de primavera-verão e menos abundante em épocas de outono-inverno. Estudos mais recentes, analisando as relações entre as comunidades bênticas com forçantes hidrodinâmicas e a qualidade da matéria orgânica sedimentar realizados por Quintana (2004, 2008), mostraram que há uma resposta da comunidade bêntica à qualidade dos recursos alimentares e essa resposta possui variações temporais regidas por interações bento-pelágicas. Entretanto, os estudos anteriores foram realizados através de amostragens pontuais. O acompanhamento mensal das condições hidrológicas, da composição da matéria orgânica sedimentar e a amostragem do sistema bêntico podem esclarecer a contribuição relativa da produção primária local, a influência da ACAS e o balanço da matéria orgânica autóctone (de origem marinha) e alóctone (de origem terrestre) sobre a comunidade bêntica.

Informações sobre os processos biológicos e sobre a trofodinâmica da comunidade bêntica têm sido freqüentes na plataforma sudeste brasileira, sendo os conhecimentos disponíveis relativos à estrutura trófica de grupos de organismos predominantes (Paiva, 1990, 1993; Petti, 1990; Pires-Vanin, 1993; Muniz & Pires Vanin, 1999, 2000; Soares, 1992; Tararam *et al.*, 1993; Corbisier, *et al.*, 2006; Venturini 2007; Quintana 2004, 2008), sendo pioneiro o registro temporal dessas informações, desenvolvida pelo presente estudo.

Dessa forma, a comparação dos dados gerados por esse trabalho com os resultados obtidos em estudos pretéritos, vem a servir de suporte para uma melhor compreensão sobre como os processos de transferência de material orgânico através dos compartimentos biológicos da costa norte paulista comportam-se temporalmente, indicando o papel do bentos nesse fluxo de energia, tanto como receptor de matéria oriunda da coluna d'água, quanto como exportador de energia para as comunidades e como regenerador de nutrientes, retroalimentando a produção primária.

A presente dissertação está inserida no “*Projeto Antares*”, o qual tem como objetivo identificar e acompanhar mudanças em longo prazo dos ecossistemas costeiros da América do Sul, tanto naturais quanto antrópicas (*e.g.* mudanças climáticas). Foi criado através de uma parceria de vários países Sul-americanos com apoio do IOCCG (International Ocean Color Coordination Group) e POGO

(Partnership for the Observation of the Global Oceans). O grupo de produção primária do Prof. Dr. Salvador A. Gaeta do IOUSP sugeriu a inclusão de estudos relacionados ao sedimento a fim de avaliar como as mudanças no pelagial estariam relacionadas a possíveis mudanças no bentos, principalmente, em termos de densidade e biomassa, de diversidade, riqueza e equitatividade de espécies, de relações tróficas dos grupos mais abundantes, entre outros. E, através dessas informações, acessar como se comporta a dinâmica do sistema bêntico em resposta ao aporte de matéria orgânica alóctone e autóctone para o sedimento marinho.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho foi analisar a variação temporal da dinâmica da macrofauna bêntica na plataforma interna de Ubatuba. A dinâmica bêntica foi analisada pela abundância, biomassa, descritores da comunidade (riqueza, diversidade, equitatividade) e análise trófica dos grupos mais abundantes, em função da origem e composição da matéria orgânica sedimentar, identificando a importância nutricional dos materiais de origem autóctones e alóctones. Com a investigação dos dados hidrodinâmicos e de produção primária local, gerados pelo *Projeto Antares*, e os dados em nível molecular, da origem e composição da matéria orgânica sedimentar gerados por este trabalho, foi possível determinar a importância do acoplamento bento-pelágico no ecossistema costeiro em questão, assim como o elo entre a origem e composição da matéria orgânica sedimentar e a estrutura da comunidade bêntica, na costa norte do estado de São Paulo (SE Brasil).

Os dados obtidos foram utilizados na tentativa de confirmar que:

1. Mudanças temporais nos descritores da comunidade da macrofauna e dos microorganismos bênticos são acompanhadas por variações concomitantes na quantidade, qualidade e disponibilidade da matéria orgânica sedimentar, que por sua vez, é influenciada pelas características oceanográficas da coluna d'água.
2. Existem variações temporais, sendo essas mensais, e/ou sazonais, e/ou intranuais, na composição da matéria orgânica sedimentar assim como nas respostas na dinâmica da infauna bêntica na plataforma rasa de Ubatuba, São Paulo.

3. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma estação fixa (23°36,79S - 44°53,46W) localizada na Plataforma Continental Sudeste Brasileira – PCSE, a aproximadamente 18 milhas náuticas da costa de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo (Figura 1). A estação fixa possui uma profundidade de 40 m e um regime oceanográfico de transição entre águas costeiras e de plataforma continental. A plataforma interna ao Largo de Ubatuba é dominada por águas costeiras quentes ($T > 25^{\circ}\text{C}$) e com baixas salinidades (32-33), sendo o resultado da diluição de águas oceânicas pelo aporte de água doce vindo de pequenos e médios estuários (Castro Filho *et al.*, 1987; Castro e Miranda, 1998).

As massas de água presentes na região apresentam uma dinâmica dependente principalmente do vento (direção, intensidade e tempo de atuação sobre a superfície do oceano), das correntes e do relevo submarino, são elas: Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Tropical (AT), e Água Costeira (AC). A ACAS é caracterizada por temperaturas maiores que 10°C e menores que 20°C e salinidades entre 34,6 e 36 (Silveira *et al.*, 2000). Origina-se na convergência subtropical e cobre o fundo da plataforma continental externa até aproximadamente 60 m de profundidade. O limite mais profundo para essa massa d'água está em torno de 800 m (Pierre *et al.*, 1991), e o limite mais superficial está a 10 m no verão e a 70 m no inverno (Castro Filho *et al.*, 1987, Silveira *et al.*, 2000). A Água Costeira (AC) é resultado da mistura entre a água doce de origem continental com as águas de plataforma continental, sendo caracterizada por menores salinidades (32,2 – 35,4) e maiores temperaturas ($>20^{\circ}\text{C}$) da Plataforma Continental Sudeste. A Água Tropical (AT) caracteriza-se por ser quente e salina (temperatura $>20^{\circ}\text{C}$ e Salinidade $> 36,4$ (Miranda, 1982; Campos *et al.*, 1996, 2000; Silveira *et al.*, 2000).

Figura 1. Mapa da área de estudo mostrando a estação fixa, na costa de Ubatuba (SP).

Na PCSE, principalmente durante o verão, o predomínio de ventos de E-NE induzem o transporte da AT em direção ao oceano na camada de Eckman superficial, o que seria compensado pelo transporte da ACAS no sentido contrário, esta ocupando o fundo da plataforma e gerando a estratificação em duas camadas da coluna d'água. De acordo com Castro & Miranda (1998) essa intrusão da ACAS na costa sudeste está relacionada com meandros e vórtices da Corrente do Brasil (composta pela interação entre AT e ACAS). Para Silveira et al. (2000), as implicações da penetração da ACAS durante o período de verão são claras para a produtividade local, pois ela representa importante mecanismo que provê nutrientes às águas oligotróficas sobre a plataforma, promovendo o aumento da produção biológica local, assim como um consequente aumento da deposição de matéria orgânica (Gaeta et al., 1995).

No outono e inverno predominam ventos de SW, que ocasionam a intensificação do processo de mistura vertical, levando à destruição da termoclina sazonal. Nesses períodos, os ventos provocam uma maior penetração da AT em direção à costa na camada superficial, e uma recessão da ACAS ao largo da PCSE. Além disso, o esfriamento das águas superficiais e intensificação da mistura devido a ventos fortes,

torna a coluna d'água mais homogênea, havendo uma maior interação entre a AC e a AT (Castro-Filho et al., 1987).

Segundo Mahiques *et al.* (2004), a dinâmica complexa dessas três massas d'água controla os processos de sedimentação na margem continental sudeste brasileira. Neste contexto, Cabo Frio marca a transição entre o ambiente tropical (ao norte) e o subtropical (ao sul) (Rocha et al., 1975), como consequência de diferentes condições oceanográficas e sedimentares, prevalecendo características carbonáticas em direção ao norte e terrígenas ao sul de Cabo Frio (Mahiques et al., 2004).

Estudos feitos por Conti (2004), demonstram que a área de plataforma interna de Ubatuba apresenta predominância de material fino, como argila, silte e areia fina e muito fina, sendo encontrados valores pequenos de diâmetro médio do grão e baixo grau de seleção. Apresenta, em média, menor declividade do que as outras áreas do litoral norte de São Paulo. Nesta região, os limites das paleobacias são facilmente identificáveis, o que indica tratar-se de uma região que permite a preservação de estruturas topográficas. Segundo Mahiques et al. (1995, 1998, 1999), o aporte terrestre é extremamente dependente do regime de chuvas, levando a uma grande contribuição de sedimentos durante o verão. Durante esse período, o avanço da ACAS conduz ao recuo da AC (Castro Filho et al., 1987), rica em materiais continentais em suspensão, e ao transporte desses sedimentos para porções mais externas da plataforma. No inverno, o recuo da ACAS e a diminuição dos níveis de chuva restringem o aporte de sedimentos continentais na área.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Coleta de dados e amostragem

Foram realizadas treze coletas na estação fixa Ubatuba (Figura 1), a bordo do B/Pq *Véliger II* do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. As amostragens foram feitas mensalmente de outubro de 2006 a outubro de 2007, utilizando-se os equipamentos *mini-multicorer* e amostrador do tipo *van Veen*, de 0,05m² de área.

Não foram coletadas amostras relativas aos descritores do sedimento nos meses de janeiro e julho de 2007. Em janeiro, a amostragem foi prejudicada devido às condições do mar, inadequadas para coleta com o *mini-multicorer*. Neste período

apenas amostras para macrofauna foram coletadas com o pegador *van Veen*. Em julho, a coleta foi realizada a bordo do Navio Oceanográfico *Prof. W. Besnard*, do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, durante a campanha inverno do projeto Pró-Abrolhos, quando o *mini-multicorer* não estava disponível. Dessa maneira, não foi possível a coleta dos parâmetros sedimentares, sendo apenas a macrofauna coletada com o pegador de fundo *van Veen*, de 0,1m² de área.

Tabela 1: Posição geográfica dos cruzeiros, profundidade e equipamentos utilizados nos períodos de coleta.

Mês de Coleta	Posição	Prof (m)	Equipamento de Coleta
Outubro 2006	23°36.80 44° 53.49	41	<i>van Veen e mini-multicorer</i>
Novembro 2006	23°38.78 44° 58.49	40	<i>van Veen e mini-multicorer</i>
Dezembro 2006	23°36.75 44°53.51	40	<i>van Veen e mini-multicorer</i>
Janeiro 2007	23°36.84 44°53.48	40	<i>van Veen</i>
Fevereiro 2007	23°36.75 44°53.51	40	<i>van Veen e mini-multicorer</i>
Março 2007	23°36.79 44°53.46	39,5	<i>van Veen e mini-multicorer</i>
Abril 2007	23°36.79 44°53.46	40	<i>van Veen e mini-multicorer</i>
Maio 2007	23°36.77 44°53.46	40,5	<i>van Veen</i>
Junho 2007	23°36.76 44°53.48	40	<i>van Veen</i>
Julho 2007	23°36.76 44°53.48	41,6	<i>van Veen</i>
Agosto 2007	23°36.80 44°53.49	40	<i>van Veen e mini-multicorer</i>
Setembro 2007	23°36.80 44°53.49	40	<i>van Veen</i>
Outubro 2007	23°36.76 44°58.53	40,5	<i>van Veen</i>

4.2. Coluna d'água

Os perfis de salinidade, temperatura e dados de profundidade da coluna de água foram obtidos utilizando-se um CTD (BCTD, Falmouth Scientific Inc.). Os registros do CTD obtidos em campo foram processados pelo Laboratório de Produção Primária do IO-USP, o qual coordena o *Projeto Antares* (onde este trabalho está inserido), sendo responsável por todas as informações referentes à coluna d'água. Os dados da água de superfície e de fundo foram tabelados e os perfis para cada mês de coleta construídos.

A concentração de oxigênio dissolvido foi determinada através do método de Winkler (Grasshoff et al., 1983), a partir de coletas de amostras de água de superfície e fundo.

4.3. Amostragem do sedimento

Para a coleta de sedimento foram utilizados dois equipamentos, um *mini-multicorer*, desenvolvido no Laboratório de Dinâmica Bêntica, IOUSP, em conjunto com a empresa Rodas Santa Rita (responsável: Nelcides M. de Souza) e um pegador de fundo tipo *van Veen*, de 0,05m² de área. As amostras coletadas com *mini-multicorer* (cilindros de acrílico de 10 cm de diâmetro e 50 cm de altura) foram utilizadas para mensuração de parâmetros do sedimento, sendo uma coleta de três testemunhos, um testemunho destinado às análises de matéria orgânica total, clorofila-a e feopigmentos, um testemunho para os biomarcadores lipídicos e um testemunho para análise granulométrica (essa foi realizada apenas com material de um mês de coleta, por se tratar de uma estação fixa).

As amostragens da macrofauna bêntica e da densidade e biomassa bacteriana bênticas foram feitas em triplicata, utilizando-se um pegador de fundo tipo *van Veen*. As amostras de bactérias foram retiradas da camada superficial do sedimento, imediatamente após a chegada do pegador a bordo. A lavagem do sedimento para a macrofauna foi feita utilizando-se um conjunto de três peneiras divididas em 2,0, 1,0 e 0,5 mm de malha. O material retido foi primeiramente fixado em formol 4% e posteriormente substituído por álcool 70% para preservação em longo prazo. Os laboratórios da base norte do IOUSP em Ubatuba foram utilizados para o tratamento de amostras. As amostras de macrofauna foram levadas ao Laboratório de Dinâmica Bêntica para triagem e posterior identificação dos organismos. Nos períodos em que não houve possibilidade de coleta com o *mini-multicorer*, as amostras para a obtenção dos parâmetros sedimentares foram retiradas a bordo, da camada superficial do sedimento trazido pelo pegador de fundo *van Veen*.

4.3.1 Análise granulométrica e determinação do teor de carbonato de cálcio

Foi realizada uma única amostragem para a análise granulométrica. A análise da amostra de sedimento foi realizada pelo Laboratório de Sedimentologia do IOUSP, seguindo o método de peneiramento e pipetagem descrito em Suguio (1973). As amostras de sedimento foram classificadas segundo Shepard (1954) e Folk & Ward (1957). Os teores de carbonato detrítico foram obtidos através da diferença de peso de

alíquotas das amostras de sedimento, antes e após o ataque com solução de HCL 10% (método de dissolução ácida). As porcentagens de matéria orgânica foram determinadas a partir da oxidação das amostras de sedimento com peróxido de hidrogênio (Gross, 1971).

4.3.2. Determinação do conteúdo de matéria orgânica total (MOT)

Para do conteúdo de matéria orgânica total, os sedimentos preservados em freezer (-20°C) de todas as coletas foram submetidos à secagem em estufa a 60°C por 48 horas. Posteriormente, uma alíquota de ~0,5 a 2 g de sedimento seco foi transferida para cadinhos de porcelana e calcinada a aproximadamente 500°C por 2 horas em mufla para a determinação da MOT (Byers et al., 1978).

4.3.3. Determinação da concentração de fitopigmentos

A clorofila-*a* e os feopigmentos foram quantificados por espectrofotometria (espectrofotômetro modelo HITACHI® U-1100), através da extração com acetona 100% (Plante-Cuny, 1978). Cinco mililitros de acetona foram adicionados a 1-3 g de sedimento e sonicado (Thorton T14) por 10 min a 100 W. Posteriormente, as amostras foram incubadas à -20°C por 18-24 h. Para separação das fases solvente mais fitopigmentos e sedimentos, as amostras foram centrifugadas por 15 min à 3000 rpm. O sobrenadante foi então analisado em espectrofotômetro. Os cálculos para obtenção das concentrações de clorofila-*a* e feopigmentos do sedimento foram realizados utilizando-se as seguintes equações, modificadas por Lorenzen (1967):

$$Chl\ a\ (\mu g\ g^{-1}) = \frac{26,7[(C665 - C750) - (F665 - F750)](vol.\ água + vol.\ acetona)}{peso\ da\ amostra\ úmida - vol.\ água}$$

$$Feo\ (\mu g\ g^{-1}) = \frac{26,7[(1,7C665) - C750](vol.\ água + vol.\ acetona)}{peso\ da\ amostra\ úmida - vol.\ água}$$

onde:

26,7 = taxa de correção da clorofila-*a* (chl-*a*);

C665 e C750 = leitura nas densidades ópticas de 665 e 750 nm;

F665 e F750 = leitura nas densidades ópticas de 665 e 750 após acidificação com HCl;

1,7 = Taxa de C665/F665 na ausência de feopigmentos (feo);

Peso da amostra e vol. H₂O em cm³.

No sentido de obter mais informações sobre a qualidade da matéria orgânica, calculou-se a razão Clorofila-a/Feopigmentos (Cloro/Feo) do sedimento. Como a clorofila-a contém materiais mais lábeis, ou seja, mais ricos em nutrientes, e os feopigmentos contém materiais mais degradados, maiores razões Cloro/Feo indicam uma maior labilidade da matéria orgânica, enquanto que menores razões Cloro/Feo indicam haver maior presença de materiais degradados, implicando em uma baixa qualidade dessa matéria orgânica.

4.3.4. Análise de biomarcadores lipídicos do sedimento

O protocolo de análises utilizado foi baseado em Wakeham & Beier (1991) e Yoshinaga (2006). Estes biomarcadores foram medidos com o objetivo de detectar as fontes da matéria orgânica sedimentar. Em laboratório, as amostras de sedimento foram liofilizadas e aproximadamente 5 g foi utilizado na extração através de ultra-som (3x) por 30 minutos com uma mistura de diclorometano:metanol (9:1 v/v). Os extratos foram combinados e o volume reduzido a 4 mL em rotaevaporador. Padrões internos foram adicionados nos extratos com o intuito de quantificar e avaliar a recuperação dos compostos. Para a fração ácida, foi utilizado como padrão interno o 5 β -Ácido Colânico e o C₁₉ FAME, enquanto que para a fração neutra foi utilizado o 3- β -Hidroxi-5 α -Androstanol e o 5 α (H)-colestano.

Posteriormente, os extratos concentrados foram conduzidos ao processo de saponificação (ou hidrólise alcalina) com o intuito de separar as fases ácida (contendo ácidos graxos) e neutra (contendo esteróis, álcoois e alquenonas). Cada amostra foi evaporada sob o fluxo de N₂ ultrapuro. Quando secas, adicionou-se a cada frasco 3 mL de solução de KOH (0,5 N) em metanol e 1 mL de água destilada ultrapura (purificada através de extração com hexano em funil de separação). Foram então levadas ao aquecimento em banho-maria à 80°C por 2 horas.

Após a reação, os lipídios neutros foram extraídos da solução básica com n-hexano (3x3 mL) e concentrados em rotaevaporador. Aos concentrados foram aplicados o processo de separação em classes por coluna cromatográfica (16 cm de comprimento, 4 mm de diâmetro interno) utilizando-se alumina gel ativada (2,0 g alumina, 50-150 μ m malha). Através da separação de duas frações foram coletadas: A1 (hidrocarbonetos, não utilizados nesse estudo) com 10 mL hexano:diclorometano (9:1 v/v) e A2 (esteróis,

n-álcoois, alquil-diols, alquenonas e queto-ols) com 20 mL de diclorometano:metanol (1:1 v/v). Em seguida, a fração neutra A2 foi evaporada sob o fluxo de N₂ e derivatizada através da reação de silanização adicionando-se BSTFA (bis-trimetilsilil-trifluoroacetamida), aquecendo cada amostra a 70°C em banho-maria durante 2 horas. Os lipídios neutros foram então convertidos a ésteres trimetil-silícicos (TMS) através da substituição do hidrogênio da hidroxila (-OH) pelo grupo trimetil-silícico (-Si(CH₃)₃) do reagente BSTFA.

Para separação da fração ácida, foi adicionada solução de HCl (6N) à solução residual da saponificação para ajustar o pH para 2 e os lipídios ácidos foram também extraídos com hexano (3x3 mL). Em seguida, a fração ácida foi evaporada até a secura sob o fluxo de N₂ e derivatizada através de metilação com 0,5 mL de solução de fluoreto de boro (BF₃, 14% em metanol) sob aquecimento em banho-maria a 70°C por 2 horas para formar metil ésteres (FAMES). As reações de silanização e metilação foram realizadas poucas horas antes da injeção em cromatografia gasosa (GC).

FAMES e TMS foram quantificados usando cromatografia gasosa com um GC Hewlett-Packard 5890 com injeção “sliptless” (50°C) e detector de ionização de chama (FID). As separações foram conduzidas em uma coluna (25 m x 0,32 mm, 0,17 µm filme) com hidrogênio como gás carreador. A temperatura no forno do GC foi programada diferentemente para os FAMES e os TMS, sendo 50-300°C com fluxo de 9°C/min com pressão de hidrogênio a 1,5 psi para os FAMES e 50-130°C com fluxo de 20°C/min, em seguida 130-320°C com fluxo de 3°C/min a uma pressão de 3,0 psi para os TMS. Anteriormente à injeção em GC-FID foram adicionados às amostras os padrões internos cromatográficos metil-nonadecanoato (ácido graxo C19) para FAMES e o 5α (H)-colestano para TMS, com o intuito de avaliar a recuperação dos compostos. Algumas amostras foram analisadas utilizando-se cromatografia gasosa associada à espectrometria de massa (GC-MS), Hewlett-Packard 6890/5973 GC-MS operando com impacto de elétrons (70 eV), para confirmar a identidade dos compostos.

Para facilitar a interpretação do conjunto de dados obtidos foi conduzida uma análise de componentes principais (PCA). Os biomarcadores utilizados no trabalho podem possuir fontes diversas, representando indicadores ambíguos. Agrupar, em função de sua variação temporal, os compostos semelhantes em termos de origem e grau de preservação torna-se uma ferramenta necessária para uma melhor interpretação dos dados. Uma matriz com a abundância dos biomarcadores mais importantes (i.e. variáveis) foi normalizada *a priori* (valor subtraído da média e dividido pelo desvio

padrão). Através de combinações lineares, a PCA determina um valor de entrada para cada variável em cada eixo principal (componente principal). Os eixos 1 e 2 formam um diagrama de ordenação que contem os compostos representados em pontos nesse diagrama. O software Aabel 2.4[®] foi empregado nas análises multivariadas.

4.3.5. Determinação da densidade, biomassa e atividade bacteriana bêntica

Para a análise da comunidade bacteriana bêntica seguiu-se os métodos utilizados por Moraes (2007). Foram coletadas amostras em triplicata em cada mês de amostragem. Da camada superficial do sedimento amostrado, foi retirado 1 ml com seringa estéril e alocado em potes de plástico com 5 ml de formol 2% pré-filtrado em filtro 0,2 μm . As amostras foram armazenadas em local escuro a 4°C até a análise laboratorial.

Em laboratório, cada amostra de sedimento foi transferida para tubos de centrífuga, previamente esterilizados em câmara UV (24 h) e adicionados 4 mL de formol filtrado 2% (filtro Acrodisc Gelman Science[®] 0,2 μm). As amostras foram diluídas (1:10 vezes) e submetidas à sonicação (Thorton T14) por quatro períodos de 1 min a 100 W, com intervalos de 30 s. Este processo foi realizado para desprender as bactérias aderidas aos grãos do sedimento (Montagna, 1982). Após a sedimentação das partículas, subamostras do sobrenadante foram retiradas e diluídas (1:1000 vezes) em formol filtrado 2%.

Posteriormente, as amostras descansaram por 5 min após adição de 0,5 ml de alaranjado de acridina (0,01%). Estas foram filtradas utilizando-se unidade de filtração equipada com um filtro policarbonato black (Poretics[®], 0,22 μm de poro) e uma rede de nylon com malha de 5 μm posicionada sob o filtro. Após a filtração, o filtro foi retirado e colocado sobre uma lâmina. As lâminas foram analisadas em microscópio de epifluorescência Nikon[®] Otihot (lâmpada HBO 50 W, filtro 515 KP, luz de excitação azul) (Zimmermann et al., 1978). Um retículo 8x8, previamente montado na objetiva, foi usado para as contagens. Apenas as bactérias que se encontravam dentro do retículo foram contabilizadas. Foram contadas aproximadamente 300 células por lâmina, sendo anotado o número de películas necessárias para se chegar a esse valor. Apenas corpos com clara distinção de contorno, forma e coloração (verde fluorescente) foram quantificados (Meyer-Reil, 1983). Adicionalmente, o número de células bacterianas em divisão (aquelas que apresentaram clara invaginação) foi analisado como uma medida de atividade bacteriana (Hangström et al., 1979). Em cada campo, duas células foram

escolhidas coincidentemente (escolheu-se células de um mesmo quadrado do retículo previamente determinado) e através de um retículo milimetrado foram realizadas medidas de comprimento e largura para o cálculo da biomassa.

A densidade bacteriana foi calculada a partir da fórmula:

$$\text{densidade (células/ml)} = \frac{(CC - BC) \times MF \times DF}{\text{volume de sub - amostra filtrada}}$$

Onde:

CC: média de células por campo

BC: média de células no branco

MF: fator do microscópio (área do filtro/área do gride de contagem)

DF: fator de diluição

O valor encontrado foi indicado por n° células/ml.

A biomassa bacteriana ($\mu\text{gC g}^{-1}$) foi estimada através do volume celular convertido em biovolume (número de células g^{-1} x média do volume celular). O volume foi calculado de acordo com a fórmula de Bratbak (1985):

$$V (\mu\text{m}^3) = \frac{\pi}{4} \times w^2 \times \left(L - \frac{W}{3}\right)$$

Onde:

W: largura

L: comprimento

A biomassa foi estimada usando o fator de conversão de $3 \times 10^{-13} \text{ g C } \mu\text{m}^{-3}$ de biovolume (Børsheim et al., 1990). Foram apresentados resultados dos valores médios (média entre três réplicas) retirados das amostras de sedimento.

4.3.6. Processamento de dados referentes à macrofauna

As amostras de todo o período de amostragem, previamente fixadas e lavadas em malha de 0,5mm, foram triadas sob estereomicroscópio para separação, contagem e identificação da macrofauna. A identificação até o menor nível taxonômico possível dos grupos da macrofauna foi feita utilizando-se chaves taxonômicas, literatura especializada e auxílio de especialistas. Os indivíduos identificados em nível de gênero ou família e ordem, foram morfotipados para serem incluídos nas análises dos descritores da comunidade macrobêntica.

Em relação aos descritores da comunidade bêntica, foram calculados a abundância de indivíduos (ind. m⁻²), diversidade de espécies de Shannon-Wiener ($H' \log_e$: nats/indivíduo), riqueza específica (S: número de espécies 0,05 m⁻²) e equitatividade de Pielou (J'). Utilizaram-se os valores de abundância das três réplicas amostradas.

Com base na literatura (Fauchald & Jumars, 1979; Lana, 1981; Paiva, 1993; Mancinelli et al., 1998; Muniz & Pires, 1999; Arasaki et al., 2004), os grupos tróficos das espécies de Polychaeta (grupo dominante da macrofauna) foram classificados em carnívoros (C), onívoros (O), suspensívoros ou filtradores (F), depositívoros de superfície (B) e depositívoros de subsuperfície (S).

Com o intuito de estimar a biomassa da macrofauna, o peso úmido dos organismos foi determinado em balança de precisão $\pm 0,1$ mg. Previamente, o excesso de fixador foi retirado depositando os organismos sobre papel absorvente durante aproximadamente um minuto (Witte, 2000; Wetzel et al., 2005). Os indivíduos do grupo Mollusca foram pesados com concha.

4.4. Análise dos dados obtidos

No sentido de verificar tendências temporais das variáveis ambientais e da fauna foram aplicadas análises uni- e multivariadas.

As diferenças entre os meses de coleta para o teor de MOT, pigmentos fotossintéticos, densidade, biomassa e atividade bacteriana bêntica e abundância das espécies da macrofauna foram testadas por meio de Análise de Variância. As diferenças das variáveis foram testadas com seus valores médios e, como os conjuntos de dados

apresentaram distribuição normal e variâncias homogêneas, foi aplicado o teste paramétrico de análise de variância (ANOVA), com exame *a posteriori* das diferenças entre as médias amostrais através do teste de Tukey. Para todos os testes foi considerado $\alpha = 0,05$, utilizando o valor estatístico F e p (Zar, 1999). Para a ANOVA foi utilizado o pacote estatístico Bioestat 4.0. Em função do tipo de análise utilizada avaliou-se a necessidade de padronização e/ou transformação das variáveis a serem incluídas. Quando foi necessário, os dados foram transformados em $\log(x+1)$.

Foi realizado o cálculo dos descritores de comunidade muito utilizados em estudos de ecologia bêntica como: número total de indivíduos (N), riqueza de espécies (S) (número total de espécies presentes na amostra), diversidade de espécies utilizando o Índice de Shannon-Wiener ($H' - \log_e$) (Shannon & Weaver, 1963), com os resultados expressos em nats/indivíduo e equitatividade utilizando o Índice de Pielou (J') (Pielou, 1969). Para os cálculos, foi utilizado o pacote estatístico Primer[®] 6.0.

Com o intuito de verificar a similaridade da composição e abundância das espécies em função de cada mês de coleta foi realizada uma análise de ordenação nMDS (“Non-Metric Multidimensional Scaling”; Warwick & Clarke, 1993; Clarke & Warwick, 1994). A matriz de similaridade foi construída utilizando o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis com os dados transformados em Raiz Quarta. Segundo Clarke & Warwick (1994), existe um grau de distorção ou “stress” que aumenta com o número de dados e com a redução da dimensionalidade, mas valores de “stress” menores de 0,2 indicam uma boa representação bidimensional dos dados.

Para verificar se existiram diferenças significativas na composição da fauna em função dos meses e das estações do ano, foi realizada uma Análise de Similaridade (ANOSIM) bifatorial com os meses e as estações do ano, utilizando as mesmas matrizes da análise nMDS. A ANOSIM é uma análise multivariada que pode ser aplicada à matrizes de dados biológicos com grande número de zeros (Warwick & Clarke, 2001). O R global é considerado significativo quando for maior que 0,5 (Clarke, 1993). Para os cálculos, foi utilizado o pacote estatístico Primer[®] 6.0.

Foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) para identificar algum padrão significativo de ordenação das amostras em função das características ambientais. O método de ordenação PCA consiste em definir a posição das amostras, ou meses, em relação a um conjunto de eixos, onde cada um desses eixos agrupa a maior

porcentagem de variâncias das variáveis utilizadas. Quanto maior a distância entre as amostras no diagrama de ordenação, maior é a diferença entre elas (Warwick & Clarke 2001). Os dados foram padronizados segundo o método *Ranging* (Milligan e Cooper, 1987). Esta análise mostrou-se robusta o suficiente quando mais de 60 % da variância total dos dados foi explicada pelos dois primeiros componentes (Warwick & Clarke, 2001). Foi utilizado o pacote estatístico PAST[®] nas análises.

Com a intenção de avaliar possíveis correlações entre as variáveis ambientais e a distribuição dos principais táxons, utilizou-se a Análise de Correspondência Canônica (CCA), com as variáveis ambientais transformadas em $\log(x+1)$ e os táxons representados pela abundância média (Anderson & Gribble, 1998). Para esta análise, foi utilizado o programa estatístico CANOCO 4.5.

Além da análise CCA, foi realizada uma análise Bio-Env, com as variáveis ambientais e a distribuição da abundância da macrofauna, no sentido de confirmar os resultados da CCA. Esta análise compara a matriz de similaridade Bray-Curtis gerada pelos dados das espécies da macrofauna com uma matriz de similaridade (distância Euclidiana) das variáveis ambientais. As matrizes são comparadas pelo coeficiente de correlação de Spearman ponderado (ρ_w), teste baseado em comparações de ranks, devido a grande variabilidade das escalas dos dados. O coeficiente varia de -1 a 1, com os extremos $\rho = -1$ e $+1$ correspondendo, respectivamente, aos casos onde as duas séries de ranks estão em completa oposição ou em completa concordância (Clarke & Ainsworth, 1993). A combinação de variáveis com maior valor de ρ_w é a que melhor explica o padrão de composição e abundância das espécies da macrofauna. Esta análise foi realizada pelo pacote estatístico Primer[®] 6.0.

5. RESULTADOS

5.1. Coluna d'água

Durante o período de outubro/06 a outubro/07, a temperatura de superfície (medida nos 50 cm superficiais da coluna d'água) variou entre 19,7 e 28,4°C, sendo os menores valores registrados em agosto/07 e os maiores em março/07. A temperatura de fundo variou entre 15,0 e 21,6°C e os menores valores corresponderam aos meses de setembro e outubro/07, devido principalmente à incipiente entrada da ACAS na primavera, enquanto que os maiores valores ocorreram em maio e junho/07 (Tabela 2). Neste período de outono-inverno (maio e junho/07), a coluna d'água encontra-se mais homogênea, fazendo com que sejam encontrados valores de temperatura mais altos no fundo.

Tabela 2: Coordenadas geográficas, profundidade, temperatura, salinidade e concentração de oxigênio dissolvido na água de superfície e de fundo para o período amostrado.

	lat/long	Prof (m)	T°C sup	T°C fundo	Sal sup	Sal fundo	O2 diss. sup	O2 diss. fundo
out.06	23° 36.80 44° 53.49	41	24,7	16,4	33,5	35,5	5,1	4,0
nov.06	23° 38.78 44° 58.49	40	22,9	17,5	35,5	35,6	5,0	3,8
dez.06	23° 36.75 44° 53.51	40	22,7	16,5	35,4	35,6	5,0	4,2
jan.07	23° 36.84 44° 53.48	40	24,8	17,8	35,1	35,5	3,9	3,5
fev.07	23° 36.75 44° 53.51	40	26,3	17,2	30,4	35,5	5,0	4,3
mar.07	23° 36.79 44° 53.46	39,5	28,4	16,8	32,5	35,6	3,5	2,1
abr.07	23° 36.79 44° 53.46	40	25,9	17,2	33,5	35,6	4,2	2,9
mai.07	23° 36.77 44° 53.46	40,5	23,3	20,1	26,3	35,5	4,3	4,3
jun.07	23° 36.76 44° 53.48	40	22,3	21,6	26,9	35,6	4,5	4,0
jul.07	23° 36.76 44° 53.48	41,6	21,3	20,5	33,4	35,4	5,1	4,6
ago.07	23° 36.80 44° 53.49	40	19,7	19,2	27,4	35,3	4,4	2,9
set.07	23° 36.80 44° 53.49	40	21,7	15,0	30,9	35,3	4,7	4,1
out.07	23° 36.76 44° 58.53	40,5	21,5	16,2	33,8	35,4	3,2	3,4

Foram encontradas maiores variações de salinidade na superfície (30,9 a 35,5) do que no fundo (35,3 a 35,6) (Tabela 2).

A concentração de oxigênio dissolvido foi maior em superfície durante praticamente para todo o período de amostragem. A concentração variou, no fundo, entre 2,1 e 4,6 ml/L, e na superfície, entre 3,2 e 5,1 ml/L. O menor valor para o fundo foi registrado em março/07 e o maior em julho/07. Na superfície, as menores concentrações foram registradas em março e outubro/07 e as maiores em outubro/06 e julho/07 (Tabela 2).

Os perfis verticais de temperatura e salinidade (Figura 2) obtidos no período de outubro/06 a março/07 e de setembro a outubro/07, mostraram uma camada estratificada, com a presença de dois tipos de massa d'água, a ACAS e a AC. As menores temperaturas

encontradas foram associadas à presença de ACAS, que foi caracterizada por temperaturas menores que 20°C e salinidades abaixo de 36,4 (Miranda, 1982), sendo observada mais ao fundo (abaixo dos 20 metros) nos meses de outubro/06 e outubro/07, e mais subsuperficial (acima dos 10 metros) em setembro/07. A AC, com salinidades mais baixas (<35,5) e temperaturas acima de 20°C, foi encontrada na porção superficial em todo o período (Figura 2). A temperatura, nas estações de verão (dezembro/06, janeiro e fevereiro/07), variou de 16,4 a 28,7°C. Temperaturas inferiores a 20°C estiveram presentes nas estações de dezembro/06 e janeiro/07 abaixo da profundidade de 25 metros. A maior variação vertical da temperatura foi observada em janeiro/07, sendo a diferença superior a 7°C. Os perfis de temperatura e salinidade mostraram uma coluna d'água estratificada, ocorrendo nitidamente a presença da ACAS, localizada abaixo da termoclina, com temperaturas abaixo de 20°C e salinidades abaixo de 36,4 (ver Figura 2).

Figura 2: Perfil vertical de temperatura e salinidade para todo o período de coleta. Os perfis verticais de temperatura e salinidade mostraram a presença da ACAS no início da primavera, em outubro/06, a março/07 e novamente em setembro e outubro/07. Entre o período que estende de abril a agosto/07, a coluna d'água manteve um perfil homogêneo (Figura 2) e, pelas características de temperatura superior a 20°C e salinidade entre 32,5 e 35,4, foi preenchida pela AC (Miranda, 1982).

5.2. Análise Granulométrica

O sedimento da estação fixa em Ubatuba foi composto predominantemente por areia (55,5%), principalmente areia muito fina (47,9%), argila (26,1%) seguido de silte (17,9%), sendo classificado como areia argilosa (Shepard, 1954). Os outros tipos de areia (fina (2,44%), média (3,32%) e grossa (1,85%)) somaram 7,61%. O diâmetro médio foi de 4,9 com inexpressiva presença de grânulos (0,52%). A fração de CaCO_3 foi razoavelmente alta (20,4%). Não foi constatada a presença de seixos. Segundo Folk & Ward (1957), o sedimento foi considerado muito pobremente selecionado. Em geral, os resultados da análise granulométrica mostraram que as frações sedimentológicas mais finas, tais como areia muito fina, silte e argila, foram as frações predominantes na estação amostrada nos períodos de coleta.

5.3. Matéria orgânica total do sedimento (MOT)

Em geral, os teores de MOT encontrados nesse estudo variaram de $2,4\% \pm 0,25$ em outubro/07 a $6,5\% \pm 0,95$ em outubro/06 (Figura 3).

A análise de variância (ANOVA) mostrou que houve variação temporal significativa em relação à porcentagem de MOT ($F=3,8674$; $GL=11$; $p=0,0042$), sendo outubro/06 significativamente maior que os meses de abril e junho/07 ($p<0,05$), assim como agosto e outubro/07 ($p<0,01$). Não houve diferenças sazonais significativas.

Figura 3: Variação temporal dos teores médios de matéria orgânica total (MOT) na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais representam o erro-padrão. Não houve amostragem de dados referentes a MOT em janeiro/07 e julho/07.

5.4. Análise dos fitopigmentos

As concentrações de clorofila-a variaram em torno de $1,5\mu\text{g.g}^{-1} \pm 2,13$ a $7,8\mu\text{g.g}^{-1} \pm 2,13$ (maio/07). Os feopigmentos variaram entre $18,2 \pm 1,63$ e $40,9 \pm 11,43 \mu\text{g.g}^{-1}$, com os maiores e menores valores em consonância com a clorofila-a (Figura 4).

Figura 4: Variação temporal das concentrações médias de clorofila-a e feopigmentos na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais representam o erro-padrão. Não houve amostragem em janeiro e julho de 2007.

O conteúdo de clorofila-a sedimentar variou significativamente no período amostral (ANOVA: $F=2,9437$; $GL=11$; $p=0,0166$). Contudo, o teste Tukey não detectou diferenças significativas entre os meses. Os feopigmentos sedimentares também apresentaram diferenças significativas (ANOVA: $F=2,9784$; $GL=11$; $p=0,0157$), especialmente em maio/07, período no qual os valores foram significativamente superiores aos encontrados em junho/07 ($p<0,01$) e agosto/07 ($p<0,05$).

Figura 5: Razão Clorofila-a/Feopigmentos do sedimento, durante o período de amostragem.

As razões Cloro/Feo foram muito semelhantes em todo o período, e sempre menores que 1 devido à maior concentração de feopigmentos durante o ano amostrado. A maior razão foi registrada em agosto/07 ($0,20 \pm 0,003$) e a menor, em outubro/06 ($0,15 \pm 0,005$) (Figura 5). Houve presença de variação temporal nas razões Cloro/Feo encontradas (ANOVA, $F = 8,08$; $GL = 11$; $p = 0,00$), sendo outubro/06 significativamente menor ($p < 0,01$) que os demais períodos.

A Figura 6 ilustra as variações da concentração de cloropigmentos (CPE), resultado da soma das concentrações de clorofila-a e feopigmentos. Estes dados são considerados bons traçadores do aporte de fitodetritos no sedimento (Smith *et al.*, 1996; Pfannkuche & Soltwedel, 1998; Pfannkuche *et al.* 1999, 2000).

Figura 6: Variação temporal dos valores médios da concentração de cloropigmentos (CPE) na plataforma interna de Ubatuba. As linhas horizontais representam o erro padrão. Não houve amostragem em janeiro/07 e julho/07.

As maiores concentrações de fitodetrítos ocorreram em dezembro/06 ($48,6 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 2,16$), fevereiro/07 ($39,8 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 9,7$) e principalmente em maio/07 ($48,7 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 13,5$). Períodos com valores mais baixos ocorreram em junho/07 ($9,8 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 1,93$) e em agosto/07 ($13,8 \mu\text{g.g}^{-1} \pm 9,2$).

5.5. Análise Lipídica

5.5.1. Classes lipídicas

Ácidos Graxos

Cinco diferentes séries de ácidos graxos foram identificadas nas amostras de sedimento analisadas. São eles: ácidos graxos de cadeia curta (SCFA), ácidos graxos de cadeia longa (LCFA), ácidos graxos ramificados (BRANCH), ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) e ácidos graxos poli-insaturados (PUFA).

Em geral, houve maior concentração dos SCFAs (cerca de 40% do total), seguido dos MUFAs e BRANCHs. As menores concentrações foram de LCFAs e PUFAs (Figuras 7A e 8).

Entre os SCFA, foi observado uma predominância dos compostos com número par ($C_{14} - C_{24}$), em comparação com os compostos com número ímpar ($C_{15} - C_{23}$) de

carbono. O mais abundante encontrado foi o ácido palmítico (C₁₆). Em seguida, as maiores concentrações encontradas foram de C₁₄ e C₁₈ (Tabela 3). O mês de novembro/06 apresentou a maior concentração de SCFA e setembro/07, a menor (Figura 7A).

A razão $\sum \text{SCFA} / \sum \text{LCFA}$ foi aplicada no sentido de verificar a variação temporal na contribuição de fontes marinhas versus terrestres para os ácidos graxos saturados na área de estudo, já que os SCFA estão relacionados as fontes marinhas e quanto maior a razão, maior aporte marinho. Altos valores foram encontrados em maio/07 (11,1) e abril/07 (8,9), enquanto que outubro/06 apresentou o menor valor (2,43) (ver Tabela 5).

Contribuições substanciais de outros ácidos graxos, como os MUFAs C_{16:1}ω₇, C_{18:1}ω₇ e C_{18:1}ω₉, foram encontradas durante todo o período de amostragem, sendo a maior concentração encontrada em outubro/06 e a menor, em abril/07 (Figuras 7A e 8). Os MUFAs contribuíram com cerca de 30% do total de ácidos graxos analisados (Figuras 7A e 8). A razão C_{16:1}ω₇ / C_{18:1}ω₇ foi empregada para verificar uma possível dominância de espécies fitoplanctônicas na área de estudo, pois o MUFA C_{16:1}ω₇ é muito abundante no fitoplâncton, e indica aportes lábeis de matéria orgânica. Os valores variaram entre 0,3 (agosto/07) e 2,1 (outubro/07). Dos onze meses amostrados, em seis os valores foram maiores que 1,0 (ver Tabela 5), sugerindo o predomínio de espécies fitoplanctônicas na região.

Os ácidos graxos ramificados (BRANCH) tiveram uma concentração semelhante em praticamente todo o período, com exceção de abril/07, quando houve a menor concentração. Os BRANCH mais importantes identificados e que apresentaram as maiores concentrações foram o *iso*-C₁₅, o *anteiso*-C₁₅ e o 10-metil-C₁₆, os quais, em geral, possuem uma fonte em comum. Outros ramificados *iso*-C₁₇, *anteiso*-C₁₇ identificados, apresentaram baixas concentrações, embora estivessem presentes praticamente em todos os meses (Tabela 3). Juntos, esses ácidos graxos representam cerca de 15% do total de ácidos graxos (Figura 8).

Os PUFA foram os ácidos graxos que apresentaram as menores concentrações em todas as amostras analisadas (Figura 7A), representando cerca de 5% do total de ácidos graxos analisados no sedimento (Figura 8). Os principais compostos poli-insaturados encontrados foram o C_{20:4}ω₃ e o C_{20:5}ω₃ (Tabela 3).

A maior parte dos LCFAs foi composta por ácidos graxos de cadeia longa com número par de carbonos, e apresentaram uma contribuição relativa de 10% do total

(Figura 8). Outubro e novembro/06 foram os meses de maior concentração de LCFAs, enquanto que abril e maio/07 apresentaram as menores concentrações (Figura 7A).

Tabela 3: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos ácidos graxos encontrados no sedimento da plataforma interna de Ubatuba.

	Out06	Nov06	Dez06	Fev07	Mar07	Abr07	mai07	Jun07	Ago07	Set07	Out07
C14	809,38	355,44	666,14	737,04	452,25	249,91	703,37	605,28	485,13	400,52	775,18
iC15	599,13	222,76	493,62	579,91	312,98	174,57	429,19	378,69	381,79	279,31	436,56
aC15	577,20	284,36	479,34	525,68	316,59	167,89	477,56	500,23	437,06	373,59	451,86
C15	366,38	253,90	335,95	325,36	245,30	111,62	280,02	230,30	215,56	177,75	236,49
16:2	208,33	100,69	209,21	194,56	111,20	54,59	487,02	152,99	123,47	127,91	101,62
16:1ω9	344,94	749,25	175,55	137,35	164,11	60,70	153,11	95,27	117,92	80,14	140,73
16:1ω7	1227,74	318,01	709,60	1080,93	618,95	367,82	221,31	178,44	142,56	703,14	1557,77
16:1ω5	170,60	52,65	111,05	182,24	91,04	70,35	998,40	550,69	728,65	72,01	128,38
C16	2800,10	1785,17	3064,79	2420,85	1661,32	1205,00	2129,62	1688,87	1566,47	1283,92	2048,56
10metilC16	333,91	177,16	180,05	265,82	178,41	111,43	357,91	177,70	57,01	275,42	138,72
iC17	149,44	79,61	136,25	134,47	97,40	67,12	101,96	79,19	103,74	58,36	101,63
aC17	123,43	139,60	98,42	87,28	64,34	30,32	119,92	109,07	53,71	82,26	78,44
C17	188,39	126,21	199,76	176,65	119,77	87,21	nd	nd	60,80	86,98	135,42
18:2	190,12	188,44	151,52	181,05	85,66	58,23	nd	nd	68,76	67,64	93,83
18:1ω9	784,56	934,65	660,51	520,28	382,07	398,01	507,46	531,56	415,36	338,36	543,89
18:1ω7	788,91	415,51	578,01	872,18	502,44	439,30	573,59	491,44	494,87	389,90	732,63
C18	694,00	507,15	944,91	479,32	351,36	829,14	431,19	440,76	327,42	279,62	382,18
20:5ω3	261,26	85,24	171,79	157,25	76,23	54,62	nd	89,92	54,68	356,78	101,87
20:4ω3	299,61	106,72	178,29	202,43	110,86	58,72	nd	165,66	105,71	447,90	116,97
C20	194,29	88,04	211,22	122,47	70,85	47,83	74,01	80,99	70,57	64,28	116,04
C21	43,67	nd	65,91	35,27	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
C22	241,62	91,92	211,32	149,69	79,97	37,42	nd	423,91	128,58	62,25	156,07
C23	71,44	32,00	74,77	39,70	21,79	nd	nd	nd	nd	nd	nd
C24	485,13	196,35	413,51	266,39	158,95	77,69	111,93	128,38	200,29	121,75	229,11
C26	428,21	168,30	405,27	214,12	130,97	66,02	111,43	111,24	175,30	116,55	203,78
C28	407,83	145,25	364,15	171,17	86,39	47,59	101,50	81,83	141,04	109,48	173,67
C30	465,90	178,91	402,76	222,14	86,09	55,05	nd	nd	69,61	61,14	90,28
ΣSCFA	5096,21	3115,92	5488,69	4296,95	2900,84	2530,71	3618,21	3046,19	2725,96	2293,07	3693,88
ΣLCFA	2100,13	812,72	1871,78	1063,20	564,16	283,77	324,85	745,37	714,82	471,17	852,92
ΣBRANCH	1783,11	903,49	1387,67	1593,15	969,72	551,32	1486,55	1244,87	1033,31	1068,94	1207,22
ΣMUFA	3316,74	2470,07	2234,72	2792,97	1758,61	1336,17	2453,88	1847,40	1899,35	1583,55	3103,40
ΣPUFA	959,32	481,09	710,81	735,30	383,96	226,15	487,02	408,57	352,62	1000,23	414,29
Total	13255,52	7783,28	11693,68	10481,58	6577,29	4928,13	8370,51	7292,39	6726,06	6416,96	9271,71

SCFA=Ácidos graxos saturados de cadeia curta (C_{12} à C_{22}), BRANCH=Ácidos graxos ramificados (10-metil-C16, iso e anteiso C_{15} e C_{17}), MUFA=Ácidos graxos monoinsaturados (C_{14} e C_{18}), PUFA=Ácidos graxos poli-insaturados ($C_{16:2}$, $18:2$, $20:4$, $20:5$), LCFA=Ácidos graxos saturados de cadeia longa (C_{24} à C_{30}), n.d.= não detectado.

Figura 7: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) das diferentes classes de lipídios nos sedimentos analisados. SCFA=Ácidos graxos saturados de cadeia curta (C_{14} - C_{21}), BRANCH=Ácidos graxos ramificados (10-metil- C_{16} , iso e anteiso C_{15} e C_{17}), MUFA=Ácidos graxos monoinsaturados (C_{16} , C_{18} e C_{20}), PUFA=Ácidos graxos poli-insaturados ($\text{C}_{16:2}$, $18:2$, $20:4$, $20:5$), LCFA=Ácidos graxos saturados de cadeia longa (C_{22} à C_{32}). Não houve amostragem em janeiro e julho/07, SCO = álcoois saturados de cadeia curta (C_{10} - C_{22}), LCOH= álcoois de cadeia longa (C_{23} - C_{34}), $\Sigma \text{C}_{26} - \Sigma \text{C}_{30}$ = somatória dos esteróis C_{26} a C_{30} , Alquenonas = total de alquenonas insaturadas de cadeia longa (C_{37} e C_{38}).

Figura 8: Contribuição relativa dos tipos de lipídios encontrados nos sedimentos amostrados. Não houve amostragem em janeiro e julho/07. SCFA=Ácidos graxos saturados de cadeia curta (C_{14} - C_{22}), BRANCH=Ácidos graxos ramificados (10-metil- C_{16} , iso e anteiso C_{15} e C_{17}), MUFA=Ácidos graxos monoinsaturados (C_{16} , C_{18} e C_{20}), PUFA=Ácidos graxos poli-insaturados ($C_{16:2}$, $18:2$, $20:4$, $20:5$), LCFA=Ácidos graxos saturados de cadeia longa (C_{24} a C_{32}). Não houve amostragem em janeiro e julho/07, SCOH = álcoois saturados de cadeia curta (C_{10} - C_{22}), LCOH= álcoois de cadeia longa (C_{23} - C_{34}), ΣC_{26} - ΣC_{30} = somatória dos esteróis C_{26} a C_{30} , Alquenonas = total de alquenonas insaturadas de cadeia longa (C_{37} e C_{38}).

Álcoois

Duas séries de álcoois foram identificadas no sedimento analisado. São eles: álcoois de cadeia curta (SCOH, C_{12} - C_{21}) e de cadeia longa (LCOH, C_{22} - C_{34}). Dentre esses compostos analisados, os álcoois com números pares de carbono presentes em suas estruturas foram os predominantes nas amostras de todos os meses.

Os SCOH foram mais abundantes do que os LCOH em praticamente todo o período amostral, com contribuição relativa de ca. 30% e 20%, respectivamente (Figura

8). Em novembro/06 e agosto/07, os LCOH e os SCOH tiveram contribuição relativa similar, enquanto que em dezembro/06 e fevereiro/07, os LCOH predominaram (Figuras 7B e 8).

O Fitol esteve presente em todo o período amostrado, aparecendo com alta concentração principalmente em agosto/07, e somando de 10 a 15% do total de neutros analisados (Figura 7B).

A variação temporal entre os álcoois marinhos e terrestres foram verificados através da razão $\Sigma\text{MarOH}/\Sigma\text{TerrOH}$ (ΣMarOH representado pelo Fitol e SCOH e ΣTerrOH pelos LCOH). O mês de dezembro/06 apresentou a menor razão (0,8), e outubro/06 apresentou a maior valor (2,1). Temporalmente, razões com valores maiores que 1,00, ou seja, maiores concentrações de álcoois de origem marinha foram predominantes (ver Tabela 5).

Esteróis

Os esteróis presentes no sedimento da plataforma interna de Ubatuba apresentaram uma composição bastante diversa. Foram identificados cerca de 22 esteróis diferentes (Tabela 4), sendo responsáveis por cerca de 40% do total de neutros do sedimento (Figura 8). A maior contribuição relativa dos esteróis ocorreu no mês de novembro/06, chegando a quase 70% do total de neutros. A menor contribuição foi em dezembro/06 (ca. 10%) (ver Figura 8).

Em praticamente toda a amostragem sedimentar, séries de esteróis 4-dimethyl C_{26} - C_{30} foram detectadas (Tabelas 4 e 5; Figura 7C). Os esteróis C_{27} foram abundantes no local de estudo, e tiveram um pico de grande abundância em novembro/06. Os esteróis C_{27} , C_{28} e C_{29} juntos, somaram as maiores concentrações, durante todo o período de amostragem. Em seguida vieram os C_{26} e C_{30} (Figura 7C).

Dentro do grupo dos C_{27} , o esterol mais importante foi o cholest-5-en-3 β -ol (colesterol, $27\Delta^5$), seguido do estanol 5 α (H)-cholest-3 β -ol ($27\Delta^0$).

De maneira geral, dentre os esteróis C_{28} , o mais abundante foi o 24-methylcholest-5-en-3 β -ol ($28\Delta^5$), seguido do 24-methylcholestan-3 β -ol ($28\Delta^0$), ver Tabela 4). Entre os C_{29} , destacaram-se o 24-ethyl-cholesta-5,22E-dien-3 β -ol ($29\Delta^{5,22}$) e o 24-ethylcholest-22E-en-3 β -ol ($29\Delta^{22}$). Um fator importante foi a abundância de estanóis em relação aos estenóis (ver Tabela 5). Os estanóis são derivados da redução bacteriana, ou seja, hidrogenação de estenóis sob condições anaeróbias (Gagosian et al., 1980, Wakeham, 1989). A razão foi calculada para os 4-dimethyl C_{26} - C_{29} , e os valores

encontrados variaram entre 0,2 (novembro/06) e 2,9 (fevereiro/07). A razão ficou em torno de 0,3 na maioria dos períodos amostrais.

Esteróis C_{30} , com um grupo metil na quarta posição (esteróis 4-metil), também foram identificados nesse estudo. O dinosterol ($4\alpha,23,24$ -trimethyl-cholesta-22E-en-3 β -ol, $30\Delta^{22}$) foi o mais abundante. Em geral, o grupo dos esteróis C_{30} foi pouco representativo entre os demais esteróis encontrados, com baixas concentrações em todo o período de amostragem (Figura 7C).

Alquenonas

As alquenonas C_{37} e C_{38} estiveram presentes na maioria dos meses amostrados (Figura 7D), chegando a uma concentração de $891,52 \mu\text{g.g}^{-1}$ em novembro/06 (Tabelas 4 e 5). Esse grupo representou menos de 10% do total de lipídios neutros analisados (Figura 8).

Tabela 4: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos lipídios neutros, incluindo os álcoois, esteróis e alquenonas, encontrados no sedimento da plataforma interna de Ubatuba durante o período de amostragem.

	Out06	Nov06	Dez06	Fev07	Mar07	Abr07	Mai07	Jun07	Ago07	Set07	Out07
Álcoois											
C12OH	42,28	305,48	22,64	66,91	17,51	302,84	167,84	358,62	421,36	67,94	91,97
C14OH	49,39	654,72	7,23	51,23	47,62	89,19	215,78	196,38	285,17	31,41	62,74
C15OH	64,31	990,69	nd	nd	596,72	1802,21	2279,85	2464,36	1548,06	681,79	515,38
C16OH	47,09	3027,04	21,85	46,50	206,27	46,74	810,87	814,80	1211,44	301,67	472,13
C17OH	14,85	nd	nd	15,13	132,85	22,70	nd	nd	52,29	124,98	115,37
C18OH	60,31	145,84	23,63	14,58	185,38	217,93	321,35	412,79	568,87	106,35	488,84
Phytol	742,40	917,24	725,76	1114,02	396,56	443,48	406,82	1222,56	4888,47	409,21	1094,13
C20OH	31,84	649,59	46,31	270,86	208,47	81,28	232,84	325,02	1068,84	54,62	1962,79
C22OH	5,24	1328,52	nd	119,64	132,11	338,28	282,32	1712,45	622,55	262,32	359,26
C24OH	48,45	109,96	64,79	56,66	140,45	294,96	309,24	653,28	591,88	179,62	744,74
C26OH	23,32	1212,56	39,21	98,24	268,00	256,59	160,39	415,90	558,43	202,99	723,05
C28OH	258,84	351,23	8,31	23,04	21,00	19,69	828,55	75,59	nd	nd	192,08
C30OH	30,00	585,77	nd	85,50	343,20	335,28	83,61	254,79	1753,23	138,33	412,66
C31OH	nd	nd	nd	126,75	292,77	402,09	469,17	499,22	422,78	227,53	58,78
C32OH	55,58	670,03	11,38	652,02	197,83	287,55	175,19	206,71	557,49	39,64	160,81
C34OH	8,98	629,94	1046,68	193,01	30,93	134,61	187,88	117,97	1132,59	75,61	459,25
Esteróis											
26Δ5,22	57,63	938,60	14,51	190,28	17,97	59,72	158,58	149,81	49,77	10,71	149,59
26Δ22	27,12	293,73	114,32	77,74	34,60	56,16	159,19	150,04	55,01	5,89	23,22
27n27Δ5,22	14,25	219,70	nd	138,96	84,30	126,34	160,86	nd	394,97	46,99	358,88
27n27Δ22	16,07	810,29	nd	47,68	20,54	nd	176,74	nd	96,77	25,28	65,46
27Δ5,22	15,64	797,48	22,21	123,22	52,45	35,78	176,43	43,41	242,20	14,67	78,43
27Δ22	5,19	8868,64	7,52	69,76	95,12	23,35	193,36	315,60	nd	12,81	37,02
27Δ5	80,10	351,23	17,03	1054,11	31,42	81,91	834,12	101,44	158,01	3,64	130,71
27Δ0	209,60	862,33	69,40	214,30	30,44	25,77	104,13	179,59	283,73	18,84	54,08
28Δ5,22	43,96	88,33	16,57	51,03	33,75	37,27	nd	66,28	52,53	14,07	74,29
28Δ22	nd	5258,40	14,90	80,97	46,28	31,04	127,49	35,31	430,89	34,88	54,93
28Δ5,24(28)	51,34	135,98	48,33	210,23	172,66	130,63	359,43	146,74	818,19	60,16	nd
28Δ5	141,05	117,50	42,79	121,45	40,06	41,27	356,53	87,09	367,00	20,58	86,15
28Δ24(28)	78,90	73,65	nd	284,79	34,54	88,85	nd	133,18	nd	59,31	nd
28Δ0	22,51	62,12	39,21	49,33	532,75	436,04	nd	814,38	3760,60	217,70	676,10
29Δ5,22	37,99	506,96	51,03	139,77	100,50	67,23	76,14	108,19	702,83	33,80	89,08
29Δ22	27,65	135,21	nd	178,41	71,61	83,46	165,54	nd	535,95	38,58	210,83
29Δ5	104,55	171,87	24,21	393,15	82,73	34,09	171,00	71,16	58,76	17,08	34,41
dim29Δ0	nd	nd	39,11	nd	64,24	90,36	nd	65,03	316,94	15,79	68,50
29Δ0	32,20	476,52	13,34	91,12	179,18	169,86	55,52	262,62	1151,87	80,56	285,86
4dim29Δ0	57,89	34,71	nd	nd	50,77	73,42	62,44	136,00	431,14	33,65	174,00
30Δ22	12,07	138,62	nd	36,34	83,68	391,21	465,95	26,89	98,91	14,08	55,34
30Δ5,24(28)	190,38	499,71	51,89	48,43	80,04	78,68	nd	nd	86,37	26,84	138,91
Alquenonas	182,91	891,52	583,65	325,35	116,60	491,77	677,04	nd	5711,80	420,42	2255,80

SCOH= álcoois de cadeia curta (soma C12OH à C22OH), LCOH= álcoois de cadeia longa (soma C23OH à C34OH). Esteróis x Δ y,z, onde x é o número de carbonos e y,z são as posições das duplas ligações. 26 Δ ^{5,22}=24-nor-cholesta-5,22-dien-3 β -ol, 26 Δ 22=24-nor-cholesta-22-en-3 β -ol, 27n27 Δ 5,22=27nor-24-methylcholesta-5,22-dien-3 β -ol, 27n27 Δ 22=27nor-24-methylcholesta-22-en-3 β -ol, 27 Δ ^{5,22}=cholesta-5,22-dien-3 β -ol, 27 Δ 22=5a-cholesta-22-en-3 β -ol, 27 Δ ⁵=cholest-5-en-3 β -ol, 27 Δ 0=5a-cholestan-3 β -ol, 28 Δ ^{5,22}=24-methylcholesta-5,22-dien-3 β -ol, 28 Δ 22=24-methyl-5a-cholesta-22-en-3 β -ol, 28 Δ ^{5,24(28)}=24-methylcholesta-24(28)-dien-3 β -ol, 28 Δ ⁵=24-methylcholesta-5-en-3 β -ol, 28 Δ 24(28)=24-methyl-5a-cholesta-24(28)-en-3 β -ol, 28 Δ 0=24-methyl-5a-cholestan-3 β -ol, 29 Δ ^{5,22}=24-ethylcholesta-5,22-dien-3 β -ol, 29 Δ ⁵=24-ethylcholesta-5-en-3 β -ol, 29 Δ 0=24-ethyl-5a-cholestan-3 β -ol, 4 α ,C₂₉D⁰=4 α ,24-dimethyl-cholestan-ol, 30 Δ ²²=4a,23,24-trimethyl-cholesta-22-en-3 β -ol, n.d.= não detectado.

Tabela 5: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) das classes lipídicas encontradas, no sedimento da plataforma interna de Ubatuba.

	Out06	Nov06	Dez06	Fev07	Mar07	Abr07	Mai07	Jun07	Ago07	Set07	Out07
Σ ($\mu\text{g.g}^{-1}$)											
Ácidos Graxos											
Σ SCFA	5096,21	3115,92	5488,69	4296,95	2900,84	2530,71	3618,21	3046,19	2725,96	2293,07	3693,88
Σ LCFA	2447,36	1080,73	2249,06	1206,25	662,90	312,31	324,85	745,37	845,38	554,75	983,98
Σ BRANCH	1783,11	903,49	1387,67	1593,15	969,72	551,32	1486,55	1244,87	1033,31	1068,94	1207,22
Σ MUFA	3316,74	2470,07	2234,72	2792,97	1758,61	1336,17	2453,88	1847,40	1899,35	1583,55	3103,40
Σ PUFA	959,32	481,09	710,81	735,30	383,96	226,15	487,02	408,57	352,62	1000,23	414,29
16:1 ω 7/18:1 ω 7	1,56	0,77	1,23	1,24	1,23	0,84	0,39	0,36	0,29	1,80	2,13
Σ SCFA/ Σ LCFA	2,43	3,83	2,93	4,04	5,14	8,92	11,14	4,09	3,81	4,87	4,33
Total FA	13602,75	8051,29	12070,96	10624,62	6676,03	4956,67	8370,51	7292,39	6856,61	6500,54	9402,77
Alcoois											
Σ SCOH	310,06	6266,48	207,10	509,82	1424,07	2643,75	4198,91	4673,34	5423,84	1437,95	3777,66
Σ LCOH	501,20	4888,01	1203,30	1413,72	1426,28	2099,10	2496,36	3935,91	5638,94	1126,04	3110,63
Phytol	742,40	917,24	725,76	1114,02	396,56	443,48	406,82	1222,56	4888,47	409,21	515,38
Total álcoois	811,26	11154,49	1410,40	1923,54	2850,35	4742,86	6695,27	8609,26	11062,78	2563,99	7467,04
Σ SCOH/ Σ LCOH	0,62	1,28	0,17	0,36	1,00	1,26	1,68	1,19	0,96	1,28	1,21
MarOH/TerrOH	2,10	1,47	0,78	1,15	1,28	1,47	1,84	1,50	1,83	1,64	1,57
Esteróis											
Σ C26	84,75	1232,33	128,83	268,01	52,58	115,87	317,77	299,85	104,79	16,61	172,81
Σ C27	340,86	11909,66	116,16	1648,04	314,26	293,15	1645,64	640,06	1175,68	122,22	724,58
Σ C28	207,52	5526,35	31,47	221,81	860,05	765,09	843,45	1282,99	5429,20	406,71	1350,20
Σ C29	432,42	6879,03	69,02	1073,60	1891,05	1646,13	1311,65	2604,37	11956,15	810,23	2714,97
Σ C30	202,45	638,34	51,89	84,76	163,72	469,89	465,95	26,89	185,28	40,93	194,25
4 α esteróis	202,45	638,34	51,89	84,76	214,49	543,31	528,39	162,89	616,42	74,58	368,25
Alquenonas	182,91	891,52	583,65	325,35	116,60	491,77	677,04	nd	5711,80	420,42	2255,80
Σ Δ 5alf(H)-stanol	336,34	16095,58	219,48	717,00	1108,21	1305,73	1271,17	1917,62	6316,96	482,67	1682,18
Σ Δ 5-stenol	671,31	3471,68	146,42	2121,44	438,92	435,95	1772,82	627,40	1717,48	141,40	781,57
Δ 5-stenol/ Δ 5alf(H)-stanol	2,00	0,22	0,67	2,96	0,40	0,33	1,39	0,33	0,27	0,29	0,46
Total esteróis	1267,99	26185,71	397,37	3296,22	3281,66	3290,13	4584,47	4854,15	18851,10	1396,69	5156,82
Neutros Totais	2591,63	32668,98	2502,05	6062,63	5186,53	7348,76	10905,55	12724,59	26043,70	3779,13	11286,94
Total lipídios	16194,37	40720,3	14573	16687,25	11862,56	12305,43	19276,05	20016,98	32900,31	10279,68	20689,70

Ácidos graxos de cadeia curta (SCFA, $<C_{23}$), cadeia longa (LCFA, $>C_{23}$), cadeia ramificada (BRANCH, Iso e anteiso C_{15} , C_{17} e $10\text{metil}C_{16}$), monoinsaturados (MUFA, C_{16} , C_{18} e C_{20}) poli-insaturados (PUFA, C_{18} : C_{20} :4, C_{20} :5). Somatório de MUFA C_{16} ($\Sigma C_{16}:1$) e C_{18} ($\Sigma C_{18}:1$). Álcoois de cadeia curta (SCOH, $<C_{22}$), cadeia longa (LCOH, $>C_{22}$), somatório dos SCOH (Σ SCOH, C_{12} ao C_{22}) e somatório dos LCOH (Σ LCOH, C_{24} ao C_{32}). Esteróis C_{26} ($26\Delta^{5,22}$, $26\Delta^{22}$, $27\text{nor}\Delta^{5,22E}$ e $27\text{nor}\Delta^{22}$), C_{27} ($27\Delta^{5,22}$, $27\Delta^{22}$, $27\Delta^5$ e $27\Delta^0$), C_{28} ($28\Delta^{5,22}$, $28\Delta^{22}$, $28\Delta^{5,24(28)}$, $28\Delta^{24(28)}$, $28\Delta^5$ e $28\Delta^0$), C_{29} ($29\Delta^{5,22}$, $29\Delta^{22}$, $29\Delta^5$ e $29\Delta^0$) e esteróis 4α ($4\alpha 30\Delta^{22}$, $4\alpha\text{dim}29\Delta^0$). Os esteróis foram abreviados usando a terminação x Δ y.z, onde x= número de carbonos, Δ y.z posição da dupla ligação(s). 5α (H)-estanóis (Δ^{22} , Δ^0 e $\Delta^{24(28)}$) e Δ 5-estenóis ($\Delta^{5,22}$, Δ^5 e $\Delta^{5,24(28)}$). Ver texto para maiores detalhes. Alquenonas C_{37} e C_{38} com 2 e 3 duplas ligações.

5.5.2. Análise de Componentes Principais

Para a Análise de Componentes Principais (PCA), foi gerada uma matriz com os biomarcadores lipídicos mais importantes selecionados (i.e. variáveis). A PCA demonstrou que 75,8% da variância total dos biomarcadores lipídicos foi explicada por dois eixos principais (Figura 9). O eixo 1 explicou 45,8% da variância total e apresentou valores positivos para compostos marcadores de microalgas ($28\Delta^5$, $28\Delta^{22}$), zooplâncton ($27\Delta^5$, $27\Delta^{5,22}$), junto com alguns marcadores terrestres (LCOH) e alguns derivados de MO mais refratária, como as alquenonas, formando o Grupo I (Figura 9). Os compostos

Figura 9: Análise de componentes principais (PCA) através da representação gráfica dos eixos 1 e 2, assim como os grupos I e II, com os principais biomarcadores lipídicos encontrados, correlacionando suas possíveis fontes.

5.6. Análise da comunidade bacteriana bêntica

Durante o período estudado, o maior valor de densidade bacteriana foi registrado em setembro/07 ($2882,01 \times 10^6 \text{ cel.ml}^{-1} \pm 80,77$), seguido de agosto/07 ($2756,67 \times 10^6 \text{ cel.ml}^{-1} \pm 170,8$). As menores densidades foram registradas em outubro/06 ($125,8 \text{ cel.ml}^{-1} \pm 84,4$ e março/07 ($122,3 \times 10^6 \text{ cel.ml}^{-1} \pm 70,6$) (Figura 10).

Figura 10: Variação temporal dos valores médios de densidade bacteriana bêntica na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais indicam o erro padrão. Não houve amostragem em janeiro e julho de 2007.

Os valores de densidade bacteriana bêntica variaram significativamente no período estudado (ANOVA: $F=2,7947$; $GL=11$; $p=0,0212$), sendo que o mês de dezembro/06 e março/07 apresentaram densidade significativamente menor que junho/07, agosto/07 ($p<0,05$) e setembro/07 ($p<0,01$).

A biomassa bacteriana bêntica variou entre $0,2 \mu\text{gC ml}^{-1} \pm 0,06$ e $1,8 \mu\text{gC ml}^{-1} \pm 0,12$, sendo que os maiores valores foram encontrados em setembro e outubro/07. O menor valor foi encontrado em outubro/06 (Figura 11).

A variação temporal dos valores de biomassa bacteriana foi significativa (ANOVA: $F=3,885$; $GL=11$; $p=0,0042$). O mês de outubro/06 apresentou valores significativamente menores que agosto, setembro e outubro/07 ($p<0,01$).

Figura 11: Variação temporal dos valores médios de biomassa bacteriana bêntica na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais indicam o erro padrão. Não houve amostragem em janeiro e julho de 2007.

Os valores médios de células e divisão variaram entre $0,36\% \pm 0,01$ e $5,7\% \pm 1,35$, sendo os maiores valores registrados em setembro e outubro/07 e os menores em dezembro/06 e abril/07 (Figura 12).

Figura 12: Variação temporal dos valores médios da porcentagem de células em divisão, na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais indicam o erro padrão. Não houve amostragem em janeiro e julho de 2007.

Houve variação temporal significativa na porcentagem de células em divisão (ANOVA: $F=3,1553$; $GL=11$; $p=0,01$). Diferenças significativas foram detectadas pelo teste Tukey em outubro/06, com valores significativamente maiores do que abril/07 ($p<0,05$). Os valores encontrados em abril/07 foram também significativamente menores do que os encontrados em agosto e setembro/07 ($p<0,05$).

5.7. Macrofauna

5.7.1. Abundância, Composição, Contribuição relativa e Biomassa

Um total de 2.373 indivíduos da macrofauna foram coletados, distribuídos em 226 espécies. O grupo mais dominante foi Polychaeta, com 1017 indivíduos, distribuídos em 135 espécies. Em segundo lugar foi Crustacea, com 1000 indivíduos, distribuídos em 59 espécies. Os valores médios de abundância da macrofauna total variaram de $480 \pm 119,5$ a $4606,7 \pm 1405,8$ ind. $0,05\text{ m}^{-2}$, sendo dezembro/06 o mês de menor abundância e outubro/07, o de maior (Figura 13).

Figura 13: Variação temporal dos valores médios da abundância em $0,05\text{ ind.m}^{-2}$ da macrofauna, na plataforma interna de Ubatuba. Linhas verticais a cima das barras indicam o erro padrão.

Figura 14: Abundância média dos grupos pertencentes a macrofauna no sedimento da plataforma interna de Ubatuba. Outros: Nemertea, Sipuncula, Echiura, Priapulida e Hemichordata.

Foram encontradas diferenças significativas na abundância dos indivíduos da macrofauna (ANOVA, $F=8,3454$, $GL=12$; $p<0,0001$). As abundâncias foram

significativamente menores em outubro, novembro e dezembro/06 ($p<0,01$). Já em outubro/07, a abundância dos indivíduos foi significativamente maior que os demais períodos ($p<0,01$).

Dentre os grupos da macrofauna, Polychaeta foi o que apresentou a maior abundância. Houve ainda diferenças significativas entre os meses de coleta (ANOVA, $F=3,2598$, GL: 12, $p=0,0059$), sendo novembro/06 significativamente menor que maio/07 ($p<0,05$).

O segundo grupo mais importante da macrofauna foi Crustacea, com diferenças significativas em relação à sua variação temporal (ANOVA, $F=5,3858$, GL=2, $p=0,0003$), sendo o mês de outubro/06 significativamente menor que maio, setembro ($p<0,05$) e outubro/07 ($p<0,01$). O mês de maior abundância relativa de Crustacea foi outubro/07 (Figura 15), sendo significativamente maior do que os valores encontrados em dezembro/06 ($p<0,01$) e julho/07 ($p<0,05$).

O terceiro grupo em abundância foi Mollusca, que também apresentou variação temporal significativa (ANOVA, $F=2,9315$, GL:12, $p=0,01$). O mês de dezembro/06 apresentou abundâncias significativas menores em relação a junho e setembro/07 ($p<0,05$). Não houve variação temporal significativa para Ophiuroidea (ANOVA, $F=1,31$, $p=0,12^*$).

A maior contribuição relativa em abundância também foi do grupo Polychaeta em quase todos os meses, com exceção de fevereiro e outubro/07, quando os crustáceos dominaram (Figura 15). Esse aumento na abundância relativa dos crustáceos foi causado por um grande número dos cumáceos *Cyclops variabilis* e *Dyastilis fabrizioi*, e dos anfípodes *Photis brevipes* e *Heterophoxus videns*, encontrados nos períodos (ver Figura 16).

Figura 15: Contribuição relativa dos principais grupos da macrofauna durante o período amostrado.

A variação das espécies com maior abundância identificadas durante o estudo estão ilustradas na Figura 16. É importante ressaltar a semelhança entre a variação temporal dos poliquetas *Ninoe brasiliensis* e *Goniada maculata*, com uma tendência de aumento da abundância a partir de maio/07. Já entre os cumáceos *Cyclaspis variabilis* e *Diastylis fabrizioi* e o anfípode *Photis brevipes*, houve picos de abundância em fevereiro, março e outubro/07 (Figura 16).

Figura 16: Variação temporal das espécies mais abundantes encontradas durante o período de estudo. As linhas verticais indicam o erro-padrão. A ausência de barras verticais indicam a ausência da espécie no período.

A biomassa da macrofauna total e dos principais grupos está apresentada nas Figuras 17 e 18. Os valores de biomassa total variaram entre $0,14 \text{ g} \pm 0,06$ e $2,31 \text{ g} \pm 1,9$ (Figura 17). O maior valor de biomassa foi registrado em julho/07 e o menor, em

novembro/06 (Figura 17). Pode-se observar pela Figura 16 que houve uma tendência de aumento da biomassa a partir de março/07, com um leve declínio entre agosto e outubro/07.

Figura 17: Variação temporal da biomassa (peso úmido) da macrofauna total, durante o período de amostragem. Grupos inseridos: Polychaeta, Crustacea, Mollusca, Ophiuroidea, Echiura e Sipuncula). Linhas verticais indicam o erro-padrão.

Em relação a biomassa relativa, os grupos Ophiuroidea e Mollusca apresentaram as maiores contribuições. A maior contribuição dos Ophiuroidea foi em agosto/07, com 87% da biomassa total, e outubro/06 com 70%. O grupo Mollusca apresentou maior contribuição em setembro/07, com 50% da biomassa total. Em outubro/06, os Polychaeta representaram em média 30% da biomassa total, chegando a quase 50% em janeiro e fevereiro/07. O grupo Crustacea foi o que apresentou a menor biomassa durante o período amostrado, representando menos de 10% da biomassa total registrada no estudo, com exceção de novembro/06, que chegou a 30% de contribuição (Figura 18).

Figura 18: Biomassa relativa dos principais grupos da macrofauna durante o período de amostragem. Outros: Echiura e Sipuncula.

Não houve variação temporal significativa em relação a biomassa da macrofauna. A análise variância ANOVA de um critério não mostrou variação temporal significativa nos valores de biomassa da macrofauna, tanto referente aos valores totais, quanto aos principais grupos analisados separadamente (Tabela 6).

Tabela 6: Resultados da análise de variância ANOVA de um critério referentes aos valores médios de biomassa da macrofauna total e dos principais grupos, entre os meses de amostragem (n = 13). *: valores de p não significativos. ns: valores não significativos.

Biomassa macrofauna Total			
f = 2,02	p = 0,0639*	GL = 12	Diferenças Tukey ns
Polychaeta			
f = 1,00	p = 0,1965*	GL = 12	Diferenças Tukey ns
Crustacea			
f = 1,00	p = 0,5768*	GL = 12	Diferenças Tukey ns
Mollusca			
f = 0,8	p = 0,64*	GL = 12	Diferenças Tukey ns
Ophiuroidea			
f = 1,9	p = 0,08*	GL = 12	Diferenças Tukey ns

5.7.2. Descritores de comunidade

A riqueza de espécies (S) variou, em média, entre $9 \pm 1,0$ (outubro/06) e $38 \pm 3,0$ (julho/07) espécies por amostragem (Figura 19). Houve uma tendência de aumento da riqueza de espécies durante o período amostral, com exceção dos meses de março e junho/07. O número total de indivíduos por amostra foi bastante baixo nos meses de outubro, novembro e dezembro/06 (menos de 15 indivíduos, ver Figura 19). Todavia, houve um aumento durante o período de 2007, com a abundância chegando a 200 indivíduos em outubro/07. A Equitatividade de Pielou (J') variou de $0,77 \pm 0,02$ a $1,0 \pm 0,01$ durante todo o período de coleta, sugerindo uma baixa dominância durante o período amostral. Por outro lado, o Índice de Diversidade de Shannon (H') variou de $2,07 \pm 0,12$ (outubro/06) a $3,37 \pm 0,08$ (julho/07) (Figura 19).

Figura 19: Descritores de comunidade da macrofauna bêntica (valores médios), durante o período de amostragem. Linhas verticais indicam o erro-padrão.

5.7.3. Grupo Trófico – grupo *Polychaeta*

A determinação dos grupos tróficos foi realizada apenas para os poliquetas, por se tratar do grupo mais abundante e diverso dentro da macrofauna.

Em geral, quatro grupos tróficos estiveram presentes em todos os períodos de coleta, tendo sido os carnívoros (C) os que apresentaram a maior abundância relativa, atingindo quase 80% em dezembro/06 (Figura 16). Em seguida vieram os depositívoros de subsuperfície (B), porém bem menos representativos, com contribuições chegando a 25% em julho/07. Contudo, nos demais meses este grupo contribuiu com menos de 20%. Os onívoros (O) foram ligeiramente menos representativos que os do grupo B, com média com 15% e maior contribuição em novembro/06 (~40%) (Figura 20). Pode-se notar ainda que houve inexpressiva participação dos depositívoros de superfície (DS) em todos os períodos amostrados (Figura 20).

Figura 20: Abundância relativa dos grupos funcionais alimentares do grupo *Polycheta* para todos os períodos de coleta. C = carnívoros, B = depositívoros de subsuperfície, DS = depositívoros de superfície, O = onívoros.

5.8. Resultados das análises multivariadas

5.8.1. Composição específica da comunidade da macrofauna benthica

Para verificar a presença de padrões sazonais na distribuição das espécies da macrofauna, em função da abundância, foi realizada uma análise de ordenação MDS, com os meses entre si, e com os meses agrupados em estações do ano, sendo consideradas para ambas as análises as três réplicas separadamente. (Figuras 21 e 22).

Figura 21: Análise de ordenação (MDS) dos meses de amostragem em função da abundância das espécies da macrofauna benthica.

Figura 22: Análise de ordenação (MDS) dos meses agrupados em estações do ano, em função da abundância das espécies da macrofauna bêntica.

Segundo os resultados da Figura 21, nota-se que não houve formação de grupos significativos em relação à abundância da macrofauna entre os meses de coleta (ANOSIM, $R=0,248$; $p=0,004$). Dessa forma, a amostragem mensal não detectou mudanças significativas em relação a abundância das espécies na região de Ubatuba,

Não houve influência de padrões sazonais na distribuição das espécies da macrofauna (ANOSIM, $R= -0,107$, $p=0,872$), sendo que não foi visualizado qualquer ordenação no sentido de formar grupos significativos entre os meses pertencentes às estações amostradas (Figura 22).

5.8.2. Análise temporal da variação dos dados ambientais - PCA

Para a análise de componentes principais (PCA) foram utilizados os seguintes dados: temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido (coluna d'água), porcentagem de matéria orgânica total (%MOT), clorofila-a, feopigmentos, razão Cloro/Feo, densidade e biomassa bacteriana, biomarcadores lipídicos (Ácidos Graxos, Álcoois, Esteróis e Alquenonas), assim como a diversidade de espécies.

Figura 23: Análise de componentes principais (PCA), com as variáveis representadas por vetores e os meses representados por pontos. O eixo 1 está na horizontal e o eixo 2 está na vertical.

Os eixos 1 e 2 presentes da Figura 22 explicaram respectivamente 35% e 18% da variância dos dados analisados.

O eixo 1 apresentou correlações positivas com Densidade Bacteriana (BacDens), Alquenonas, Álcoois, Esteróis e Temperatura (Loading $\geq 0,2$), e apresentou correlações negativas com Salinidade, Feopigmentos e Clorofila-a (Loading $\leq -0,2$). O eixo 1 englobou as variáveis nos dois quadrantes abaixo do eixo (ver Figura 21). As amostras de agosto/07 estiveram mais relacionadas com os Álcoois e BacDens, já as amostras de novembro/06, maio e abr/07 estiveram mais relacionadas com a Temperatura e Esteróis. A amostra de março/07 esteve bastante relacionada com a Salinidade e Feopigmentos, e dezembro/06 com Salinidade, Feopigmentos e Clorofila-a.

O eixo 2 apresentou correlação positiva com Atividade Bacteriana (AtivBac) e Biomassa Bacteriana (BacBiom) e com razão Cloro/Feo (Loading $\geq 0,2$), assim como apresentou correlação negativa com Oxigênio dissolvido, Ácidos Graxos e %MOT (Loading $\leq -0,2$). As amostras de outubro/06, por estarem muito distantes dos eixos e das outras amostras, parecem estar pouco relacionadas com as variáveis do estudo e também com o resto do período. As amostras de setembro/07 e outubro/07 parecem estar relacionadas com a Atividade Bacteriana (AtivBac) e junho/07, com a Biomassa Bacteriana (BacBiom) (Figura 23).

Adicionalmente, as variáveis que se apresentaram opostas nos eixos de ordenação indicam correlação negativa, ou seja, no eixo 2, a AtivBac e BacBiom foram maiores quando houve baixos valores de Salinidade e Feopigmentos. No eixo 1, os Ácidos Graxos, a %MOT e principalmente razão Cloro/Feo, variaram contrariamente aos valores de Esteróis e Álcoois, assim como Densidade Bacteriana (BacDens). Ao mesmo tempo, as variáveis com eixos muito próximos estiveram bastante relacionadas durante o período estudado, como a Temperatura e a Diversidade de Espécies (H'), a Atividade e Biomassa Bacterianas, a Clorofila-a e Feopigmentos, assim como Densidade Bacteriana e Alquenonas (ver Figura 23).

5.8.3. Dados Ambientais versus composição faunística – CCA e BIO-ENV

Até o momento as análises multivariadas trataram separadamente os dados biológicos e os dados ambientais. Com o intuito de visualizar a distribuição das espécies em função das variáveis ambientais, foi realizado uma Análise de Correspondência Canônica (CCA).

Figura 24: Análise de correspondência canônica (CCA) entre as principais variáveis ambientais e os táxons de maior abundância para a região de estudo. O eixo 1 está na horizontal e o eixo 2 na vertical.

O plano do diagrama como um todo explicou 85% da variância dos dados, sendo que o eixo 1 representou 31% e o eixo 2, 54% da variância dos dados. De 14 variáveis ambientais selecionadas, apenas 7 foram significativas ($p < 0,05$).

De uma forma geral, a análise indicou a Biomassa Bacteriana (BacBiom), a concentração de Álcoois, Feopigmentos, %MOT e Oxigênio dissolvido como as variáveis que mais se relacionaram à distribuição dos táxons. A concentração de Álcoois mostrou-se muito relacionada à Biomassa Bacteriana (BacBiom), e a %MOT muito relacionada aos feopigmentos e estes, apresentaram uma correlação negativa com

os Álcoois e BacBiom, assim como os Ácidos Graxos estiveram negativamente relacionados com a Temperatura (Figura 24).

Em relação aos táxons, *Tiron troparkis* e *Metharpinia* sp. encontram-se relacionadas à Biomassa Bacteriana (BacBiom) e aos Álcoois, *Cyclaspis fabrizioi* mostrou-se relacionado aos Ácidos Graxos. *Pholoe minuta* e *Sthenelais limicola* mostraram-se relacionadas aos Feopigmentos e %MOT, já *Goniada maculata* e *Pseudoharpinia dentata* estiveram bastante relacionadas ao teor de Oxigênio dissolvido (Figura 24). A Temperatura relacionou-se com *Amphiura complanata*, *Heterophoxus videns*, *Ampelisca brevissimulata*, *Goniada* sp., *Ninoe brasiliensis* e Anthuridae sp. 1, demonstrando ser um fator importante na distribuição das espécies. A posição central de três espécies no diagrama, *Photis brevipes*, *Cerapus tubularis* e *Cumella* sp., indicando não haver relação delas com as variáveis ambientais selecionadas pela análise.

A Análise Bio-Env, utilizada com a matriz da distribuição das espécies de cada mês amostrado e a matriz de dados ambientais, foi realizada com as seguintes variáveis: Temperatura, Salinidade, O₂ dissolvido, %MOT, Clorofila-a, Feopigmentos, razão Cloro/Feo, BacDens, BacBiom, AtivBac, Ácidos Graxos, Álcoois, Esteróis e Alquenonas.

Os resultados da Bio-Env indicaram que os padrões de distribuição das espécies da macrofauna estiveram relacionados às seguintes variáveis: %MOT, Biomassa bacteriana, Ácidos Graxos e Esteróis ($p_w = 0,645$). Com exceção dos esteróis, as variáveis selecionadas pelo Bio-Env foram semelhantes às encontradas pelo CCA, confirmando a importância delas para a distribuição das espécies da macrofauna na plataforma interna ao largo de Ubatuba.

6. DISCUSSÃO

6.1. Coluna d'água

As características termohalinas da água do mar na região da plataforma interna de Ubatuba são determinadas pela mistura em proporções variáveis da Água Costeira (AC), Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), pelo padrão de correntes geradas principalmente pelo vento e pelas condições climatológicas que prevalecem na região (Aidar *et al.*, 1993; Castro Filho *et al.*, 1987; Castro Filho, 1990, Gaeta *et al.*, 1995, 1999). As condições hidrográficas da plataforma interna de Ubatuba apresentaram uma variação sazonal, considerando-se as épocas de meses mais quentes e meses mais frios. As massas d'água presentes na região foram a AC e ACAS. Não foi verificada a presença da AT (Água Tropical). A ausência da AT na profundidade de 40 metros corrobora com registros de 2005 e 2006 para a mesma estação fixa, presentes nos estudos de Nagata (2007), também inserido no Projeto Antares. Segundo Silveira *et al.* (2000), o período de intrusão da ACAS na região de estudo faz com que a AT seja mantida distante da costa e da plataforma interna, fluindo em direção à quebra da plataforma.

De um modo geral, as maiores variações de temperatura e salinidade foram detectadas na superfície, as quais estão relacionadas ao maior contato dessas águas com variações ambientais atmosféricas como, ventos, pluviosidade, temperatura, radiação solar. Já as águas localizadas mais próximas ao fundo sofrem menores variações na temperatura e salinidade por estarem menos suscetíveis a mudanças ambientais que ocorrem na superfície (Gaeta *et al.*, 1999b).

Tipicamente, as maiores temperaturas da água de superfície foram encontradas entre outubro/06 e março/07 (primavera-verão), período no qual há maior incidência solar, promovendo o aquecimento da superfície do mar. Em regiões subtropicais, as variações sazonais são pouco marcadas, porém os valores máximos de radiação solar correspondem aos meses de verão e os mínimos aos meses de inverno (Aidar *et al.*, 1993). As concentrações de oxigênio dissolvido na água de superfície foram maiores que as de fundo durante quase todo o período de amostragem. Em áreas de plataforma interna, como é o caso do presente estudo, ocorre sempre um decréscimo no teor de oxigênio dissolvido nas amostras mais próximas do fundo, quer no verão, em presença da ACAS, quer no inverno, sob o domínio da AC. Na água mais profunda, abaixo da

termoclina e da zona eufótica, o conteúdo de oxigênio dissolvido é governado principalmente pela taxa de oxidação e remineralização da matéria orgânica detritica em processo de sedimentação (Aidar *et al.*, 1993, Gaeta *et al.*, 1999).

A estratificação da coluna d'água observada durante o período de primavera-verão ocorreu devido a presença das massas d'água AC e ACAS. De acordo com Castro *et al.* (1987) e Campos *et al.* (1995, 1996, 2000), há um transporte da AT na camada superficial em direção a quebra da plataforma enquanto a ACAS é transportada no sentido contrário, na camada de fundo, principalmente na presença de ventos predominantes de E e NE, comuns na região (Castro-Filho *et al.*, 1987; Braga e Müller, 1998; Campos *et al.*, 2000). A comprovada intrusão da ACAS na plataforma interna de Ubatuba nos meses de primavera-verão, resulta em uma aumento da produção fitoplanctônica (Aidar *et al.*, 1993; Gaeta *et al.*, 1999) e um consequente aumento do aporte de fitodetritos durante esses períodos mais quentes (Gaeta *et al.*, 1994).

No período de outono-inverno (abril a julho/07), com o relaxamento da estrutura de duas camadas (termoclina) promovida por ventos fortes de S-SW e frentes frias (Miranda, 1982; Castro, 1987), houve uma homogeneidade dos perfis de temperatura e salinidade na área de estudo, com predomínio da AC (ver também Miranda, 1982; Castro, 1987; Campos *et al.*, 1995, 2000; Mahiques *et al.*, 2004).

6.2. Ambiente sedimentar

6.2.1. Granulometria e Matéria Orgânica Total

A variação das características dos depósitos sedimentares dá-se em função da origem e transporte do material, da estrutura do ambiente de deposição e do retrabalhamento que os sedimentos podem sofrer após a sedimentação. A distribuição granulométrica dos sedimentos estão associados às condições hidrodinâmicas próximas ao fundo (Mahiques *et al.*, 2004). Em geral, existe uma tendência à deposição de sedimentos mais finos, como silte e argila, em áreas com menor energia hidrodinâmica e de sedimentos mais grossos, como as areias, em locais que apresentam maior energia (Suguio, 1973). A classificação de Shepard para o presente trabalho foi de areia argilosa, com maiores porcentagens de areia muito fina (47%) e argila (26%), o que sugere características granulométricas indicativas de baixa a média energia .

No entanto, deve-se olhar com cautela para esses resultados, pois foram gerados de apenas uma coleta de sedimento durante os treze meses de amostragem. Mahiques *et*

al. (2004) destaca a ocorrência de duas regiões deposicionais distintas no litoral paulista: uma ao norte e outra ao sul, separados pela Ilha de São Sebastião. O setor norte (no qual se localiza a área de estudo) apresenta uma complexa distribuição dos sedimentos, onde a granulometria, a matéria orgânica e isótopos estáveis estão configurados em manchas (Mahiques et al., 2004). Dessa forma, apesar do estudo compor apenas uma estação oceanográfica, provavelmente seriam encontradas diferenças na variação temporal das características granulométricas locais.

Os valores de MOT encontrados (2,4 a 6,5%) foram similares aos encontrados em outros estudos feitos na região por Burone et al. (2003), Muniz et al. (2006), Moraes (2007) e Quintana (2004, 2008). Porém, os valores podem ser considerados mais baixos se comparados a regiões costeiras do mar Mediterrâneo (Fabiano et al., 1995; Albertelli et al., 1999, Dell’Ano et al., 2002).

Neste estudo, maiores porcentagens de MOT foram encontradas em picos de maiores valores (outubro/06, maio e setembro/07), sugerindo que as variações na %MOT ocorreram em resposta a eventos oceanográficos como o aumento no aporte de fitodetritos nos meses de outubro e setembro/07, devido, provavelmente, entre outros processos, à presença da ACAS (Água Central do Atlântico Sul), gerando maior produtividade primária até a região de plataforma rasa (Castro-Filho et al., 1987; Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1995, 1999; Mahiques *et al.*, 1998). Assim como a remobilização do sedimento em maio/07, nos meses de outono e inverno, causada pela maior incidência de frentes frias nesse período (Mahiques, 1995; Mahiques et al., 1994, 1998) provavelmente possui papel importante na dinâmica da matéria orgânica sedimentar. Condições de maior hidrodinamismo promovem uma sensível atenuação dos gradientes verticais na camada de termoclina e pycnoclina, e, conseqüentemente, uma coluna d’água mais homogênea, como foi observado entre maio e agosto/07.

A composição da MOT combina matéria orgânica de origem terrestre (e.g. fragmentos de plantas vasculares) e marinha (e.g. fitodetritos, etc). Essa mistura faz com que a MOT não seja precisa em termos de qualidade da matéria orgânica, apresentando, muitas vezes, valores superestimados (Sargent et al., 1983, Fabiano et al., 1995).

6.2.2. Clorofila-a, Feopigmentos e Fitodetritos Sedimentares

A clorofila-a e equivalentes pigmentos cloroplásticos (CPE: clorofila-a e seus produtos no processo de degradação) no sedimento são considerados bons traçadores da matéria orgânica produzida pela fotossíntese (Thiel, 1983; Pfannkuche, 1985; Smith et al., 1996; Wakeham et al., 1997; Pfannkuche et al., 1999, 2000). Dessa forma, o conteúdo de clorofila-a pode ser utilizado como descritor do estado trófico e da produtividade de sistemas costeiros (Cahoon & Cooke, 1992; Lucas et al., 2000), já que é resultado do transporte de materiais orgânicos da coluna d'água para o fundo.

As maiores concentrações de MO lábil (marcados pela clorofila-a) na plataforma interna de Ubatuba sugerem forte controle dos padrões de sedimentação tanto pela ACAS quanto por forçantes físicas relacionadas à passagem de frentes frias. Os picos de clorofila-a sedimentar obtidos em dezembro/06 e maio/07 sugerem um elevado fluxo de fitopigmentos ao sedimento sob condições de estratificação da coluna d'água completamente adversas. Em dezembro/06, a presença da ACAS provavelmente teve papel crucial no aumento da produção fitoplanctônica, principalmente de diatomáceas (Teixeira, 1973; Gaeta et al., 1999). Já em maio/07, a coluna de água homogênea foi provavelmente gerada pelo aumento na intensidade de forçantes físicas, especialmente ventos, gerando ressuspensão de sedimentos (ver Mahiques et al., 1999) e intrusão de nutrientes novos na coluna d'água, gerando um aumento na produção primária (Aidar et al., 1993; Gaeta, 1999; Yoshinaga et al., 2006). Padrões semelhantes foram documentados na margem continental de regiões temperadas, como no Mar do Norte (Boon & Duineveld, 1996), no Mediterrâneo (Albertelli et al., 1999; Danovaro et al., 2000), e na costa da Austrália (Chapman & Tolhurst, 2007).

Os feopigmentos são originados da degradação da clorofila-a por bactérias e atividades de pastejo do zooplâncton e da fauna bentônica (Sun et al., 1994). A concentração dos feopigmentos apresentou padrão temporal muito semelhante ao da clorofila-a, com picos de maiores valores em dezembro/06 e maio/07, sendo que para os feopigmentos essas diferenças foram significativas. De acordo com Danovaro *et al.* (2000), elevadas concentrações de feopigmentos, como as observadas no presente estudo, sugerem um forte acoplamento entre os processos que acontecem na coluna de água e o fundo (efeito de atividades de consumo por bactérias, zooplâncton e fauna). Sendo, dessa forma, considerado um importante traçador de aporte de fitodetritos (Stephens et al., 1997). Os feopigmentos, juntamente com a MOT foram as variáveis

que mais se relacionaram com a composição específica da macrofauna bêntica (ver CCA em resultados). Estudos na costa da Austrália (Chapman & Tolhurst, 2007) e Atlântico Norte (Soltwedel, 1997) também demonstraram maiores concentrações de feopigmentos em relação a clorofila-a.

Os valores de clorofila-a foram, em média, cinco vezes menores que os valores de feopigmentos em todo o período amostrado, sugerindo haver na região uma maior atividade de degradação da MO lábil sedimentar, aqui representada pela clorofila-a, gerando alimento fresco para comunidade bacteriana e fauna bêntica (Gooday & Turley, 1990; Dell'Ano et al., 2002, Gooday, 2002). Padrões semelhantes foram encontrados na região da costa de Ubatuba (Muniz et al., 2006; Sumida et al., 2005, Yoshinaga et al., 2006; Corbisier, 2006; Quintana, 2004, 2008).

Não podemos descartar ainda a presença do microfitobentos, encontrados em densidades representativas em diversos estudos feitos na região, contudo em menores profundidades (Corbisier et al., 1997; Quintana, 2004, 2008).

6.2.3. Biomarcadores lipídicos

Principais fontes da matéria orgânica sedimentar na plataforma interna de Ubatuba

A região da plataforma interna de Ubatuba apresentou fontes diversas de matéria orgânica depositada nos sedimentos. Entre elas, destaca-se principalmente as de origem marinha, como o fitoplâncton, zooplâncton, organismos bênticos como microfitobentos, macroalgas e fauna, assim como bactérias, tanto da coluna d'água como do sedimento, entre outros.

Os ácidos graxos de cadeia curta (SCFA) foram os mais abundantes e indicam fontes marinhas, de origem fitoplanctônica, principalmente diatomáceas (Wakeham, 1987). Em seguida, os ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) e ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), os quais são associados à MO lábil e apresentaram menores concentrações, já que são rapidamente degradados em MUFAs na interface sedimento/água. Dessa forma, a presença de MUFAs como C_{16:1}, C_{18:1} indicam que fitoplâncton, zooplâncton e bactérias podem contribuir para a quantidade de ácidos monoinsaturados presentes no sedimento (Wakeham, 1995). Altas abundâncias dos ácidos graxos PUFAs C_{20:5} e C_{20:4}, juntamente com os MUFAs, indicam a contribuição fitoplanctônica na região (Volkman, 1986; Volkman et al., 1989, 1998).

Os ácidos graxos ramificados (BRANCH), homólogos iso- e anteiso- C_{15} e C_{17} e o 10 metil- C_{16} , assim como $C_{18:1\omega7}$ e $C_{18:1\omega9}$, observados em praticamente todas as amostras, indicam origem bacteriana no sedimento (Kaneda, 1991; Camacho-Ibar et al., 2003). Nos sedimentos de Ubatuba, esses compostos representaram uma fração significativa do total de ácidos graxos analisados, sugerindo a importância do retrabalhamento bacteriano na MO sedimentar.

Os ácidos graxos de cadeia longa (LCFA; $\geq C_{23}$) são produzidos por plantas superiores e podem indicar contribuição terrestre (continental), juntamente com os álcoois de cadeia longa (LCOH; $\geq C_{22}$). As altas taxas $\Sigma\text{MarOH}/\Sigma\text{TerrOH}$ e $\Sigma\text{SCFA}/\Sigma\text{LCFA}$ observadas sem quase todo o período, com poucas exceções, sugerem uma influência principalmente marinha nos sedimentos de Ubatuba (Xu & Jaffé, 2007; Yoshinaga et al., 2008).

Os esteróis estão presentes nos organismos eucariontes, pois são componentes de membranas celulares. O fato de apenas os eucariontes apresentarem membrana lipídica fazem deles bons traçadores da MO nos sedimentos (Volkman, 1986). Adicionalmente, os esteróis são amplamente diversos em microalgas e indicam fontes advindas da produtividade primária nos oceanos (Wakeham et al., 1995; Volkman et al., 1998; Volkman, 2005).

Elevadas concentrações de colesterol ($27\Delta^5$), assim como de $27\Delta^{5,22E}$ encontradas na região de estudo, têm como fontes principais a salpa *Thalia democratica*, zooplâncton e organismos bênticos, mas principalmente as salpas, muito abundantes na região de plataforma interna de Ubatuba (Matsuura & Wada, 1994). Elevadas concentrações desses compostos indicam que o zooplâncton pode representar uma fonte importante de matéria orgânica para os sedimentos de Ubatuba. Além dos esteróis C_{27} , a presença de esteróis C_{26} , principalmente $26\Delta_{5,22}$ também indica aporte de fauna marinha, pois são encontrados em invertebrados, e estão ausentes na maioria das algas (Volkman et al., 1981).

O fitoplâncton é a maior fonte de esteróis C_{28} , enquanto que o zooplâncton e os animais bentônicos não são capazes de sintetizá-los, assimilando esses compostos através de uma dieta rica em restos de fitoplâncton. Nesse grupo, o $28\Delta^{5,22E}$ e o $28\Delta^5$ são marcadores de microalgas como clorofíceas, criptofíceas e primnesiofíceas (Volkman, 1986), espécies pertencentes ao nanoplâncton (fitoflagelados), grupo de grande

importância em biomassa na região de Ubatuba (Aidar et al., 1993, Gaeta et al., 1995,1999), além disso, os esteróis $29\Delta^5$ e $29\Delta^{5,22}$ também são muito abundantes em macroalgas marinhas (Canuel & Martens, 1993; Chikaraishi, 2006). Esses compostos representam os principais responsáveis pelas fontes de MO marinha (autóctone).

O dinosterol ($30\Delta^{22}$) foi o principal esterol C_{30} identificado, o qual é particularmente originado por dinoflagelados (Volkman, 1986; Volkman et al., 1998).

Os compostos hidrogenados de vários esteróis (estanóis; $27\Delta^0$, $28\Delta^0$, $29\Delta^0$) foram encontrados nesse estudo em praticamente todas as amostras e podem ser indicativos de contribuição marinha, autóctone (Robinson et al., 1984). Esses compostos são originados principalmente da redução microbiana (hidrogenação) de estenóis derivados de materiais fecais (Nishimura, 1982), sob condições anóxicas, durante sedimentação na coluna de água e na interface água/sedimento (Gogou & Stephanou, 2004).

As alquenonas, encontradas com razoável abundância na região de estudo, são importantes indicadores da produtividade primária e da composição de espécies de algas no oceano (Madureira, 2002). As alquenonas são amplamente utilizadas como marcadores de cocolitoforídeos, tanto em sedimentos recentes como em investigações paleo-oceanográficas (Volkman et al., 1980; Volkman, 1986, 1998).

O fitol, álcool de maior abundância quantificado, é um ramo da molécula de clorofila-*a*, sendo portanto, um marcador específico de material proveniente da atividade fitoplanctônica.

Tabela 7: Possíveis fontes dos principais biomarcadores lipídicos (modificada de Yoshinaga, 2006).

Grupo/composto	Fonte principal	Referência
Ácidos Graxos		
∑ SCFA	Diatomáceas	Volkman et al., 1989
∑ LCFA	Plantas Superiores	Eglinton e Hamilton, 1966; Cranwell, 1982
BRANCH	Bactérias	Volkman, 198; Kaneda, 1991
C ₁₆ e C ₁₈ PUFAs	Diatomáceas e Dinoflagelados	Volkman et al., 1989
C _{16:1ω7}	Microalgas	Volkman et al., 1989, Cranwell, 1982
10-metilC₁₆ (ramificado)	Bactérias	Volkman, 1986, Kaneda, 1991
C _{18:1ω9}	Zooplâncton, bactérias	Sargent, 1976
C _{18:1ω7}	Bactérias	Volkman, 1986, Kaneda, 1991
C _{20:5ω3}	Diatomáceas	Volkman et al., 1989
Alcoois	Microalgas	Nichols et al., 1984
∑ SCOH	Fonte marinha não-específica	Sargent, 1976
∑ LCOH	Plantas Superiores	Volkman et al., 1981
Phytol	microalgas	Rontani & Volkman, 2003
Esteróis		
26Δ ^{5,22} , 26Δ ²²	Diatomáceas e dinoflagelados	Volkman et al., 1981, Leblond & Chapman, 2002
27Δ ^{5,22}	zooplâncton/fauna bêmica e diatomáceas	Volkman, 1986
27Δ ⁵	zooplâncton, fauna bêmica e fitoplâncton	Harvey, et al., 1987; Volkman, 1986
28Δ ^{5,22}	Diatomáceas, Primmnesiophyceae, cryptophyceae	Volkman, 1986
28Δ ^{5,24(28)}	Diatomáceas	Volkman, 1986
28Δ ⁵	Plantas superiores, Fitoplâncton	Volkman, 1998
29Δ ^{5,22}	Plantas superiores, Fitoplâncton	Nichols et al., 1982, Volkman, 1986
29Δ ⁵	Plantas superiores, Fitoplâncton	Nichols et al., 1982, Volkman, 1986
30Δ ²²	Dinoflagelados, Prymnesiôfitas	Volkman et al., 1981, Volkman, 2003
Alquenonas	Cocolitoforídeos	Conte et al., 1994

Forçantes ambientais sobre a composição da MO nos sedimentos de Ubatuba

A porção da plataforma interna de Ubatuba possui águas com características intermediárias entre oligo- e mesotróficas, e o nanofitoplâncton é a fração que mais contribui para a biomassa fitoplanctônica e produção primária na região (Metzler, 1991, Gaeta et al., 1999). Os resultados apresentados neste estudo mostraram a presença de uma diversidade de marcadores de diatomáceas (16:1ω7; 28Δ^{5,24(28)}, 26Δ^{5,22}), e outras microalgas em geral. O levantamento de Villac et al. (2008) sobre a diversidade fitoplanctônica na região sudeste brasileira, identificou dentre os grupos mais abundantes as diatomáceas (82%), seguido de dinoflagelados (16%), e o restante equivalente a 2% composto de silicoflagelados, cocolitoforídeos e cianobactérias, sendo as cianobactérias principalmente do gênero *Leptocylindrus* e *Chaetoceros* (Metzler, 1991), e os cocolitoforídeos (alquenonas), principalmente do gênero *Emiliana* e *Ophiaster* (Metzler, 1991).

Na região ao largo de Ubatuba, padrões sazonais de verão e inverno, com o aumento e diminuição de fontes marinhas lábeis, respectivamente, foram encontrados por Ortulan (2008) e Yoshinaga et al. (2008). Contudo, tal padrão não ficou muito claro neste estudo, devido ao fato de, ao longo do ano de coleta, o maior aporte de MO sedimentar foi de material de fontes autóctones, porém não específicas e com grau intermediário de degradação (SCFA, SCOH, estanóis $27\Delta^{22}$ e $28\Delta^{22}$, fitol, entre outros).

Parece existir um aporte que pode ser considerado constante de material de origem pelágica, tanto fito- como zooplancônico, que chega ao sedimento já parcialmente retrabalhado na coluna d'água. Além disso, este é provavelmente rapidamente consumido pelos organismos bênticos, mesmo no período de primavera-verão, quando há um aumento efetivo na produção nova pela intrusão da ACAS (Gaeta et al., 1999), e no inverno, época de diminuição da produção primária na região (Aidar et al., 1993; Gaeta et al., 1995; Saldanha-Corrêa & Giancesella, 2004).

Por outro lado, alguns eventos típicos de verão foram encontrados no presente estudo em fevereiro/07, que apresentou altas concentrações do ácido 16:1 ω 7, marcador de diatomáceas, e do esterol $27\Delta^5$, marcador de zooplâncton. As diatomáceas são as maiores responsáveis pelo aumento da produção nova no verão, confirmando a influência da ACAS no período, assim como as salpas, principalmente *Thalia democratica*, que também é muito abundante no verão. Segundo Yoshinaga et al. (2008), esse organismo onívoro pode representar a maior fonte de $27\Delta^5$ nos sedimentos de Ubatuba.

Os picos de maiores concentrações em novembro/06 e maio/07 estão relacionados a esse aporte marinho mais trabalhado organicamente, que apresentou altas concentrações, principalmente estanóis dos esteróis C_{27} e C_{28} . Esses picos de comportamentos semelhantes, encontrados no presente estudo em épocas com diferentes processos hidrodinâmicos (primavera e outono respectivamente), comprovam a falta de padrões sazonais em termos da quantidade e qualidade da MO sedimentar na região.

Outro fato importante a ser considerado esteve relacionado aos indicadores de bactérias, os BRANCHs, representados neste estudo principalmente pelo ácido 18:1 ω 7, encontrado em altas concentrações ao longo do ano, sendo a maior encontrada em maio/07, período com presença de aporte lábil no sedimento. Um maior consumo desse material lábil por bactérias pode acarretar num aumento da biomassa bacteriana durante os meses mais frios, corroborando com os resultados desse estudo que mostraram uma

maior biomassa bacteriana em maio/07. Esse padrão foi observado por Sumida et al. (2005), na mesma região.

Assim como os SCFA predominaram sobre os LCFA, os SCOH, que possuem origem marinha, principalmente do zooplâncton (Sargent, 1976), foram mais abundantes que os LCOH, originados de vegetais superiores (Cranwell, 1982). Esse fato sugere uma origem autóctone da MO sedimentar, assim como uma influência terrestre pouco representativa. A baixa concentração de esteróis da cadeia dos C₂₉, conhecidos marcadores terrestres (Volkman et al., 1987), corroboram com a fraca influência continental durante o período amostrado.

A distribuição dos biomarcadores lipídicos sugere que não apenas a ACAS influencia a produção de MO lábil, através do estímulo à produção por diatomáceas, como também eventos físicos que injetam nutrientes na coluna d'água e aumentam a produção biológica pelágica local, são responsáveis pelos mecanismos de exportação de MO autóctone para os sedimentos da plataforma interna de Ubatuba.

6.2.4. Comunidade bacteriana bêntica

A distribuição de bactérias no sedimento marinho é controlada por inúmeros fatores, incluindo granulometria, distúrbios físicos (e.g. ressuspensão e turbulência), viabilidade de substratos orgânicos, além da pressão por predação de seus consumidores naturais (protozoa e meiofauna) (Danovaro, 1996; Danovaro et al., 1998; 2001). Vale ressaltar a tão conhecida relação entre a qualidade da MO e abundância da comunidade bacteriana sedimentar (Meyer-reil et al., 1978; Graf, 1989; Gooday & Turley, 1990; Danovaro et al., 1999; Albertelli et al., 1999; Danovaro & Fabiano, 1997; Tselepides et al., 2000; Polymenakou et al., 2007, entre outros).

Altos valores de densidade e biomassa bacteriana foram encontrados no sedimento da plataforma interna de Ubatuba, variando entre 2 e 3 x10⁹ cel.ml⁻¹ e entre 0,5 e 2 µgC.ml⁻¹, respectivamente. Tais valores são similares aos encontrados em diferentes ambientes marinhos (Dale, 1974; Meyer-Reil, 1983; Danovaro & Fabiano, 1995; Danovaro et al., 1999; Albertelli et al., 1999; Dietrich & Arndt, 2000; Stoeck & Kröncke, 2001; Deming & Carpenter, 2008).

Padrões temporais na densidade bacteriana não foram muito evidentes, porém houve uma tênue tendência de aumento da densidade entre outubro/06 e outubro/07. É

interessante notar que esse aumento ocorreu independentemente da qualidade de MO lábil presente no sistema, já que baixas razões Cloro/Feo e aportes de MO mais degradada foram constantes ao longo do ano, inclusive nos meses de menor (outubro/06) e de maior (setembro/07) densidade bacteriana. Segundo Dauwe & Middelburg (1998), formas mais refratárias de MO podem ser responsáveis por um contínuo e lento aumento na densidade e biomassa bacteriana bêntica. Além disso, Kröncke et al. (2004), afirmam que altas concentrações de material orgânico mais refratário presente no ambiente estimulam aumentos de densidade bacteriana.

A biomassa bacteriana acompanhou aumentos na quantidade de MO lábil no sistema, em especial relacionados à clorofila-a e marcadores lipídicos fitoplanctônicos, principalmente provenientes de diatomáceas. Moraes (2007) também obteve resultados semelhantes na relação entre MO lábil e biomassa bacteriana na região de Ubatuba, assim como padrões temporais não marcados.

Os valores médios da porcentagem de células em divisão que, no presente estudo, foram utilizadas para medir atividade bacteriana, variaram entre 0,4% e 5,7%. Pode-se dizer que as porcentagens de células em divisão foram mais baixas em comparação aos valores encontrados por Moraes (2007) (2,1% a 21,3%), e a outros estudos realizados em plataforma, como a do Mediterrâneo (Danovaro & Fabiano, 1995; Fabiano & Danovaro, 1998; Albertelli et al., 1999; Danovaro et al., 2001). Os resultados da PCA mostraram que a atividade bacteriana esteve correlacionada com a biomassa. Esses resultados mostram que a atividade bacteriana bêntica também é influenciada por aportes mais frescos de MO, assim como a biomassa. Estudos em áreas costeiras do Mediterrâneo também comprovaram essa relação (Fabiano & Danovaro, 1994, Danovaro et al., 2001). Agregados de MO fresca são considerados focos de intensa atividade bacteriana (Lochte & Turley, 1988; Smith et al., 2006). Além disso, é amplamente conhecido que são as bactérias que respondem mais rapidamente ao aporte de MO lábil no sedimento (Turley & Lochte, 1990).

Em outubro/06 foi o único período amostral no qual foi encontrada uma alta taxa de atividade bacteriana juntamente com uma baixa biomassa. Durante este período, a MO sedimentar apresentou-se mais degradada (razão cloro/feo $0,15 \pm 0,005$). Rusch et al. (2003) enfatizam que bactérias de locais oligotróficos podem apresentar altas taxas de atividade para que possam obter quantidade suficiente de nutrientes para o seu metabolismo. Adicionalmente, a alta degradabilidade da MO leva a condições anóxicas

em sedimentos mais finos, devido a baixa permeabilidade dos grânulos. Essas condições podem acarretar em alta atividade bacteriana, porém com uma baixa conversão em biomassa (Kristensen et al., 1995).

6.2.5. Macrofauna

A macrofauna é considerada um componente importante dos sistemas bênticos, já que desempenha um papel fundamental na decomposição dos detritos orgânicos, na reciclagem dos nutrientes e nos fluxos de energia para os níveis tróficos superiores (Hyland et al., 2005). O estabelecimento e a permanência das populações bênticas são principalmente determinados pelos requerimentos fisiológicos dos organismos e pela habilidade de utilizar os recursos alimentares disponíveis. Desta forma, a quantidade e o valor nutricional da matéria orgânica sedimentar têm um papel fundamental na determinação da abundância, biomassa e estrutura funcional das comunidades da macrofauna (Roth & Wilson, 1998).

A densidade da macrofauna encontrada no presente estudo variou de 300 a 4500 ind.m⁻², sendo esses valores semelhantes a outros estudos realizados na costa de Ubatuba (Santos & Pires-vanin, 2004; Muniz, 2003; Quintana, 2004; 2008), e na plataforma externa e talude ao largo de Ubatuba (Sumida & Pires-Vanin, 1997). Picos de maior abundância da macrofauna concomitantes com a maior presença de MO lábil sugerem que a qualidade e a quantidade da MO disponível como alimento nos sedimentos possuem grande importância para as comunidades macrobênticas da plataforma interna de Ubatuba (ver também Josefson et al., 2002). Outros fatores bióticos e abióticos também foram relevantes para a comunidade da macrofauna, como temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, lipídios, dentre eles os ácidos graxos e álcoois, %MOT e quantidade de feopigmentos.

A CCA mostrou que a biomassa bacteriana também esteve bastante relacionada à abundância da macrofauna, em especial os anfípodes *Metharpinia* sp. e *Tiron tropardis*, que provavelmente utilizam essa biomassa como recurso alimentar. Além disso, a comunidade bacteriana enriquece a MO em termos protéicos, aumentando a labilidade dos recursos alimentares (Fabiano et al., 1995).

Dentre os principais grupos da macrofauna, o grupo Polychaeta foi o mais abundante e diverso, seguido pelos crustáceos, devido principalmente aos anfípodes, e por moluscos bivalves. A ampla presença desses três principais grupos ao longo do ano indicam estabilidade da comunidade macrobêntica local (Muniz & Pires, 1999), mesmo

frente a importantes estressores físicos, como ventos, ressuspensão e intrusão de massas de água, além de distúrbios biológicos (e.g. bioturbação) não mensurados na presente dissertação.

Os valores de peso úmido da macrofauna (ca. 0,14 a 2,31 g.m⁻²) foram semelhantes aos valores encontrados em demais regiões tropicais como a costa australiana (Alongi & Christoffersen, 1992), oeste da África (Sanders, 1979) e costa tropical do Pacífico (Levin et al., 1991,1994). Entretanto, são valores mais baixos quando comparados ao Atlântico Noroeste (Wieking & Kröncke, 2005), a áreas estuarinas do Mediterrâneo (Hermand et al., 2008) e à rica costa chilena (Gallardo et al., 1995). Os baixos valores estão relacionados a grande abundância de poliquetos com tamanho pequeno. Gallardo et al. (1995) encontrou poliquetas de tamanho associados a baixa biomassa na costa do Chile. Uma baixa biomassa é consequência de recursos alimentares escassos ou pouco nutritivos (Gooday & Turley, 1990). Sabe-se que para a costa de Ubatuba, o sistema pelágico é considerado oligo- a mesotrófico, porém existe no sedimento recursos alimentares em quantidade, comprovados pelo presente estudo.

A biomassa da macrofauna parece não acompanhar a alta disponibilidade alimentar em Ubatuba, como ocorre em ambientes de maiores latitudes como o Atlântico Norte (Heip et al., 2001) e Pacífico Noroeste (Quijon et al., 2008). Dessa forma, é possível que o alto hidrodinamismo, característico da região, possa estar dificultando a obtenção de alimento pela macrofauna e o menor tamanho pode ser uma adaptação dos organismos a essa alta energia atuante no local, auxiliando no recrutamento da comunidade após eventos de instabilidade local.

A alta diversidade e riqueza de espécies encontradas em Ubatuba podem estar relacionadas a instabilidade típica de áreas de plataforma interna (Johnson, 1972). Padrões sazonais de incidência de ondas de grande comprimento e outros fatores perturbadores geram uma variabilidade de frequência e intensidade muito grande, originando padrões de diversidade mais complexos, com verdadeiros mosaicos espaciais e temporais. Além disso, a região é caracterizada pelo grande número de espécies raras, que contribuem muito para a alta diversidade e riqueza (Pires-Vanin, 1993; Muniz, 2003; Paiva, 2006).

Sabe-se que os poliquetas são frequentemente os maiores representantes da macrofauna bêntica, tanto em número de espécies como de indivíduos (Boesch, 1972), portanto a análise de sua estrutura trófica faz-se necessária para acessar o fluxo de

energia das cadeias alimentares marinhas (Paiva, 1993). Contrariamente a estudos feitos no litoral norte do estado de São Paulo (Muniz & Pires, 1999; Venturini, 2007; Quintana, 2008), os carnívoros, e não os depositívoros de subsuperfície, foram dominantes ao longo do ano. Os grupos menos abundantes, como os depositívoros de subsuperfície, apresentaram um padrão sem flutuações, com valores de abundância relativamente constantes, sem variações sazonais muito evidentes.

As espécies *Ninoe brasiliensis*, *Parandalia americana*, *Gonniada maculata* e *Pholoe minuta* foram os carnívoros mais abundantes. Estas espécies foram positivamente correlacionadas com a concentração de feopigmentos, MOT e concentração de oxigênio dissolvido, e negativamente com a biomassa bacteriana. Estes dados sugerem que organismos consumidores de bactérias e/ou depositívoros constituem presas potenciais para os carnívoros (Dauwe et al., 1998). Isso pode explicar a inexpressiva contribuição dos depositívoros encontrada no presente estudo.

Os depositívoros de superfície foram ligeiramente mais abundantes que os depositívoros de subsuperfície, e foram representados pelas espécies *Cirrophorus americanus*, *Magelona variolamelata* e *Notomastus*. A maior abundância dos depositívoros de superfície em julho e agosto/07 pode estar relacionada a adaptação dos depositívoros tubícolas de se enterrarem no sedimento e suportarem condições hidrográficas mais intensas típicas do período de inverno (Maurer & Leathem, 1980).

Os depositívoros de subsuperfície, representados principalmente pelas espécies *Leitoscoplos* sp., *Armandia* sp. e *Axiothella brasiliensis*, tiveram uma contribuição inexpressiva, com um tênue aumento em outubro/06, possivelmente pela maior característica refratária da MO nesse mês. Os depositívoros de subsuperfície utilizam o material degradado que permanece ou é enterrado no sedimento, após o consumo dos materiais frescos pelos depositívoros de superfície (Wieking & Kröncke, 2005).

Os onívoros também foram pouco abundantes. Os principais representantes desse grupo e que contribuíram para sua abundância foram as espécies *Nereis broa*, *Nephtys squamosa*, *Glycera americana* e *Kinberonuphis oreanszi*, corroborando com os dados de outros estudos realizados na região (Muniz & Pires, 1999; Muniz, 2003; Quintana, 2008). A presença da ACAS pode ser responsável por maiores abundâncias desse grupo, devido ao fato dos onívoros estarem bastante relacionados à temperatura e concentração de oxigênio dissolvido. Na plataforma interna de Ubatuba, esses dois

fatores são regidos pela entrada da ACAS, trazendo a diminuição da temperatura e do oxigênio dissolvido (Braga & Müller, 1998), ou pela saída da ACAS da plataforma interna, resultando num aumento da temperatura e oxigênio dissolvido.

Outros grupos da macrofauna também estiveram presentes, como os crustáceos, moluscos e os ofiuróides. Muniz & Pires (1999) sugerem que a alta densidade e diversidade desses grupos indica maior estabilidade da comunidade bêntica local. A grande abundância, principalmente em outubro/07, dos anfípodes *Photis brevipes* e *Metharpinia* sp.1 parece estar relacionada à grande biomassa de bactérias, que podem servindo como alimento para esses organismos, assim como para os cumáceos (*Cyclaspis fabrizioi* e *Diastylis variabilis*), muito abundantes em fevereiro e outubro/07, considerados por Woodin (1976) como depositívoros móveis ou predadores de meiofauna. Para estes organismos, períodos de maior qualidade da matéria orgânica e bactérias parecem ser ideais para o seu desenvolvimento.

Em resumo, as características de densidade, grupo trófico e descritores ecológicos, como diversidade e riqueza, assim como outros grupos de organismos como as bactérias, e aspectos da MO sedimentar, como fitodetritos e marcadores lipídicos, apresentaram um padrão temporal de flutuações não necessariamente relacionadas à sazonalidade.

A Figura 25 abaixo demonstra a direção e os valores da velocidade média dos campos de ventos entre os anos de 2006 e 2008, cedida pelo Laboratório de Produção Primária do Instituto Oceanográfico (USP). Os pontos verdes na figura indicam as datas de coleta do projeto *Antares*, no qual está inserido o presente estudo.

Figura 25: Direção e velocidade média, componente meridional e zonal dos ventos, durante o período de 2006 a 2008 na plataforma interna de Ubatuba (40 m). Fonte: Gustavo Oliveira, Laboratório de Produção Primária, Instituto Oceanográfico, USP.

Pode-se perceber pela figura a presença de ventos N-NE (flechas azuis vindo de cima para baixo, da direita para esquerda), e a presença de ventos S-SW (flechas azuis

vindo de baixo para cima, da esquerda para direita). A presença de ventos E-NE indica condições oceanográficas de “calmaria”, além da entrada ou saída da ACAS, regida por esses ventos. Ao contrário, a presença de ventos S-SW indicam mudanças oceanográficas, aumento da atividade hidrodinâmica devido a entrada de frentes-frias (Castro-Filho, 1987). Essa variação temporal do ambiente em função das características oceanográficas parece se responsável pela estrutura temporal de oscilações encontrada neste trabalho. Os três primeiros meses de coleta (outubro a dezembro/06) foram marcados por baixos valores de abundância da macrofauna, densidade e biomassa bacteriana, fitopigmentos e biomarcadores lipídicos, com exceção da atividade bacteriana alta. Pela Figura 25, observa-se que antes da coleta de outubro/06 houve uma forte presença de ventos S-SW, indicando ter havido maior hidrodinamismo com conseqüente revolvimento do fundo, que contribuiu para a remoção da camada superficial do sedimento, resultando nesses baixos valores.

Em fevereiro/07 houve um pico de altos valores. Esse aumento nos valores pode estar relacionado ao acúmulo de MO lábil no sedimento, já que a figura mostra um período de predominância de ventos E-NE entre dezembro/06 e fevereiro/07, e com a presença da ACAS, fazendo por aumentar a produção primária local, aumentando o fluxo de MO para o sedimento. Neste caso, pode-se dizer um acoplamento bento-pelágico foi detectado. O período que se estendeu de março/07 a maio/07, também apresentou características de calmaria, com a presença ainda da ACAS, acarretou no pico de altos valores encontrado em maio/07, como resposta ao aporte de fitodetritos para a MO sedimentar.

Durante maio/07 a agosto/07, houve intensa atividade hidrodinâmica relacionada a constante passagem de frentes frias, e indicada pela grande presença de ventos S-SW (Figura 25). A alta remoção das camadas superficiais do sedimento fez por diminuir a abundância da macrofauna e densidade e biomassa bacteriana, assim como a MO mais fresca, vinda principalmente do aporte de clorofila-a. Quintana (2004) observou o mesmo fenômeno também para a meiofauna. Isto pode estar relacionado a maior presença de depositívoros de subsuperfície e de muitas espécies oportunistas detectadas no período.

A partir de agosto/07, a presença dos ventos S-SW diminui bastante e o retorno de ventos NE trazem novamente a ACAS ao largo de Ubatuba, trazendo nutrientes para

a coluna d'água, aumentando a produção primária nova. Em resposta a esse fenômeno, o aumento na densidade e biomassa bacteriana, e abundância da macrofauna ocorreram em setembro e outubro/07. Pode-se dizer que a dinâmica bêntica na região da plataforma interna de Ubatuba demonstra um regime não sazonal, mas sim dependente de forçantes ambientais, como a intrusão de massas d'água, como a ACAS, trazendo nutrientes para a coluna d'água, gerando a chamada produção nova. Ou ainda pela chegada de frentes frias, com ventos fortes, mistura da coluna d'água e revolvimento do fundo, disponibilizando nutrientes.

Os resultados obtidos no presente estudo sugerem um íntimo e complexo acoplamento bentopelágico dependente, por um lado, de eventos oceanográficos de mesoescala (i.e. centenas de km; intrusão da ACAS) e, por outro, de eventos atmosféricos que influenciam o sistema bêntico em escala local, através da ressuspensão de sedimentos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Existe uma dinâmica oceanográfica de caráter sazonal, com a presença da ACAS principalmente nos meses de primavera-verão e um predomínio da AC nos meses de outono-inverno. A presença da ACAS atua na elevação da qualidade da matéria orgânica sedimentar pelo florescimento de diatomáceas, assim como a remobilização sedimentar nos meses mais frios auxilia na manutenção dessa labilidade, remobilizando nutrientes para a coluna d'água, durante esses períodos;
- A composição da matéria orgânica em termos de %MOT, fitopigmentos, fitodetritos e biomarcadores lipídicos apresenta uma complexidade típica de ambientes de plataforma interna e estão relacionados à dinâmica oceanográfica que rege os principais eventos de acúmulo ou remoção da matéria orgânica lábil na região de Ubatuba;
- As elevadas concentrações de cloropigmentos demonstram um forte acoplamento entre os processos que acontecem na coluna de água e o fundo, assim como um importante aporte de fitodetritos;
- A composição dos biomarcadores lipídicos presentes no sedimento evidencia que

a matéria orgânica particulada na região de plataforma interna de Ubatuba possui uma origem principalmente autóctone, e que está constituída por uma combinação de material derivado do plâncton vivo ou detritico, da produção bacteriana e da fauna associada ao sedimento, havendo uma contribuição terrestre relativamente pequena;

- A comunidade bacteriana exerce um papel importante na teia trófica bentônica, elevando o valor nutricional do material orgânico sedimentar, através da sua degradação e da liberação dos compostos mais lábeis e disponibilizando-os no sedimento;
- A estrutura da comunidade benthica apresentou uma variação temporal sem padrões sazonais evidentes, conduzida em resposta à maior disponibilidade de recursos alimentares de boa qualidade, e aos distúrbios físicos, sendo que em condições favoráveis, o aumento da abundância foi evidenciado e em condições desfavoráveis, menores valores foram detectados;
- A grande diversidade trófica demonstra a complexidade do sistema benthico no local estudado em decorrência da alta variabilidade do alimento em termos de quantidade e qualidade;
- A quantidade do alimento não é um fator limitante; porém a variação na sua qualidade em função de aportes esporádicos de matéria orgânica lábil, derivada da produção primária planctônica e bentônica, é um fator com importante influência na estruturação das comunidades bentônicas.
- A biomassa da macrofauna não responde à quantidade de aportes orgânicos sedimentares pelos frequentes distúrbios físicos presentes na área de plataforma interna de Ubatuba.
- Foi comprovada uma interação entre os compartimentos benthico e pelágico, sendo que a dinâmica desses processos é regida por inúmeros eventos oceanográficos que regem esse ecossistema, e com isso fica evidente o acoplamento bento-pelágico na região de plataforma interna ao largo de Ubatuba.

8. PERSPECTIVAS FUTURAS

O acoplamento bento-pelágico é de extrema importância para o funcionamento dos ecossistemas costeiros. Eventos de aporte de material orgânico e a resposta dos organismos bênticos a esses eventos é de grande auxílio para se compreender o ciclo biogeoquímico do carbono nos oceanos (Gooday et al., 2002). O presente estudo contribuiu para fortalecer a compreensão sobre as respostas da comunidade bêntica aos principais processos oceanográficos e forçantes ambientais que influenciam a produção, o transporte e a deposição da matéria orgânica sedimentar na costa de Ubatuba. Portanto, para a ampliação de estudos oceanográficos no sentido de conhecer e entender as interações entre a ecologia e a biogeoquímica da coluna d'água e dos sedimentos marinhos, seria importante que alguns outros estudos fossem realizados no futuro, entre deles:

- Explorar amostragens temporais, como associar coletas mensais, bimestrais, trimestrais, em associação a estudos *in situ*, como a instalação de câmeras bênticas, fazendo medições dos fluxos de nutrientes, do metabolismo bêntico, etc. Além disso, realizar concomitante aos experimentos *in situ*, experimentos em laboratório, conhecidos como microcosmos, auxiliam na compreensão dos processos oceanográficos na região de estudo.
- Aumentar o número de estações, para que comparações mais robustas possam ser realizadas;
- Analisar a composição bioquímica do material em suspensão e do material que sedimenta, coletando-o com armadilhas de sedimento para conseguir avaliar as diferenças quantitativas e qualitativas entre o material orgânico particulado produzido na coluna de água e o que atinge o fundo;
- Estudar as comunidades microbianas presentes nos sedimentos não só através da contagem de bactérias, mas também através do sequenciamento (rDNA16S) e da estimativa da biomassa bacteriana por meio do ATP, para quantificar a importância desse componente bêntico nos fluxos de energia do sistema;
- Medir a composição isotópica de compostos lipídicos específicos, no sentido de identificar no nível mais alto de precisão a origem específica destes biomarcadores;
- Estudar a composição dos biomarcadores lipídicos no interior da coluna sedimentar para melhor compreensão dos processos de remineralização e preservação da MO;
- Realizar experimentos *in situ*, utilizando câmaras de incubação para medir o metabolismo bêntico, assim como, os principais processos biogeoquímicos do sedimento;
- Ampliar a compreensão dos grupos tróficos estendendo os estudos a outros grupos da macrofauna, como crustáceos e moluscos, para que a estrutura trófica bêntica seja melhor esclarecida.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDAR, E., GAETA, S.A., GIANESELLA-GALVÃO, S.M.F., KUTNER, M.B.B. & TEIXEIRA, C. Ecossistema costeiro tropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a, e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba. **Publ. Esp. Inst. Oceanogr. S. Paulo** 10: 9-43. 1993.
- ALBERTELLI, G., COVAZZI-HARRIAGUE, A., DANOVARO, R., FABIANO, M., FRASCHETTI, S. & PUSCEDDU, A. Differential responses of bacteria, meiofauna and macrofauna in a shelf area (Ligurian Sea, NW Mediterranean): role of food availability. **J. Sea Res.** 42: 11-26. 1999.
- ALONGI, D.M. Effect of physical disturbance on population dynamics and trophic interaction among microbes and meiofauna. **J. Mar. Res.** 43: 351-364. 1985.
- ALONGI, D.M.; CHISTOFFERSEN, P. Benthic infauna and organism-sediment relations in a shallow, tropical coastal area: influence of outwelled mangrove detritus and physical disturbance. **Mar. Ecol. Progr. Ser.** 81: 229-245. 1992.
- AMARAL, A.C.Z., RIZZO, A.E. & ARRUDA, E.P. 2006. **Manual de identificação dos invertebrados marinhos da Região Sudeste-Sul do Brasil**. Vol.1. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, S.P., 287p.
- ANDERSON, M.J.; GRIBBLE, N.A. Partitioning the variation among spatial, temporal and environmental components in a multivariate data set. *Austr. J. Ecol.* 23: 158-167. 1998.
- ARASAKI, E., MUNIZ, P., PIRES-VANIN, A.M.S. A functional analysis of the benthic macrofauna of the São Sebastião Channel (Southeastern Brazil). **PSZN Mar. Ecol.** 25: 249-263. 2004.
- AZAM, F., FENCHEL, T., FIELD, J.G., GRAY, J.S., MEYER-REIL, L.A. & THINGSTAD, F. The ecological role of water-column microbes in the sea. **Mar. Ecol. Progr. Ser.** 10:257-263. 1983.
- BOESCH, D.F. Species diversity of marine macrobenthos in the Virginia area, Chesapeake. **Science** 13(3): 260-281. 1972.
- BOON, A.R.; DUINEVELD, G.C.A.; BERGHUIS, E.M. & WEELE, J.A. Relationships between benthic activity and the annual phytopigment cycles in near-bottom water and sediments in the Southern North Sea. **Est. Coast. Shelf Sc.** 46: 1-13. 1998.
- BOON, A.R. & DUINEVELD, G.C.A. Phytopigments and fatty acids as molecular markers of the quality of near-bottom particulate organic matter in the North Sea. **J. Sea Res.** 35: 279-291. 1996.
- BØRSHEIM, K.Y., BRATBAK, G. & HELDAL, M. Enumeration and biomass estimation of planktonic bacteria and viruses by transmission electron microscopy. **Appl. Environm. Microbiol.** 56: 352-356. 1990.

- BOUILLON, S. & BOSCHER, H.T.S. Bacterial carbon sources in coastal sediments: a cross-system analysis based on stable isotope data of biomarkers. **Biogeosciences** 3:175–185. 2006.
- BRAGA, E.S.; MÜLLER, T.J. Observation of regeneration of nitrate, phosphate and silicate during upwelling of Ubatuba, Brazil, 23°S. **Cont. Shelf Res.** 18: 915-922. 1998.
- BRATBAK, G. Bacterial Biovolume and Biomass Estimations. **Appl. Environm. Microbiol.** 49(6): 1488-1493. 1985.
- BURDIGE, D.J. Preservation of organic matter in marine sediments: Controls, Mechanisms, and an imbalance in sediment organic carbon budgets? **Chem. Rev.** 107: 467-485. 2007.
- BURONE, L., MUNIZ P., PIRES-VANIN A.M., RODRIGUES M. Spatial distribution of organic matter in the surface sediments of Ubatuba Bay (Southeastern-Brazil). **Ann. Acad. Bras. Cienc.** 75: 77-90. 2003.
- BYERS, S.C., MILLS, E.L. & STEWART, P.L. A comparison of methods to determining organic carbon in marine sediments, with suggestion for a standard method. **Hidrobiol.** 58: 43-37. 1978.
- CAHOON, L.B. & J.E. COOKE. Benthic microalgal production in Onslow Bay, North Carolina, USA. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 84: 185-196. 1992.
- CAMPOS, E.J.D., IKEDA, Y., CASTRO-FILHO, B.M., GAETA, S.A., LORENZETTI, J.A., STEVENSON, M.R. Experiment studies circulation in the western South Atlantic. **EOS Trans Am. Geophys. Union** 77: 253-259. 1996.
- CAMPOS, E.J.D., VELHOTE, D., SILVEIRA, I. C. A. Shelf-break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters** 27: 751-754. 2000.
- CASTRO, B.M., MIRANDA, L.B. 1998. Physical oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 44°N and 34°S. In: **The Sea** vol 11: 209-251.
- CAMACHO-IBAR, V.F., AVEYTUA-ALCÁZAR, L. & CARRIQUIRY, J.D. Fatty acid reactivities in sediment cores from the northern Gulf of California. **Org. Geochem.** 34: 425-439. 2003.
- CANUEL, E.A., MARTENS, C.S. Seasonal variations in the sources and alteration of organic matter associated with recently deposited sediments. **Org. Geochem.** 20: 563-577. 1993.
- CASTRO-FILHO, B.M., MIRANDA, L.B. & MIYAO, S.Y. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. **Bolm. Inst. Oceanogr.** 35:135-151.1987.

- CHAPMAN, M.G. & TOLHURST, T.J. Relationships between benthic macrofauna and biogeochemical properties of sediments at different spatial scales and among different habitats in mangrove forests. **Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 343: 96-109. 2007.
- CHIKARAISHI, Y. Carbon and hydrogen isotopic composition of sterols in natural marine brown and red macroalgae and associated shellfish. **Org. Geochem.** 37: 428-436. 2006.
- CIVIDANES, S., INCERA, M. & LÓPEZ, J. Temporal variability in the biochemical composition of sedimentary organic matter in an intertidal flat of the Galician coast (NW Spain). **Oceanol. Acta** 25: 1-12. 2002.
- CLARKE, K.R.; WARWICK R.M. 1994. **Change in marine communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation.** Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 144p.
- CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Aust. J. Ecol.**, 18: 117-143. 1993.
- CLARKE, K.R.; AINSWORTH, M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. **Mar. Ecol. Progr. Ser.** 92: 205-219. 1993.
- CONTI, L. A. 2004. **Geomorfologia da plataforma continental do Estado de São Paulo.** Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 241 p.
- CORBISIER, T., SOARES, L.S.H., PETTI, M.A.V., MUTTO, E.Y., SILVA, M.H.C., MCCLELLAND, J. & VALIELA, I. Use of isotopic signatures to assess the food web in a tropical shallow marine ecosystem of Southeastern Brazil. **Aquat. Ecol.** 40:381-390. 2006.
- CORBISIER, T.N., SOUSA, E.C.P.M. & EICHLER, B.B. Distribuição espacial do meiobentos e do microfitobentos na Enseada do Flamengo, Ubatuba, São Paulo. **Rev. Bras. Biol.** 57:109-119. 1997.
- CRANWELL, P.A. Lipids of aquatic sediments and sedimenting particles. **Prog. in Lip. Res.** 21: 271-308. 1982.
- DALE, N.G. Bacteria in intertidal sediments: Factors related to their distribution. **Limnol. Oceanogr.** 19: 509-517. 1974.
- DAI, J. & SUN, M.Y. Organic matter sources and their use by bacteria in the sediments of the Altamaha estuary during high and low discharge periods. **Org. Geochim.** 38: 1-15. 2007.
- DANOVARO, R., DELL'ANNO, A., DELLA CROCE, N. & FABIANO, M. Bioavailability of organic matter in sediments of the Porcupine Abyssal Plain, northeastern Atlantic. **Mar. Ecol. Progr. Ser.** 220: 25-32. 2001..

- DANOVARO, R., DINET, A., DUINEVELD, G.C.A., TSELEPIDES, A. Benthic response to particulate fluxes in different trophic environments: a comparison between the Gulf of Lions-Catalan Sea (western-Mediterranean) and the Cretan Sea (eastern-Mediterranean). **Prog. Oceanogr.** 44: 287-312. 1999.
- DANOVARO, R. Detritus –bacteria-meiofauna interactions in a seagrass bed (*Posidonia oceanica*) of the NW Mediterranean. **Mar. Biol.** 127:1-13. 1996.
- DANOVARO, R. & FABIANO, M. Seasonal changes in quality and quantity of food available for benthic suspension-feeders in the Golfo Marconi (NW Mediterranean). **Estuar. Coast. Shelf Sci.** 44: 723-736. 1997.
- DAUWE, B. & MIDDELBURG, J.J. Amino acids and hexoamines as indicators of organic matter degradation state in North Sea sediments. **Limnol. Oceanogr.** 43: 782-798. 1998.
- DELL'ANNO, A., MEI, M.L., PUSCEDDU, A. & DANOVARO, R. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. **Mar. Poll. Bull.** 44: 611-622. 2002.
- De Léo, F.C. 2003. Estrutura e dinâmica da fauna benthica em regiões da plataforma e talude superior do Atlântico Sudoeste. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 169p.
- DE LÉO, F.C. & PIRES-VANIN, A.M.S. Benthic megafauna communities under the influence of the South Atlantic Central Water intrusion onto the Brazilian SE shelf: A comparison between an upwelling and a non-upwelling ecosystem. **J. Mar. Sys.** 60: 268-284. 2006.
- DEMING, J.D. & CAROENTER, S.D. Factors influencing benthic bacterial abundance, biomass and activity on the northern continental margin and deep basin of the Gulf of Mexico. **Deep-Sea Res. II**: 2597-2606. 2008.
- DIETRICH, D. & ARNDT, H. Biomass partitioning of benthic microbes in Baltic inlet: relationships between bacteria, algae, heterotrophic flagellates and ciliates. **Mar. Biol.** 136: 309-322. 2000.
- DUINEVELD, G.C.A., TSELEPIDES, A., WITBAARD, R., BAK, R.P.M., BERGHUIS, E.M., NIEUWLAND, G., VAN DER WEELE, J.A. & KOK, A. Benthic-pelagic coupling in the oligotrophic Cretan Sea. **Prog. Oceanogr.** 46: 457-480. 2000.
- FABIANO, M., MARIN, V., MISIC, C., MORENO, M., SALVO, V.S. & VEZZULLI, L. Sedimentary organic matter and bacterial community in microtidal mixed beaches of the Ligurian sea (NW Mediterranean). **Chem. Ecol.** 20: 423-435. 2004.
- FABIANO, M., DANOVARO, R. & FRASCHETTIT, S. A three-year time series of elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy

- sediments of the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean). **Cont. Sh. Res.** 15 (11-12): 1453-1469. 1995.
- FABIANO, M., PUSCEDDU, A., DELL'ANNO, M., ARMENI, M., VANUCCI, S., LAMPITT, R. S., WOLFF, G. A. & DANOVARO, R. Fluxes of phytopigments and labile organic matter to the deep ocean in the NE Atlantic Ocean. **Progr. Oceanogr.** 50: 89-104. 2001.
- FAUCHALD, K. & JUMARS, P.A. The diet of worms: A study of polychaete feeding guilds. **Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.** 17: 193-284. 1979.
- FLACH E., HEIP, C. Vertical distribution of macrozoobenthos within the sediment of the continental slope of the Goban Spur area (NE Atlantic). **Mar. Ecol. Progr. Ser.** 141: 55-66. 1996.
- FOLK, R.L., WARD, W.C. Brazos River bar: a study of the signifance of grain size parameters. **J. Sedim. Petrology** 27: 3-26. 1957.
- GAETA, S.A., RIBEIRO, S.M.S., METZLER, P.M., FRANCO, M.S. & ABE, D.S. Environmental forcing on phytoplankton biomass and primary productivity of the coastal ecosystem in Ubatuba region, southern Brazil. **Rev. Bras. Oceanogr.** 47:11-27. 1999.
- GAETA, S.A., ABE, D.S., METZLER, P.M. & TEIXEIRA, C. Photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton, from the Ubatuba region, Brazil. **Publ. Esp. Inst. Oceanogr.** 11: 163-169. 1995.
- GAGE, J. D., HUGHES, D. J. & GONZALES VECINO, J. L. Sieve size influence in estimating biomass, abundance and diversity in samples of deep-sea macrobenthos. **Mar. Ecol. Progr. Ser.** 225:97-107. 2002.
- GAGOSIAN, R.B., SMITH, S.O., LEE, C., FARRINGTON, J.W. & FREW, N.M., 1980. Steroid transformations in recent marine sediments. In: Douglas, A.G., Maxwell, J.R. (Eds.), **Advances in Organic Geochemistry**, vol. 1979. Pergamon, Oxford, 407p.
- GALLARDO, V.A., PALMA, M., CARRASCO, F.D., GUTIÉRREZ, L.A., LEVIN, L.A. & CAÑETE, J.I. Macrobenthic zonation caused by the oxygen minimum zone in the shelf and slope of Central Chile. **Deep-Sea Res. II** 51: 2475-2490. 1995.
- GALÉRON, J., SIBUET M., MAHAUT, M.L. & DINET, A. Variation in structure and biomass of the benthic communities at three contrasting sites in tropical Northeast Atlantic. **Mar. Ecol. Progr. Ser.** 197: 121-137. 2000.
- GALLUCI, F. & NETTO, S.A. Effects of passage of colds fronts over a coastal site: an ecosystem approach. **Mar. Ecol. Progr. Ser.** 281: 79-92. 2004.

- GOGOU, A. & STEPHANOU, E.G. Marine organic geochemistry of the Eastern Mediterranean: 2. Polar biomarkers in Cretan Sea surficial sediments. **Mar. Chemist.** 85: 1-25. 2004.
- GOODAY, A.J. Biological responses to seasonally varying fluxes of organic matter to the ocean floor: A Review. **J. of Oceanogr.** 58: 305-332. 2002.
- GOODAY, A.J., TURLEY, C.M. Responses by benthic organisms to inputs of organic material to the ocean floor: A Review. *Phil. Trans. R. Soc. London* 331: 119-138. 1990.
- GRAF, G. Benthic-pelagic coupling: A benthic view. **Oceanogr. Mar. Ann. Rev.** 30, 149-190. 1992.
- GRASSHOFF, K., ERHARDT, M., KREMLING, K. 1983. **Methods of Seawater Analysis**. 2nd Ed. Verlag Chemie, Weinheim, 423p.
- GROSS, M.G. 1971. Carbon determination. In: Carver RE. (ed.), **Procedures in Sedimentary Petrology**. Wiley-Interscience, New York, pp: 573-596.
- HARGRAVE, B. T. 1991. Ecology of deep-water zone. In: R. S. K. Barnes & K. H. Mann (eds.). **Fundamentals of Aquatic Ecology**. London, Blackwell Sci. Publ. p. 57-76.
- HARVEY, H.R. 2006. Sources and cycling of organic matter in the marine water column. In: **The Handbook of Environmental Chemistry**. (Ed.-in-Chief, Hutzinger, O.). v 2: Reactions and Process. Part N: Marine Organic Matter: Biomarkers, Isotopes and DNA (Volkman, J.K. Ed.). Springer-Verlag, Berlin, PP.1-26.
- HARVEY, H.R., EGLINTON, G., O'HARA, S.C.M., CORNER, E.D.S. Biotransformation and assimilation of dietary lipids by *Canalus* feeding on a dinoflagellates. **Geochim. Cosmochim. Acta** 51, 3031-3040. 1987.
- HANGSTRÖM, A., LARSSON, U., HÖRSTEDT, P. & NORMARK, S. Frequency of dividing cells, a new approach to the determination of bacterial growth rates in aquatic environments. **Appl. Environm. Microb.** 37(5): 805-812. 1979.
- HEDGES, M.L., KEIL, R.G. & BENNER, R. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? **Org. Chem.** 49: 81-115. 1997.
- HEDGES, M.L. & KEIL, R.G. Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. **Mar. Chem.** 49: 81-115. 1995.
- HEDGES, M. L. The formation and clay mineral reactions of melanoidins. **Geochim. Cosmochim. Acta**. 42 (1): 69-76. 1978.
- HENRICHS, S.M. Early diagenesis of organic matter in marine sediments: progress and perplexity. **Mar. Chem.** 39: 119-149. 1992.

- HERMAND, R., SALEN-PICARD, C., ALLIOT, E. & DEGIOVANNI, D. Macrofaunal density, biomass and composition of estuarine sediments and their relationship to the river plume of the Rhone River (NW Mediterranean). **Estuar. Coast. Shelf Sci.** 79: 367-376. 2008.
- HERMAND, P.M.J., MIDDELBURG, J.J. & HEIP, C.H.R. Benthic community structure and sediment processes on an intertidal flat: results from the ECOFLAT Project. **Cont. Shelf Res.** 21: 2055-2071. 2001.
- HYLAND, J., BALTHIS, L., KARAKASSIS, I., MAGNI, P., PETROV, A., SHINE, J., VESTERGAARD, O. & WARWICK, R. Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 295: 91-103. 2005.
- JOHNSON, G.A. Conceptual models of benthic soft-bottom communities. In: Reish, D. & Fauchald, K. (Eds) Essays on polychaetous annelids in memory of Dr. Olga Hartman. Los Angeles, Allan Hancock Foundation. P. 547-604. 1972.
- JOSEFSON, A.B., FORBER, T.L. & ROSENBERG, R. Fate of phytodetritus in marine sediments: functional importance of macrofaunal community. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 230: 71-85. 2002.
- KANEDA, T. ISO and anteiso-fatty acids in bacteria: biosynthesis, function, and taxonomic significance. **Microbiol. Rev.** 55: 288-302. 1991.
- KILLOPS, S. & KILLOPS, V. 2005. **Introduction to Organic Geochemistry**. 2nd edition. Blackwell Science Ltd, Oxford, 393p.
- KÖSTER, M. & MEYER-REIL, L.A. Characterization of carbon and microbial biomass pool in shallow water coastal sediments of the southern Baltic Sea (Nordrügense Bodden). **Mar Ecol. Prog. Ser.** 214: 25-41. 2001.
- KRISTENSEN, E., AHMED, S.I. & DEVOL, A.H. Aerobic and anaerobic decomposition of organic matter in marine sediments: which is fastest? **Limnol. Oceanogr.** 40: 1430-1437. 1995.
- KRÖNCKE, I., STOECK, T., WIEKING, G. & PALOJÄRVI, A. Relationship between structural and functional aspects of microbial and macrofaunal communities in different areas of the North Sea. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 282:13-31. 2004.
- LANA, P.C. Macrofauna benthica de fundos sublitorais não consolidados da Baía de Paranaguá (Paraná). **Nerítica** 1: 79-89. 1986.
- LANA, P.C., 1981. **Padrões de distribuição e diversidade específica de anelídeos poliquetas na região de Ubatuba, Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, Brasil.

- LEVIN, L., BLAIR, N., DE MASTER, D., PLAIA, G., FORNES, W., MARTIN, C. & THOMAS, C. Rapid subduction of organic matter by maldanid polychaets on the North Carolina slope. **J. Mar. Res.** 55: 595-611. 1997.
- LEVINTON, J. S. Dinâmica sedimentar atual nas enseadas da região de Ubatuba, Estado de São Paulo. **Bolm. Inst. Oceanogr.** 42: 111-122. 1995.
- LOCHTE, K. & TURLEY, C. M. Bacteria and cyanobacteria associated with phytodetritus in the deep sea. **Nature** 333: 67-68. 1988.
- LORENZEN, C.J. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. **Limnol. Oceanogr.** 12: 343-346. 1967.
- LUCAS, C.H., WIDDOWS, J., BRINSLEY, M.D., SALKELD, P.N. & HERMAN, P.M.J. Benthic-pelagic exchange of microalgae at a tidal flat.1. Pigment analysis. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 196: 59-73. 2000.
- MADUREIRA, L. A. S. Compostos orgânicos em sedimentos marinhos: uma viagem ao fundo do oceano Atlântico Norte. **Quim. Nova** 25: 814-824. 2002.
- MAHIQUES, M. M., FUKUMOTO, M. M., SILVEIRA, I. C. A., FIGUEIRA, R. C. L., BÍCEGO, M. C., LOURENÇO, R. A. & MELLO-E-SOUSA, S. H. Sedimentary changes on the Southeastern Brazilian upper slope during the last 35000 years. **Ann. Acad. Bras. Cienc.** 79: 171-181. 2007.
- MAHIQUES, M.M., TESSLER, M.G., CIOTTI, A.M., SILVEIRA, I.C.A., SOUSA, S.H.M., FIGUEIRA, R.C.L., TASSINARI, C.C.G., FURTADO, V.V. & PASSOS, R.F., Hydrodynamically driven patterns of recent sedimentation in the shelf and upper slope off Southeast Brazil. **Cont. Shelf Res.** 24:1685-1697. 2004.
- 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, Southeastern Brazilian Margin. **Cont. Shelf Res.** 19: 775-798. 1999.
- MAHIQUES, M.M., TESSLER, M.G. & FURTADO, V.V. Characterization of energy gradient in enclosed bays of Ubatuba region, south-eastern, Brazil. **Estuar. Coast. Shelf Sci.** 47: 431-446. 1998.
- MAHIQUES, M.M. Sedimentary dynamics of the bays of Ubatuba, State of São Paulo. **Bolm. Inst. Oceanogr.** 43: 111-122. 1995.
- MANCINELLI, G., FAZI, S. & ROSSI, L. Sediment structural properties mediating dominant feeding types patterns in soft-bottom macrobenthos of the Northern Adriatic Sea. **Hydrobiologia** 367: 211-222. 1998.
- MANN, K. H. 1982., MUNIZ, P., SUMIDA, P.Y.G. & VANIN, A.M.S.P. Trophic structure of ploychaetes in two bays of the southeastern Brazilian coast (Mar Virado and Fortaleza, Ubatuba, São Paulo). **Oebalia** 24: 39-53. 2000.

- MATSUURA, Y. & WADA, E., Carbon and nitrogen stable isotope ratios in marine organic matters of the coastal ecosystem in Ubatuba, southern Brazil. **Ciência e Cultura** 46: 141-146. 1994.
- MAURER, D., LEATHEM, W. Dominant species of polychaetous annelids of Georges Bank. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 3: 135-144. 1980.
- MEYER-REIL, L.A. Benthic response to sedimentation events during autumn to spring at shallow water station in the Western Kiel Bight. II. Analysis of benthic bacterial populations. **Mar. Biol.** 77: 247-256. 1983.
- METZLER, P.M. 1991. **Nanofitoplâncton e a fração que mais contribui para a biomassa e para a Produção Primária na região de Ubatuba.** Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MIDDELBURG, J.J., SOETAERT, K. 2004. The role of sediments in shelf ecosystem dynamics. In: *The Sea*. v13, pp 2-11.
- MILLIGAN, G.W. & COOPER, M.C. Methodologies Review: Clustering methods. **Appl. Psychol. Measur.** 11: 329-354. 1987.
- MIRANDA, L. B. 1982. **Análises de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) à Ilha de São Sebastião (SP).** Tese de livre-Docência, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 194p.
- MONTAGNA, P. A. Sampling design and enumeration statistics for bacteria extracted from marine sediments. **Appl. Environm. Microbiol.** 46 (6): 1366-1372. 1982.
- MORAES, P. C. 2007. **Dinâmica bacteriana em sedimentos costeiros de Ubatuba, São Paulo.** Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 87p.
- MUNIZ, P., PIRES-VANIN, A. M. S., MARTINS, C. C., MONTONE, R. C., BÍCEGO, M. C. Trace metals and organic compounds in the benthic environment of a subtropical embayment (Ubatuba bay, Brazil). **Mar. Poll. Bull.** 52: 1090-1117. 2006.
- MUNIZ P. 2003. **Comunidades macrobênticas como indicadoras da qualidade ambiental de ecossistemas costeiros rasos: Estudo de caso-Enseada de Ubatuba (SP- Brasil).** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 204p.
- MUNIZ, P.M., SUMIDA, P.Y.G. & PIRES-VANIN, A.M.S. Trophic structure of polychaetes in two bays of the southeastern Brazilian coast (Mar Virado and Fortaleza, Ubatuba, São Paulo). **Oebalia** 24: 39-53. 2000.
- MUNIZ, P. & PIRES, A.M. S. Trophic structure of polychaetes in the São Sebastião Channel (southeastern Brazil). **Mar. Biol.** 134: 517-528. 1999.

- NAGATA, P. D. 2007. **Processamento de dados hidrológicos, nutrientes, material orgânico dissolvido colorido (CDOM), pigmentos e produção primária referente ao Projeto Antares (Série Temporal Ubatuba)**. Monografia de Bacharelado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 98p.
- ORTULAN, C.P. 2008. **Origem e destino do carbono orgânico no sublitoral de Ubatuba – SP: uma abordagem molecular**. Monografia de Bacharelado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 55p.
- PAIVA, P.C. Trophic structure of a shelf polychaete taxocenosis in southern Brazil. **Cah. Biol. Mar.** 35: 39-55. 1993.
- PAIVA, P. C. 1990. **Padrões de distribuição e estrutura trófica dos anelídeos poliquetas da plataforma continental do litoral norte do Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico, São Paulo, 146p.
- PETTI, M. A. V. 1990. **Hábitos alimentares dos crustáceos decápodos braquiúros e seu papel na rede trófica do infralitoral de Ubatuba (litoral norte do Estado de São Paulo, Brasil)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 150p.
- PFANNKUCHE, O., SOMMER, S. & KÄHLER, A. Coupling between phytodetritus deposition and the small-sized biota in the deep Arabian Sea: analyses of biogenic sediment compounds. **Deep-Sea Res. II** 47: 2805-2833. 2000.
- PFANNKUCHE, O., BOETIUS, A., LOCHTE, K., LUNDGREEN, U. & THIEL, H. Responses of deep-sea benthos to sedimentation patterns in the North East Atlantic. **Deep-Sea Res. I** 46: 573-596. 1999.
- PFANNKUCHE, O. Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIO- TRANS station, 47°N-20°W. **Deep-Sea Res. II** 40: 135-150. 1993.
- PHILLIPS, N.W. Role of different microbes and substrates as potential suppliers of specific, essential nutrients to marine detritivores. **Bull. Mar. Sci.** 35: 283-298. 1984.
- PIERRE, C., VERGNAUD- GRAZZINI, C., FAUGERES, J. C. Oxygen and carbon stable isotope tracers of the water masses in the Central Brazil Basin. **Deep-Sea Res.** 38: 597-606. 1991.
- PLANTE-CUNY, M.R. Pigments photosynthétiques et production primaire des fonds meubles néritiques d'une région tropicale (Nosy-Bé, Madagascar). **Trav. Doc. ORSTOM** 96: 1-359. 1978.
- PIELOU, E.C. 1969. **An Introduction to Mathematical Ecology**. Wiley-Interscience, New York: 286p.

- PIRES, A.M.S. Structure and dynamics of benthic megafauna on the continental shelf offshore of Ubatuba, Southeastern Brazil. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 86: 63-76. 1992.
- PIRES-VANIN, A. M. S. A macrofauna benthica da plataforma continental ao largo de Ubatuba, São Paulo, Brasil. **Publ. Esp. Inst. Oceanogr.** 10: 137-158. 1993.
- POLYMENAKOU, P.N., FRAGKIOUDAKI, G. & TSELEPIDES, A. Bacterial and organic matter distribution in the sediments of the Thracian Sea (NE Aegean Sea). **Cont. Shelf Res.** 27: 2187–2197. 2007.
- POSTMA, H. & ZIJLSTRA, J.J. 1988. Continental Shelves. **Ecosystems of the World.** Elsevier Sci. Publ., Amsterdam. 421p.
- PROOP, M. V., TARASOFF, V. G., CHEERBADGI, I. I. & LOOTZIK, N. V. Benthic-pelagic oxygen and nutrient exchange in a coastal region of the dynamics. South Carolina, Belle W. **Brauch Institute for Marine Biology and Coastal Research.** pp. 265-284. 1979.
- QUINTANA, C. O. 2004. **Impactos da bioturbação na estrutura e distribuição vertical da infauna no sublitoral da Ilha Anchieta e Enseada do Flamengo (Ubatuba – SP).** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 171p.
- QUINTANA, 2008. **Relações entre as comunidades benthicas e a material orgânica sedimentar: Respostas à qualidade dos recursos alimentares e influência na diagênese recente.** Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 182p.
- ROBINSON, N., EGLINGTON, G., BRASSELL, S.C. & CRANWELL, P.A., Dinoflagellate origin for sedimentary 4a-methyl steroids and 5a(H) stanols. **Nature** 308: 439 – 442. 1984.
- ROCHA, G., GASALLA, M., ROSSI-WONGTSCHOWSKY, C., SOARES, L., PIRES-VANIN, A., MUTTO, E., CERGOLE, R., AIDAR, E., MESQUITA, H., GIANESSELLA-GALVÃO, S., VEGA-PÉREZ, L. & JARRE-TEICHMANN, A. Quantitative model of trophic interactions in the Ubatuba shelf system (Southeastern Brazil). **Naga** (Oct.-Dec.): 25-32. 1998.
- ROSENBERG, R. Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity. **Scientia Marina** 65: 107-119. 2001.
- ROTH, S., WILSON, J.G. Functional analysis by trophic guilds of macrobenthic community structure in Dublin Bay, Ireland. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 222: 195-21. 1998.
- RUSCH, A., HUETTEL, M., REIMERS, C.E., TAGHON, G.L. & FULLER, C.M. Activity and distribution of bacterial populations in Middle Atlantic Bight shelf sands. **Microb. Ecol.** 44: 89-100. 2003.

- SALDANHA-CORRÊA, F.M.P. & GIANESELLA, S.M.F. A microcosm approach on the potential effects of the vertical mixing of water masses over the primary productivity and phytoplankton biomass in the southern brazilian coastal region. **Braz. J. Oceanogr.** 52:167-182. 2004.
- SANTOS, M.F.L. & PIRES-VANIN, A.M.S. Structure and dynamics of the macrobenthic communities of Ubatuba Bay, southeastern Brazilian coast. **Braz. J. Oceanogr.** 52: 59-73. 2004.
- SARGENT, J.R. 1976. The structure, function and metabolism of lipids in marine organisms. In: Malins, D.C., Sargent, J.R. (Eds.). **Biochemical and Biophysycal Perspectives in Marine Biology**, v. 3, Academic Press, New York, PP. 149-212.
- SHANNON, C.E., WEAVER, W. 1963. **The Mathematical Theory of Communication**. The University of Illinois Press, Urbana, 117p.
- SHEPARD, F.P. 1954. **Nomenclature based on sand-silt-clay ratios**. J. Sedim. Petrology 24: 151-158.
- 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. **Ver. Bras. Oceanogr.** 48 (2): 171-183. 2000.
- SMETACEK, V. 1984. The supply of food to the benthos. In: M. J. R. Fasham (ed.). **Flows of energy and materials in marine Ecosystems**. New York, Plenum Press. pp. 517-547.
- SMITH JR., K. L., BALDWIN, R. J., RUHL, H. A. Climate effect on food supply to depths greather then 4000 meters in the northeast Pacific. **Limnol. Oceanogr.** 51:166-176. 2006.
- SMITH JR., K.L., BALDWIN, R.J., KARL, D.M., BOETIUS, A. Benthic community responses to pulses in pelagic food supply: North Pacific Subtropical Gyre. **Deep-sea Res.** 49:971-990. 2002.
- SMITH, C.R., BERELSON, W., DEMASTER, D.J., DOBBS, F.C., HAMMOND, D., HOOVER, D.J., POPE, R.H. & STEPHENS, M. Latitudinal variations in brnthic process in the abyssal equatorial Pacific: control by biogenic particle flux. **Deep-Sea Res. II** 44: 2295-2317. 1997.
- SMITH, C. R. Food from the deep-sea: utilization, dispersal and flux of nekton falls at the Santa Catalina Basin floor. **Deep Sea Res.** 32: 417-442. 1985.
- SNEATH, P.H.A., SOKAL, R.R. 1973. **Numerical Taxonomy**. Freeman, London, UK.
- SOARES, L. S. H. 1992. **Alimentação de espécies demersais ao longo do ciclo diário no litoral norte de Ubatuba: alimento, atividade alimentar e consumo. Tese de doutorado**. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 156p.

- SOLTWEDEL, T. Temporal variabilities in benthic activity and biomass on the western European continental margin. **Oceanologica Acta** 20, 871-879. 1997.
- STEPHENS, M.P., KADKO, D.C., SMITH, C.R. & LATASA, M. Chlorophyll-a and phaeopigments as tracers of labile organic carbon at the German Bight, Oyster Ground and Dogger Bank (North Sea). **Estuar. Coast. Shelf Sci.** 52: 783-795. 1997.
- STOECK, T. & KRÖNCKE, T. Influence of particle mixing on vertical profiles of chlorophyll a and bacterial biomass in sediments of the German Bight, Oyster Ground and Dogger Bank (North Sea). **Est. Coast. Shelf Sci.** 52: 783-795. 2001.
- SUGUIO, K. 1973. Introdução à sedimentologia. Ed. Edgar Blücher. São Paulo. 317p.
- SUN, M., ALLER, R.C. & LEE, C. Spatial and temporal distributions of sedimentary chloropigments as indicators of benthic process in Long Island Sound. **J. Mar. Res.** 52: 149-176. 1994.
- SUMIDA P.Y.G., YOSHINAGA M.Y., CIOTTI A.M. & GAETA S.A. Benthic response to upwelling events off the SE Brazilian coast. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 291: 35-42. 2005.
- SUMIDA, P.Y.G. & PIRES-VANIN, A. M. S. Benthic associations of the shelfbreak and upper slope off Ubatuba – SP, South – eastern Brazil. **Est. Coast. Shel. Sci.** 44: 779-784. 1997.
- TARARAM, A.S., Y. WAKABARA & M. B. Hábitos alimentares de onze espécies da megafauna bêmica da plataforma continental de Ubatuba, SP. **Publção. esp. Inst. Oceanogr.**, São Paulo 10: 159-167. 1993.
- TEIXEIRA, C. Produção primária e algumas considerações ecológicas da região de Ubatuba (Lat. 23° 30'S – Long. 45° 06'W), Brasil. **Bolm. Inst. Oceanogr.** 28: 23-28. 1979.
- THIEL, H. 1983. **Meiobenthos and nanobenthos of the deep sea.** In G. Rowe, Deep-sea Biology. New York: Wiley. pp: 167– 230.
- TSELEPIDES, A., POLYCHRONAKI, T., MARRALE, D., AKOUMIANAKI, I., DELL'ANNO, A., PUSCEDDU, A. & DANOVARO R. Organic matter composition of the continental shelf and bathyal sediments of the Cretan Sea (NE Mediterranean). **Prog. Oceanogr.** 46: 311-344. 2000.
- TURLEY, C.M., LOCHTE, K., Microbial response to the input of fresh detritus to the deep-sea bed. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)** 89: 3–23. 1990.
- VENTURINI, N. 2007. **Influência da quantidade e qualidade da matéria orgânica sedimentar na estrutura e distribuição vertical e horizontal das comunidades bentônicas na plataforma de São Sebastião, São Paulo,**

Brasil. Tese de doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 230p.

- VOLKMAN, J.K. Sterols in microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology* 60: 495- 506. 2003.
- VOLKMAN, J.K., BARRETT, S.M., BLACKBURN, S.I., MANSOUR, M.P., SIKES, E.L. & GERLIN, F. Microalgal biomarkers: a review of recent research developments. **Org. Geochem.** 29: 1163-1179. 1998.
- VOLKMAN, J.K., JEFFERY, S.W., NICHOLS, P.D., ROGERS, G.I., GARLAND, C.D. Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in mariculture. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 128: 219-240. 1989.
- VOLKMAN, J.K. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter. *Org. Geochem.* 9: 83-99. 1986.
- VOLKMAN, J.K., GILLIAN, F.T. & JOHNS, R.B. Sources of neutral lipids in a temperate intertidal sediment. **Geoch. et Cosmoch. Acta**, 45: 1817-1828. 1981.
- VILLAC, M.C., CABRAL-NORONHA, V.A.P. & PINTO, T.O. The phytoplankton biodiversity of the coast of the state of São Paulo, Brazil. **Biota Neotrop.** 8(3): 151-175. 2008.
- XU, Y. & JAFFÉ, R. Lipid biomarkers in suspended particles from a subtropical estuary: Assesment of seasonal changes in sources and transport of organic matter. **Mar. Environ. Res.** 64: 666-678. 2007.
- WAKEHAM, S.G., LEE, C., HEDGES, J.I., HERNES, P.J. & PETERSON, M.L. Molecular indicators of diagenetic status in marine organic matter. **Geochem. Cosmochim. Acta** 61: 5363-5369. 1997.
- WAKEHAM, S.G., PETERSON, M.L., HEDGES, J.I., LEE, C. Lipid biomarker fluxes in the Arabian Sea: with a comparison to the Equatorial Pacific Ocean. **Deep-Sea Res. II** 49, 2265-2301. 2002.
- WAKEHAM, S.G. Lipid biomarkers for heterotrophic alteration of suspended particulate organic matter in oxygenated and anoxic water columns of the ocean. **Deep-Sea Res.** 42: 1749-1771. 1995.
- WAKEHAM, S.G. & BEIER, J.A. Fatty acid and sterol biomarkers as indicators of particulate matter source and alteration processes in the Black Sea. **Deep-sea Res.** 38: S943-S968. 1991.
- WAKEHAM, S.G. Reduction of stenols to stanols in particulate matter at oxic-anoxic boundaries in seawater. **Nature** 342: 787-790. 1989.
- WARWICK, R.M.; CLARKE, K.R. Pratical measures of marine biodiversity based on relatedness of species. **Oceanogr. Bio. Ann. Rev.** 39: 207-231. 2001.
- WETZEL, M.A., LEUCHS, H. & KOOP, J.H.E. Preservation effects on wet weight,

dry weight and ash-free dry weight biomass estimates of four common estuarine macro-invertebrates: no difference between ethanol and formalin. **Helgol. Mar. Res.** 59: 206-213. 2005.

WITBAARD, R., DUINEVELD, G. C. A., VAN DER WEELE, J. A., BERGHUIS, E. M. & REYSS, J. P. The benthic response to the seasonal deposition of phytopigments at the Porcupine Abyssal Plain in the North East Atlantic. **Journ. Sea Res.** 43: 15-31. 2000.

WIEKING, G. & KRÖNCKE, I. Macrofauna communities of the Dogger Bank (central North Sea) in the late 1990s: spatial distribution, species composition and trophic structure. **Helgol. Mar. Res.** 57: 34-46. 2003.

WIEKING, G. & KRÖNCKE, I. Is benthic structure affected by food quality? The Dogger Bank example. **Mar. Biol.** 146: 387-400. 2005.

WITTE, U., ABERLE, N., SAND, M. & WENZHÖFER, F. Rapid response of a deep-sea benthic community to POM enrichment: an *in situ* experimental study. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 251: 27-36. 2003.

WITTE, U. Vertical distribution of metazoan macrofauna within the sediment at four sites with contrasting food supply in the deep Arabian Sea. **Deep-Sea Res.** 47: 2979-2997. 2000.

WOODIN, S.A. Refuges, disturbance, and community structure: a marine soft-bottom example. **Ecology** 59 (2): 274-284. 1978.

YOSHINAGA, M.Y. 2006. **Origem e composição da matéria orgânica e a dinâmica da comunidade microbiana em sedimentos superficiais de ecossistemas marinhos da costa sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo, 165 p.

YOSHINAGA, M.Y., QUINTANA, C.O. & SUMIDA, P.Y.G. Sedimentary chlorophyll-a and microbial biomass as indicators of benthic process in coastal and shelf áreas of the Brazilian coast (Ubatuba, SP). **J. Coast. Res.** SI 39: 1098-1101. 2006.

YOSHINAGA, M.Y., SUMIDA, P.Y.G. & WAKEHAM, S. Lipids biomarkers in surface sediments from unusual coastal upwelling área from the SW Atlantic **Ocean. Org. Geochem.** 39: 1385-1399. 2008.

ZAR, J.H. 1999. **Biostatistical Analysis**. 4th edition. Prentice-Hall, Inc. Upper saddle River, New Jersey. 663p.

ZIMMERMANN, R., ITURRIAGA, R. & BECKER-BIRCK, J. Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and number thereof involved in respiration. **Appl. Environ. Microb.** 36 (6): 926-935. 1978.

ANEXO

Abundância (ind.0,05m²) das espécies identificadas na plataforma interna de Ubatuba.

Especies	out/06	nov/06	dez/06	jan/07	fev/07	mar/07	abr/07	mai/07	jun/07	jul/07	ago/07	set/07	out/07	Total
<i>Edwarzia</i> sp.	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1
NEMERTEA	0 0 0	0 0 1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 1 0	1 0 0	0 0 0	3 0 0	0 0 0	0 0 0	2 0 0	0 0 1	10
<i>Notomastus lobatus</i>	0 1 0	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	2 0 1	0 2 0	2 1 0	0 0 0	12
<i>Notomastus</i> sp.	0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 1	0 0 0	0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 2 1	0 2 0	0 0 0	0 0 0	8
<i>Mediomastus</i> sp.	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0
<i>Cossura</i> sp.	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0
<i>Axiothella brasiliensis</i>	0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 4	0 0 0	0 1 0	0 0 0	8
<i>Lumbriclymene noemia</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1
<i>Euclymene</i> cf. <i>oerstedii</i>	0 0 0	0 0 1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	2
<i>Pectaloproctus</i> sp.	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0
Maldanidae sp.n.ident1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1
<i>Armandia maculata</i>	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 1 0	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	3
<i>Armandia</i> sp.	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 1	0 0 0	0 0 0	1
<i>Ophelina acuminata</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1
<i>Leitoscoplos robustus</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0
<i>Aricidea</i> cf. <i>f. fragilis</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0
<i>Aricidea</i> cf. <i>simplex</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0
<i>Aricidea</i> cf. <i>taylori</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1
<i>Aricidea</i> sp. A cf. Bolivar	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	2 0 2	2 0 0	0 1 0	0 0 0	7
<i>Aricidea</i> sp. B cf. Bolivar	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1
<i>Aricidea</i> sp.	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 2 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	3
<i>Cirrophorus americanus</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 1 0	8 0 0	0 0 0	0 0 0	10
<i>Cirrophorus branchiatus</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 2 8	4 0 0	0 0 0	0 0 0	14
<i>Levinsenia gracilis</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 1	1 0 0	0 0 0	0 0 0	2
<i>Aphrodita longicornus</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 1 0	0 0 0	1
polynoidae sp.1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 2	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 1	0 1 0	4
<i>Eunoe serrata</i>	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 2 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	3
<i>Harmothoe lunulata</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 4 0	0 0 0	4 3 0	3 8 0	0 0 0	0 0 0	2 0 0	0 0 0	1 0 2	27
<i>Harmothoe</i> sp.	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 2 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	2
<i>Panthalis oerstedii</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1
<i>Pholoë minuta</i>	0 0 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	0 12 0	0 2 4	0 1 0	6 10 0	0 0 1	0 2 0	0 0 1	0 5 0	1 1 5	52
<i>Pholoe</i> sp.	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 4 0	0 0 0	0 0 0	4
<i>Fimbriosthenelais</i> sp.	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 2	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	2
Sigalionidae sp.n.ident.2	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 1 0	3
Sigalionidae sp.1	0 0 1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	1
Sigalionidae sp.2	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0
<i>Psammolyce arenosa</i>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 2	0 1 0	0 0 0	1 0 0	4

Continuação.

[illegible]

Continuação.

[illegible]

Continuação.

[illegible]

Continuação.

[illegible]

Continuação.

[illegible]