FABRICIO MATOS MENDES

Estrutura da comunidade macrozoobentônica na região de influência do
Terminal Almirante Barroso (TEBAR) no Canal de São Sebastião (SP, Brasil).

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

Orientador:
Prof. Dr. Luiz Roberto Tommasi

São Paulo
2007

Universidade de São Paulo
Instituto Oceanográfico

Estrutura da comunidade macrozoobentônica na região de influência do
Terminal Almirante Barroso (TEBAR) no Canal de São Sebastião (SP, Brasil).

Fabricio Matos Mendes

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

Julgada em ____ / ____ / ____ por

Conceito

Conceito

Conceito

"VENCER, VENCER, VENCER!!!
Esse é o nosso Ideal..."
"Galo Doido"

NO MEIO DO CAMINHO

No meio do caminho tinha uma pedra
tinha uma pedra no meio do caminho
tinha uma pedra
no meio do caminho tinha uma pedra.

Nunca me esquecerei deste acontecimento
na vida de minhas retinas tão fatigadas.
Nunca me esquecerei que no meio do caminho
tinha uma pedra
tinha uma pedra no meio do caminho
no meio do caminho tinha uma pedra.

"Carlos Drummond de Andrade"

Quem quer pegar galinha não fala xô!
"DOMÍNIO POPULAR"

"...Dedico esse trabalho aos meus pais
Sinval e Alice que sempre foram meus
exemplos de determinação!"

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente ao meu Orientador Prof. Tommasi por me dar uma oportunidade única de ser seu aluno, abrindo uma exceção pra que eu fizesse parte do privilegiado grupo de alunos orientados por ele. Além de orientador foi incrível professor na Arte de Viver! E sempre ajudou quando precisei. Muito Obrigado, foi um imenso prazer aprender e trabalhar com o sr.!

À FUNDESPA por me dar inúmeras oportunidades, enriquecendo meu lado profissional, me ajudando sempre que as coisas apertavam. Alemão, Bauer, Élcio, Bruna, Simone, Helder, Roberto (Galo doido) Ávila, Paulina, Ana Lucia, Ana Elisa, Ana Joaquina, Flávio, Cróvs....toda equipe... que sempre prestaram amizade e ajuda quando precisei.

Agradeço aos Meus Pais, Sinval e Alice, por sempre acreditar, torcer e incentivar minhas escolhas, sempre me apoiando! Amo Vocês!

1BERTO! Mais que um grande amigo, Pai em muitas vezes, ora pra me incentivar ora pra puxar minha orelha... Serei eternamente grato!

Kaká, uma grande mulher que mesmo com a distância foi sempre presente nessa minha caminhada. Sempre me apoiou e se fez compreensiva nos meus momentos de maiores dificuldades. Grande amiga que sempre acreditou na gente, com muito amor e bom humor, tornando minha vida mais feliz. Amo muito você dos amor dos coração!!!

Aos meus tios Henrique e Marlene pelas valorosas ajudas e orientações. Agora já sei o significado da palavra “CALMA” !

Ao Sandro e Andressa pelo apoio nos momento difíceis. Agradeço à Ana pra ver se ela passa a gostar mais de mim do que da Kaka. Erisson, Lidiane, Vanessa e Bruno pela torcida, amizade e pelas palavras de apoio.

Tio Marco Túlio, Tia Márcia, Paty e Lílian por me aturarem nas POUCAS visitas que eu a BH. Hospitalidade nota 1000!!!

Gostaria de agradecer imensamente à ajuda e amizade da minha outra família que ganhei em SP. Tia Mônica, Diegão, Jugulinha e Beiço! E um beijo pra Brida!

Aos amigos Tocha e Lindi que me deram todo apoio necessário pra eu vir pra SP. A quem sou Eternamente grato!

Não poderia deixar de agradecer a ela que num comentário OPORTUNO tornou meu ingresso possível. Valeu Cíntia!

Maikon grande companheiro de estudo (carregar malas na chuva realmente é difícil), Su grande amiga que sempre me deu a maior força.

Agradeço ao Max, Gino, Léo e a todos amigos acadêmicos e cruspianos pela companhia e amizade!

Otávio, Andréia, Cíntia, Natália, Sandrinha... toda turma do IO que sempre me ajudou quando precisei.

Ao CNPq por financiar meus estudos durante dois anos.

Daniel, Tito, Pablo e Eliete por acrescentar em muito o conteúdo dessa dissertação.

Finalmente ao Galo Doido por me trazer tanta felicidade...

A VOCÊS O MEU MUITO OBRIGADO!!!

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo Geral.....	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
3 – ÁREA DE ESTUDO.....	6
4 – METODOLOGIA	9
4.1 Análise química e granulométrica do Sedimento.....	9
4.1.2 Metais.....	10
4.1.3 Hidrocarbonetos	11
4.2 Análise da macrofauna bentônica.....	13
5 – RESULTADOS	17
5.1 Granulometria e compostos químicos (COT, MOT, NT, CaCO ₃).....	17
5.2 Metais	20
5.3 Hidrocarbonetos	22
5.4 Estrutura da comunidade macrozoobentônica.....	26
5.4.1 Padrão Geral da Comunidade.....	26
5.4.2 Variação espacial da comunidade.....	30
6 – DISCUSSÃO	36
6.1 Granulometria do Sedimento	36
6.2 Composição química do sedimento (MOT, COT, N T e C/N)	37
6.3 Metais	39
6.4 Hidrocarbonetos	41
6.4.1 Origem dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos	43
6.4.2 Origem dos hidrocarbonetos alifáticos	44
6.5 Macrofauna bentônica	48
6.5.1 Padrão geral da comunidade	48
6.5.2 Variação da comunidade.....	49
6.5.3 Variação temporal da comunidade.....	50
6.5.4 Variação espacial da comunidade.....	51
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
8 – REFERÊNCIAS.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Canal de São Sebastião: mapa da área de estudo indicando o Terminal Almirante Barroso (TEBAR), o Porto de São Sebastião (PSS), os três emissários de esgotos municipais e a localização das estações de coleta.	8
Figura 2. Representatividade percentual dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna bentônica coletados no verão e no inverno de 2005 nas 9 estações estudadas no Canal de São Sebastião.	26
Figura 3. Gráficos das médias ($\pm$ EP) da densidade de indivíduos (ind/0,09 m ²) da macrofauna bentônica coletados nas 9 estações estudadas no verão e no inverno de 2005 no Canal de São Sebastião.	28
Figura 4. Gráficos das médias ($\pm$ EP) dos descritores da estrutura da comunidade macrozoobentônica para as 9 estações estudadas no verão e no inverno de 2005 no Canal de São Sebastião: (A) média da riqueza de espécies (S) (Nº de espécies); (B) média da equitatividade de Pielou (J'); e (C) média da diversidade de Shannon-Wiener (H') (decits/ind.).	29
Figura 5. (A) Diagrama da análise nMDS; (B) Dendrograma da análise de agrupamento. Os números correspondem às estações de coleta, as letras "a", "b" e "c" correspondem a cada uma das réplicas, e as letras "v" e "i" correspondem às épocas do ano em que cada amostra foi coletada.	31
Figura 6. Modelo gráfico da Análise de Correspondência Canônica (ACC), com flechas indicando as variáveis significativas analisadas em relação aos pontos amostrais (triângulos escuros/ponta pra cima) em função da densidade das espécies (triângulos claros/ponta pra baixo). O quadro indica a letra correspondente a cada espécie.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações de coleta com suas respectivas coordenadas geográficas, profundidades e distâncias do emissário do TEBAR.	7
Tabela 2. Compostos aromáticos e alifáticos analisados durante as campanhas de verão e inverno no sedimento superficial das 9 estações estudadas no CSS em 2005.....	12
Tabela 3. Fração granulométrica (%) dos sedimentos coletados nas 9 estações de estudo durante o verão e o inverno de 2005, no Canal de São Sebastião.	18
Tabela 4. Composição química do sedimento (exceto metais e hidrocarbonetos) analisado nas 9 estações no Canal de São Sebastião, no verão e inverno de 2005.....	19
Tabela 5. Concentrações de metais com os seus respectivos valores de TEL (nível limiar de efeito), e PEL (nível de efeito provável), bem como os seus limites de detecção (LD) e os valores referentes aos níveis 1 e 2 da resolução CONAMA no 344/2004.	21
Tabela 6. Concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (ng/g) nos sedimentos do Canal de São Sebastião coletados no verão e seus respectivos limites de detecção do método (LDM).	23
Tabela 7. Concentrações de hidrocarbonetos alifáticos (µg/g) nos sedimentos do Canal de São Sebastião coletados no verão e seus respectivos limites de detecção do método (LDM).	23
Tabela 8. Concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (ng/g) nos sedimentos do Canal de São Sebastião coletados no inverno e seus respectivos limites de detecção do método (LDM).	24
Tabela 9. Concentrações de hidrocarbonetos alifáticos e n-alcanos (µg/g) nos sedimentos do Canal de São Sebastião, coletados no inverno e seus respectivos limites de detecção do método (LDM).	24
Tabela 10. Valores de índices e parâmetros para determinação da origem de hidrocarbonetos.	25
Tabela 11. Valores de “r” referentes à análise de Correlação Linear de Pearson entre a distância das estações de coleta ao emissário do TEBAR e os descritores da comunidade, no verão e o no inverno de 2005.....	30
Tabela 12. Resultados obtidos através do percentual de contribuição nas similaridades (SIMPER) das contribuições faunísticas em cada associação verificada, para os grupos interpretados a partir das análises nMDS e Cluster.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Água costeira
ACAS	Água central do Atlântico Sul
ACC	Análise de correspondência canônica
Al	Alumínio
Alc	Alcanos
Alf	Alifáticos
As	Arsênio
Ba	Bário
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
°C	Graus Celsius
Cd	Cádmio
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico
CG	Cromatógrafo a gás
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
Cr	Cromo
CSS	Canal de São Sebastião
Cu	Cobre
EP	Erro padrão
EPA	Environmental Protection Agency
Fe	Ferro
FUNDESPA	Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas
g	Grama
H'	Índice de diversidade de Shannon-Wiener
Hg	Mercúrio
HNO ₃	Ácido nítrico
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
HPA	Hidrocarboneto Policíclico Aromático
IGc	Instituto de Geociências
Ind.	indivíduos
IPC	Índice de Preferência de Carbono
J'	Índice de equitatividade de Pielou
kg	Quilograma
Km	Quilômetro
LABQOM	Laboratório de Química Orgânica Marinha
LD	Limite de detecção
LDM	Limite de detecção do método
m	Metro
MCNR	Mistura Complexa Não Resolvida
mg	Miligrama
µg	Micrograma
mm	Milímetro
µm	Micrômetro
MOT	Matéria orgânica total

N	Norte
NE	Nordeste
ng	nanograma
Ni	Níquel
nMDS	Escalonamento Multidimensional não Paramétrico
NP	Não Poluída
NT	Nitrogênio total
O	Oeste
OPISS	Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião
Pb	Chumbo
PEL	Probable Effect Level
Pri	Pristano
S	Riqueza de espécies
Sn	Estanho
SO	Sudoeste
SQGs	Sediment Quality Guidelines
TEBAR	Terminal Almirante Barroso
TEL	Threshold Effect Level
UPGMA	Unweighted Pair-Group Method using arithmetic Averages
USP	Universidade de São Paulo
V	Vanádio
Zn	Zinco

RESUMO

A estrutura da macrofauna bentônica no Canal de São Sebastião (CSS) foi estudada durante o verão e o inverno de 2005. Na região monitorada pelo Terminal Almirante Barroso (TEBAR) foram coletadas amostras de sedimento (pegador de fundo van Veen 0,03 m²) para as análises químicas e biológicas. As estações próximas ao emissário do TEBAR, emissário de esgotos municipais do Araçá e do Porto de São Sebastião apresentaram as maiores concentrações de matéria orgânica, metais e hidrocarbonetos. Além de uma alta complexidade e heterogeneidade, o padrão sedimentar mostrou que do sul para norte houve um aumento na contribuição de sedimentos mais grossos. As análises multivariadas mostraram que os organismos coletados estiveram relacionados às características sedimentares do canal. Ao norte, um ambiente de alta energia, ocorreram espécies predadoras e suspensívoras relacionadas aos sedimentos mais grossos, refletindo maior abundância, riqueza e diversidade. A região centro-norte apresentou sedimentos areno-lodosos com ocorrência de espécies onívoras. A região centro-sul, um ambiente de baixa energia, apresentou sedimentos mais lodosos que favoreceram a retenção de compostos orgânicos e inorgânicos, bem como a ocorrência de espécies oportunistas comedoras de depósito, resultando em baixa abundância, riqueza e diversidade. O padrão sedimentar (tamanho de grão), bem como as características relacionadas a ele (capacidade de adsorção a compostos orgânicos e inorgânicos) pareceram condicionar o padrão da estrutura macrozoobentônica no CSS.

Palavras-chaves: Macrofauna; Poluição Marinha; Canal de São Sebastião

ABSTRACT

A study of benthic macrofauna was carried out along the São Sebastião Channel (SSC) during summer and winter of 2005. Sediment samples were undertaken (van Veen grab 0.03 m²) to chemical and biological analysis, in an area influenced by anthropogenic activities. The stations nearby the Terminal Almirante Barroso (TEBAR) oil terminal, Araçá sewage system and São Sebastião harbor showed the highest concentrations of organic matter, metals and hydrocarbons. The sediment distribution was very complex and heterogeneous, with a northward grain size increasing. The organisms collected presented correlation to the SSC sedimentary characteristics. The north stations, a high energy system, were characterized by a coarse grain size bottom and carnivorous motile species, which reflected highest abundance, richness and diversity values. The center-north stations were muddy-sand bottom and omnivorous species were observed there. The center-south stations, which are influenced by a low hydrodynamic energy, were predominated by a muddy bottom, leading to a high retention of organic and inorganic compounds. In these stations were found opportunistic deposit feeders species resulting in low abundance, richness and diversity. The sedimentary pattern (i.e. grain size) as well as their characteristics (adsorption capacity) seems to determine the macrozoobenthic community pattern in SSC.

Key words: Macrofauna; Marine Pollution; São Sebastião Channel

1 – INTRODUÇÃO

O sistema bentônico é um importante componente dentre os compartimentos de um ecossistema costeiro, isso porque recebe nutrientes de origem continental e pelágica, transmitindo energia para elos superiores da cadeia trófica (Zeitzschel, 1980; Thrush *et al.*, 2006). Organismos da macrofauna bentônica são muito importantes, pois contribuem na reciclagem de nutrientes do sedimento, participando dos ciclos biogeoquímicos (Zeitzschel, 1980; Lu, 2005; Thrush *et al.*, 2006), sendo considerados elementos chave do ecossistema marinho (Shratzberger *et al.*, 2003; Lu, 2005).

Estes organismos, especialmente os da infauna, têm sido utilizados como monitores *in situ* do grau de perturbação de um ecossistema, por serem sedentários e apresentarem ciclo de vida relativamente longo, além de responder rapidamente a eventuais fatores estressantes (Irving, 1991; Rizzo e Amaral, 2000; Shratzberger *et al.*, 2003; Lu, 2005; Bigot *et al.*, 2006). Devido a essas características, a estrutura de comunidades bentônicas vem sendo amplamente utilizada, em regiões costeiras, como uma importante ferramenta tanto em programas de monitoramento quanto em estudos de avaliação do grau de poluição ambiental (Belan, 2003; Gomez Gesteira *et al.*, 2003; Arasaki *et al.*, 2004; Hernández Arana *et al.*, 2005; Lu, 2005; Bigot *et al.*, 2006) para descrever mudanças no espaço (com aplicações sobre o monitoramento da fonte de poluição) e no tempo (com aplicações na descrição das mudanças de estado do sistema marinho) (Majeed, 1987; Muniz e Pires, 1999; 2000; Lu, 2005).

O aumento da poluição ambiental em zonas costeiras ao longo das últimas décadas é um dos maiores problemas enfrentados pelos países em desenvolvimento (Arasaki *et al.*, 2004). Atividades urbanas, industriais e portuárias são responsáveis por problemas ambientais significativos, associados basicamente ao lançamento de esgotos domésticos, despejos de efluentes industriais e à movimentação portuária (Oebius *et al.*, 2001).

A deposição do material orgânico no sedimento é geralmente acompanhada pela introdução antrópica de material inorgânico (Pearson e Rosenberg, 1978; Belan, 2003). O ingresso de matéria orgânica, metais

pesados, hidrocarbonetos e outros tipos de poluentes derivados de atividades antrópicas, em águas costeiras, resulta em mudanças químicas, físicas e biológicas do ambiente (Majeed, 1987; Venturini *et al.*, 2004), podendo afetar a estrutura e o funcionamento do ecossistema marinho (Shin *et al.*, 2006).

A contaminação do ambiente marinho se tornou um sério problema não só no Brasil mas em muitas partes do mundo. Áreas litorâneas urbanizadas uma vez impactadas, podem afetar a saúde humana por um contato direto ou através da cadeia alimentar (Muniz *et al.*, 2006). Dessa forma, diagnósticos ambientais para se avaliar impactos de origem antrópica representam um grande desafio (Gianesella *et al.*, 1999).

O Canal de São Sebastião (CSS) é um exemplo de região costeira sob influência de atividade antrópica, especialmente por abrigar um dos mais importantes terminais marítimos da costa brasileira, o Terminal Almirante Barroso (TEBAR) sob jurisdição da PETROBRAS TRANSPORTES S.A./TRANSPETRO, responsável pelo armazenamento e distribuição de aproximadamente 55% do óleo consumido no país (Lopes *et al.*, 1997).

Desde o início das operações do TEBAR, em 1967, o canal foi alvo de numerosos vazamentos de óleo. De acordo com CETESB (1997), foram registrados 305 acidentes entre os anos de 1974 e 1997. A partir de 1998, a PETROBRAS, junto à FUNDESPA (Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas), deu início ao programa “Monitoramento Ambiental do Canal de São Sebastião”, vinculado à licença de operação da Estação de Tratamento de Efluentes de água produzida do TEBAR concedida em 1994 pela CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo).

Portanto, o TEBAR a partir de 1998, com a operação do emissário submarino que lança nas águas do CSS um efluente previamente tratado, composto principalmente por água de produção do petróleo, passa a figurar entre as fontes de risco de contaminação para as águas do Canal de São Sebastião (Gianesella *et al.*, 1999).

De acordo com Utvik (1999) e OGP (2002), água de produção é a maior parte do subproduto derivado do processo de exploração e produção de petróleo. A composição química desse subproduto é complexa, incluindo hidrocarbonetos, metais pesados, ácidos orgânicos, fenóis, e aditivos químicos

como anticorrosivos, caracterizando uma importante fonte poluidora associada à atividade petrolífera (Utvik, 1999; Washburn *et al.*, 1999; OGP, 2002).

Após a separação do óleo e da água de produção, esta última passa por um tratamento prévio antes de ser lançada no ambiente marinho, geralmente através de um emissário submarino (Washburn *et al.*, 1999). Uma vez lançada ao mar, a água de produção é rapidamente diluída e dispersada (dependendo das condições do local) e a volatilização junto à biodegradação vai lentamente reduzindo o nível de contaminação (Strømgren *et al.*, 1994; Stephens *et al.*, 2000). Entretanto, a parte persistente desses compostos se acumula no sedimento podendo ser transferida para a biota (Strømgren *et al.*, 1994; Chouksey, 2004).

Os hidrocarbonetos, por serem os principais componentes do petróleo, são utilizados como indicadores da poluição pelo óleo (UNEP, 1991). O aporte contínuo dessas substâncias persistentes no sedimento pode afetar os organismos bentônicos de forma crônica caso estejam biodisponíveis no ambiente. Os fatores que influenciam essa biodisponibilidade são: adsorção a sólidos em suspensão, sedimento e macromoléculas (ácidos húmicos), formação de colóides em suspensão e ionização (Strømgren *et al.*, 1994; OGP, 2002).

Uma vez que poluentes associados à atividade petrolífera podem causar efeitos adversos aos organismos marinhos, entre eles a macrofauna bentônica, é importante que sejam realizados estudos que identifiquem relações entre esses organismos e essa atividade comercial.

Entre os estudos que trataram das comunidades bentônicas de fundos inconsolidados da região do Canal de São Sebastião são citados Maciel (1996) que estudou a distribuição, abundância e papel trófico de anelídeos poliquetas na costa do CSS. A distribuição espacial do macrobentos foi estudada por Flynn *et al.* (1999), e mais recentemente, Arasaki *et al.* (2004) estudaram a composição específica e os padrões de distribuição espaciais e temporais dessas comunidades. Outros estudos foram conduzidos por Muniz e Pires (1999; 2000) e por Rizzo e Amaral (2000), que analisaram a estrutura trófica e a distribuição das espécies de anelídeos poliquetas na região infralitoral do canal. Santos e Pires-Vanin (2000) estudaram a ecologia e distribuição de

Peracarida no CSS. Heitor (2002) estudou a composição e distribuição da macrofauna bentônica na região de influência dos esgotos municipais do CSS. Houve na região também o projeto que trata da Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião (OPISS), com resultados parciais publicados por Pires-Vanin *et al.* (1997). Os resultados finais desse projeto devem ser publicados no ano de 2007.

Também nesta região, houve estudos relacionados ao programa de monitoramento no Canal de São Sebastião, com enfoque sobre os contaminantes e efeitos de derramamentos de óleos, relacionados à atividade do TEBAR (Lopes *et al.*, 1997; Zanardi *et al.*, 1997;1999; Medeiros e Bícigo, 2004). Entretanto, não há estudos relacionando a estrutura da comunidade macrozoobentônica com os contaminantes encontrados nos sedimentos da região influenciada pelo terminal.

O presente trabalho foi desenvolvido, junto ao Programa de Monitoramento Ambiental do Canal de São Sebastião, realizado pela FUNDESPA, com a finalidade de analisar o comportamento da comunidade macrozoobentônica numa escala espacial, em fevereiro (verão) e em agosto (inverno) de 2005, na região de influência da disposição submarina do emissário do TEBAR.

2 – OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar os padrões de distribuição da comunidade macrozoobentônica durante um verão e um inverno na área influenciada pela disposição submarina do efluente do TEBAR no CSS.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Analisar a estrutura da comunidade macrozoobentônica durante um verão e um inverno na área de estudo;
- ✓ Determinar o padrão granulométrico do sedimento na camada superficial do fundo da região estudada e verificar se houve alguma relação com a estrutura macrozoobentônica do canal.
- ✓ Analisar os teores de carbono orgânico total, nitrogênio total, carbonatos e matéria orgânica, bem como as concentrações de metais e hidrocarbonetos no sedimento da área estudada e verificar se há alguma relação com a estrutura macrozoobentônica da região.

3 – ÁREA DE ESTUDO

O Canal de São Sebastião (CSS) está localizado na parte nordeste do litoral do Estado de São Paulo entre o município de São Sebastião e a Ilha de São Sebastião, segunda maior ilha do Brasil, onde se situa a cidade de Ilhabela. O CSS possui cerca de 25 Km de comprimento e 2-6 km de largura, estendendo-se entre as latitudes 23°41' - 23°54'S e 45°19' - 45°30'O. A camada de água nas entradas do canal possui cerca de 20 m de profundidade e em sua parte central, próximo à costa insular, pode chegar a mais de 40 m. Graças à proteção aos ventos oferecida pela Ilha de São Sebastião, o canal é um excelente porto natural para navios com até mais de 300.000 toneladas (Zanardi *et al.*, 1997).

A região do canal é de grande importância econômica e social não somente por seus recursos naturais, mas também pela localização de centros urbanos, área de lazer, atividades pesqueiras e por conter um dos mais importantes terminais marítimos da costa brasileira, o Terminal Almirante Barroso (TEBAR). Além do terminal, o CSS abriga instalações portuárias como a do Porto de São Sebastião (PSS) e nele ainda desembocam três emissários submarinos que lançam esgotos municipais, um localizado na Ilha de São Sebastião no Saco da Capela, e os outros dois localizados em São Sebastião, um ao norte na Praia das Cigarras e um ao sul na Baía do Araçá.

No canal, os ventos são os principais agentes condicionantes da circulação superficial, enquanto que a influência de correntes de maré é negligenciável. As correntes superficiais, apesar de variarem no espaço e no tempo, fluem predominantemente para nordeste (Castro Filho, 1990) podendo atingir mais de 1m.s^{-1} (FUNDESPA, 2004).

Durante a maior parte do ano, o canal é dominado por águas costeiras (AC), caracterizadas por altas temperaturas ($> 20^{\circ}\text{C}$) e baixa salinidade ($< 34,5$ psu) (Castro Filho *et al.*, 1987). Durante a primavera e verão, esse padrão se altera, quando ocorre um fluxo de duas camadas de água no canal, uma superficial (AC), fluindo para sudoeste (influenciada pelos ventos de NE) e outra de fundo fluindo para nordeste (Gianesella *et al.*, 1999). Esta última não é influenciada pela ação dos ventos e sim pela penetração da Água Central do

Atlântico Sul (ACAS), caracterizada por baixas temperaturas ($< 18^{\circ}\text{C}$) e alta salinidade (>36 psu) (Castro Filho *et al.*, 1987).

Na região norte do CSS ocorre um giro anti-ciclônico que favorece o transporte de partículas finas de sedimento em direção ao sul, onde esse material acaba se depositando próximo à margem continental, em região de menor hidrodinâmica. Em contrapartida, o estreitamento do canal na região central provoca o aumento da velocidade de corrente não favorecendo a deposição de sedimento no local (Furtado, 1995).

A área de estudo propriamente dita (Figura 1) é parte do plano de amostragem proposto por técnicos dos diferentes órgãos envolvidos (CETESB e TRANSPETRO) no projeto de monitoramento com base nas características eminentemente bidirecionais do transporte advectivo e na pluma de dispersão prevista dos efluentes dispostos pelo TEBAR através do emissário submarino (FUNDESPA, 2004). Desta forma, foi estabelecida uma malha amostral possuindo 9 estações (#1, #2, #3, #5, #7*, #9, #11, #12, #13) onde foram coletados sedimentos para as análises químicas e biológicas. Estes pontos estão dispostos de forma equidistante ao sul e ao norte do canal, tendo como ponto central (07*) os difusores do emissário do TEBAR. A Tabela 1 mostra as coordenadas geográficas e a profundidade de cada ponto amostral.

Tabela 1. Estações de coleta com suas respectivas coordenadas geográficas, profundidades e distâncias do emissário do TEBAR.

Estação de Coleta	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Distância do emissário do TEBAR (m)
01	23°52' S	45°29' O	17	12000
02	23°49,6' S	45°24,3' O	27	3000
03	23°48,9' S	45°23,85' O	10	1500
05	23°48,7' S	45°23,3' O	42	500
07*	23°48,35' S	45°23,1' O	40	0
09	23°48,1' S	45°22,9' O	34	500
11	23°47,8' S	45°22,5' O	31	1500
12	23°46,5' S	45°22' O	30	4000
13	23°42,9' S	45°20,45' O	15	11000

Figura 1. Canal de São Sebastião: mapa da área de estudo indicando o Terminal Almirante Barroso (TEBAR), o Porto de São Sebastião (PSS), os três emissários de esgotos municipais e a localização das estações de coleta.

4 – METODOLOGIA

Todas as análises físicas e químicas do sedimento, como granulometria, matéria orgânica, carbono orgânico total, carbonatos, nitrogênio total, metais e hidrocarbonetos foram realizadas por laboratórios especializados contratados pela Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas (FUNDESPA).

As análises de metais, carbono orgânico total e nitrogênio total, foram realizadas pelo laboratório da Ecolabor Comercial Consultoria e Análise Ltda. (SP). As análises granulométricas, de matéria orgânica e de carbonatos no sedimento, foram realizadas pelo Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP).

As análises de hidrocarbonetos foram realizadas sob responsabilidade da Profa. Dra. Márcia Caruso Bícego, do Laboratório de Química Orgânica Marinha (LABQOM), do Instituto Oceanográfico da USP (IOUSP).

A identificação a nível específico da macrofauna bentônica foi realizada sob responsabilidade do consultor da FUNDESPA Dr. Pablo Muniz Maciel.

4.1 Análise química e granulométrica do Sedimento

Para as análises químicas e granulométricas, as amostras do sedimento foram coletadas em 1 réplica nas 9 estações de coleta, com pegador de fundo do tipo van Veen (aço inoxidável) com área de 0,03 m², em fevereiro (verão) e em agosto (inverno) de 2005 no Canal de São Sebastião.

4.1.1 Granulometria e compostos químicos (COT, MOT, NT, CaCO₃)

A análise da granulometria do sedimento foi realizada seguindo o método tradicional de peneiramento e pipetagem, conforme descrito em Suguio (1973).

Entre os compostos químicos analisados no sedimento, os teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), carbonatos (CaCO₃) e

matéria orgânica total (MOT) foram analisados de acordo com a metodologia descrita no manual da Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos “SW 846” USEPA (1998). Estas análises visaram estimar a concentração de matéria orgânica total nas áreas de coleta, bem como inferir a importância de fontes orgânicas terrestres ou marinhas (razão C/N).

4.1.2 Metais

Em campo, as amostras de sedimento para análise de metais foram dispostas em bandejas e obtidas com colheres de plástico. Em seguida foram armazenadas no gelo, em frascos plásticos cedidos pela empresa responsável pelas análises.

Os metais analisados foram: alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), cromo (Cr) total, cobre (Cu), ferro (Fe) total, mercúrio (Hg), níquel (Ni), chumbo (Pb), estanho (Sn), zinco (Zn) e vanádio (V). As análises de metais foram realizadas seguindo a metodologia “3050B” do protocolo “SW 846” USEPA (1998), sugerida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), sendo as concentrações apresentadas referentes ao sedimento total.

O método “3050B” consiste resumidamente em 2 etapas. Uma de preparação das amostras e outra de análise por espectrometria de emissão óptica. Na etapa de preparação, alíquotas de 1 grama de sedimento seco foram digeridas em ácido nítrico (HNO_3) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Posteriormente, foi acrescentado 5 ml de ácido clorídrico (HCl) e 10 ml de água deionizada livre de metais para melhor diluição do material retido no filtro. Antes da leitura no espectrômetro o material digerido foi diluído a um volume de 100 ml com água deionizada. O material filtrado foi então analisado por um espectrômetro de emissão óptica, que identifica a concentração dos metais presentes na amostra.

A resolução CONAMA nº 344/2004 estabelece as diretrizes e procedimentos para a avaliação do material a ser dragado. Porém, não há em nosso país padrões que determinem valores para metais medidos em sedimentos não dragados, dificultando a comparação dos dados com alguma

regulamentação nacional. Nesta resolução está previsto valores em nível 1, limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos à biota, e em nível 2, limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota. Uma das alternativas para contornar esse problema é ter como base de comparação a legislação da agência ambiental canadense (CEPA), que criou guias de qualidade de sedimento (SQGs), utilizando valores de referência, como os índices TEL (*Threshold Effect Level* – nível limiar de efeito) e PEL (*Probable Effect Level* – nível de efeito provável).

Estes são valores de referência para uma série de compostos e elementos, isto é, teores acima dos quais existe a possibilidade de indução de efeitos adversos sobre os organismos bentônicos (TEL) e valores acima dos quais certamente existirão estes efeitos (PEL) (FDEP, 1994; CCME, 1995). Neste “guia”, porém, nem todos os metais analisados no presente trabalho estão contemplados. O mesmo acontece com os valores indicados pela resolução CONAMA nº 344/2004.

4.1.3 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos analisados (alifáticos e aromáticos) estão descritos na Tabela 2. Tais compostos foram analisados segundo o método recomendado em UNEP (1991). Este método consiste basicamente em 3 etapas: 1-obtenção dos extratos de hidrocarbonetos; 2-Separação dos alifáticos e dos aromáticos por cromatografia de adsorção; 3-Determinação das concentrações de compostos separados por cromatografia a gás.

Na primeira etapa, amostras de 15 g de sedimento foram secadas a 50 °C em estufa por 8 horas. Em seguida, os hidrocarbonetos foram extraídos em Soxhlet usando uma mistura 50% diclorometano e 50% n-hexano. Os extratos foram concentrados utilizando vapor rotativo a vácuo, e em seguida tratados a base de raspas de cobre para eliminação de enxofre presente na amostra, evitando assim interferências na análise de cromatografia gasosa. Posteriormente, os extratos tratados, foram submetidos à cromatografia de adsorção em coluna contendo alumina e sílica gel, obtendo duas frações que contém os hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, denominadas F1 e F2,

respectivamente. Finalmente, estas frações foram injetadas em cromatógrafo a gás (CG). A fração F1, foi injetada em CG com um detector de ionização e foram analisados os n-alcanos contendo 12 a 34 átomos de carbono, os isoprenóides pristano e fitano e a mistura complexa não resolvida (MCNR), que é identificada através da elevação da linha de base do cromatograma. A fração F2 foi injetada em CG acoplado a espectrômetro de massa, que utiliza um sistema de monitoramento de íons, para identificação dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA).

Tabela 2. Compostos aromáticos e alifáticos analisados durante as campanhas de verão e inverno no sedimento superficial das 9 estações estudadas no CSS em 2005.

Aromáticos	Alifáticos
naftaleno	n-C12
Σ -metil-naftaleno	n-C13
2,6-dimetil-naftaleno	n-C14
2,3,5-trimetil-naftaleno	n-C15
bifenil	n-C16
acenaftileno	n-C17
acenafteno	n-C18
fluoreno	n-C19
fenantreno	n-C20
Σ -metil-fenantreno	n-C21
antraceno	n-C22
fluoranteno	n-C23
pireno	n-C24
benzo(a)antraceno	n-C25
criseno	n-C26
benzo(b)fluoranteno	n-C27
benzo(k)fluoranteno	n-C28
benzo(e)pireno	n-C29
benzo(a)pireno	n-C30
perileno	n-C31
indeno(1,2,3-c,d)pireno	n-C32
dibenzo(a,h)antraceno	n-C33
benzo(g,h,i)perileno	n-C34
Σ HPAs	Σ n-alc
	Σ -alf
	pristano
	fitano

A origem dos hidrocarbonetos, antrópica ou biogênica, em um determinado ambiente, pode ser diagnosticada através da distribuição de determinados compostos e alguns índices próprios de cada tipo de contribuição (Zanardi *et al.*, 1999).

Um dos métodos utilizados para se diferenciar os hidrocarbonetos do petróleo dos biogênicos é o Índice de Preferência de Carbonos (CPI), calculado de acordo com Tissot e Welte (1984). Além disso, foi calculada a razão ímpar/par entre os n-alcenos com cadeias maiores que 22 carbonos e menores que 22 carbonos. Outro indicativo da origem do hidrocarboneto é a razão entre os compostos pristano e fitano (Pri/fitano) (Volkman *et al.*, 1992).

4.2 Análise da macrofauna bentônica

Utilizando um pegador de fundo do tipo van Veen (área amostral de 0,03 m²) foram coletadas amostras em triplicata para o estudo da macrofauna bentônica no infralitoral nas 9 estações da região do Canal de São Sebastião (Figura 1), nas duas épocas de amostragem. Cada réplica foi composta por 3 pegadas, totalizando uma área amostral de 0,09 m² por estação de coleta.

Em seguida, as amostras foram peneiradas separadamente em malha com 0,5 mm de abertura. O material retido na peneira foi fixado em formol neutralizado a 4%, e armazenado em frascos plásticos devidamente etiquetados. Todo material foi, então, transportado para o Laboratório da Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas (FUNDESPA) em São Paulo, onde foi realizado o seu processamento.

O processamento do material biológico em laboratório constou basicamente das seguintes etapas: 1) nova lavagem do sedimento sobre peneiras com malha de 250 µm e transferência do resíduo para álcool 70%. Nessa fase o que resta das frações mais finas de sedimento é eliminado, facilitando a etapa posterior de triagem; 2) triagem do resíduo sob microscópio estereoscópico para separação dos organismos; 3) contagem dos organismos e separação em grandes grupos taxonômicos; 4) identificação específica dos organismos e recontagem.

A abundância de espécies foi utilizada para o levantamento de dados da estrutura da comunidade macrozoobentônica como densidade total (N; número de indivíduos/0,09 m²), riqueza de espécies (S; N° de espécies), índice de diversidade de Shannon-Wiener (H' calculado com logaritmo na base 10, sendo os resultados expressos em decits/indivíduo) (Shannon e Weaver, 1963)

e índice de equitatividade de Pielou (J') (Pielou, 1966). A densidade total, riqueza de espécies, diversidade e equitatividade podem ser consideradas atributos da estrutura de uma comunidade (Ricklefs e Miller, 1999).

As diferenças entre as estações e os períodos de coleta, para cada descritor da comunidade, foram avaliadas por meio de análises de variância bifatorial (Underwood, 2001), tendo a normalidade dos dados sido verificada através do teste de Kolmogorov-Smirnov aceita para $p > 0,05$ e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett, também aceita para $p > 0,05$. E quando necessário, os dados foram transformados para raiz quadrada de x , para atender as exigências desta análise.

Uma análise de correlação Linear de Pearson (r de Pearson, significativa para $r > 0,666$; $n = 09$) foi realizada para correlacionar a distância das estações aos difusores do emissário do TEBAR com os descritores da comunidade (S , N , J' e H') no verão e no inverno de 2005.

A composição faunística nas diferentes estações de coleta e épocas do ano foi analisada por meio do escalonamento multidimensional não paramétrico (nMDS - non-metric Multi Dimensional Scaling) (Kruskal e Wish, 1978), também conhecido como análise de proximidade, aplicado sobre a matriz de similaridade calculada através do coeficiente de Bray-Curtis (Bray e Curtis, 1957). Para esta análise, os dados foram transformados para a raiz quarta de (x), diminuindo assim o “stress” do método, que reflete numa melhor representação dos dados num plano bidimensional (Clarke e Warwick, 1994).

A composição faunística também foi analisada de acordo com o teste de agrupamento seqüencial (Análise de Cluster) em modo Q, através da similaridade de Bray-Curtis calculada a partir da densidade de indivíduos transformada para a raiz quarta de (x) (Clarke e Warwick, 1994). O método de agrupamento utilizado foi o UPGMA (Unweighted Pair-Group Method using arithmetic Averages) (Romesburg, 1984).

Apesar deste método ser menos robusto que o nMDS, ele permite uma melhor visualização dos resultados. Além disso, a análise de Cluster trabalha com a similaridade entre as réplicas, já o nMDS trabalha com a dissimilaridade entre as réplicas. Portanto, as duas ferramentas utilizadas juntas dão maior confiabilidade aos dados apresentados.

Após a identificação dos grupos de estações, foi realizada uma análise de percentual de contribuição das similaridades (SIMPER) (Clarke e Warwick, 1994), também com os dados transformados para a raiz quarta de (x), para identificar quais as espécies que mais contribuíram para a formação de cada grupo.

Para o cálculo dos descritores de comunidade foram utilizados todos os organismos identificados até nível específico. Entretanto, para avaliar a estrutura da comunidade (nMDS, Dendrograma e SIMPER) foi utilizado 80% da abundância total de espécies, ou seja, foram consideradas apenas as espécies que representaram no mínimo 1% da abundância total, com a finalidade de diminuir o ruído das análises (Clarke e Warwick, 1994). Aplicando essas análises com 100% até 80% da abundância total de espécies, o padrão de distribuição da comunidade não se alterou, entretanto, com 80% dessa abundância foi atingido o menor grau de ruído do teste.

Uma Análise de Correspondência Canônica (ACC) foi realizada integrando as espécies da macrofauna bentônica e as variáveis ambientais estudadas no sedimento do CSS. Os pressupostos para se realizar essa técnica foram atingidos uma vez que a distribuição das espécies ocorreu de forma unimodal e o comprimento do gradiente (variação dos pontos das amostras) foi maior que 1,5 (ter Braak, 1986). A significância dos eixos canônicos foi verificada pelo Teste de Mantel. Para se obter esta significância foram utilizadas as espécies que representaram no mínimo 1,5% da abundância total dos organismos, pois a quantidade de zeros das espécies que não atingiram esse mínimo introduzia ruído na análise. A significância estatística das variáveis ambientais foi verificada pelo Teste de Monte Carlo (ter Braak, 1986), o modelo foi trabalhado somente com as variáveis que obtiveram um $p < 0,15$, ou seja, 85% de confiança. As variáveis testadas foram MOT, Grosseiros e Lama, transformadas para arco-seno (x), metais e hidrocarbonetos (aromáticos e alifáticos) transformados para Log (x+1) (Zar, 1999). Grosseiros foi retirado da análise porque possuía colinearidade com Lama (Zar, 1999).

Todas as rotinas uni e multivariadas foram utilizadas através dos programas estatísticos Statistica (Statsoft, 1995), PRIMER (Plymouth Routines

in Multivariate Ecological Research) (Clarke e Warwick, 1994) e CANOCO (ter Braak, 1986).

5 – RESULTADOS

5.1 Granulometria e compostos químicos (COT, MOT, NT, CaCO₃)

As Tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, os resultados da composição granulométrica e química (matéria orgânica total, carbonatos, carbono orgânico total e nitrogênio total) dos sedimentos amostrados no CSS, em fevereiro (verão) e agosto (inverno) de 2005.

No verão, a amostra coletada na estação 1, ao sul do canal, apresentou cerca de 90% de areia muito fina. As estações 2, 3 e 5, também ao sul do canal, apresentaram sedimentos constituídos principalmente por argila, silte muito fino e silte fino. Na estação 7 (ao centro do canal) predominou as frações arenosas (fina, média e grossa), também com uma boa porcentagem de lama (argila e silte grosso). Na estação 9, ao norte do emissário, apesar de ter predominado frações de silte, também foram encontradas frações de sedimentos mais grossos. As estações 11, 12 e 13, apresentaram uma granulometria mais grossa, variando principalmente de seixos e grânulos a silte grosso, com predominância de areia média e grossa (Tabela 3).

Ainda nas amostras de verão, os maiores valores de matéria orgânica total (MOT) e carbonatos foram encontrados na estação 2 (respectivamente 18,97% e 63,5%). As estações 3 e 9 também apresentaram relativamente uma alta porcentagem de MOT (8,79% e 8,36%, respectivamente). Os maiores valores de carbono orgânico total foram registrados na estação 9 (1,25%). Nas estações 2, 3 e 5 foram encontrados as maiores porcentagens de nitrogênio total (0,06%). Os maiores valores da razão C/N foram obtidos nas estações ao norte do emissário do TEBAR (Tabela 4).

No inverno, a exemplo do observado no verão, na estação 1 predominou principalmente a fração de areia muito fina (92,14%). As estações 2, 3 e 5 apresentaram as maiores porcentagens nas frações de silte. A estação 7, apresentou uma alta heterogeneidade das frações que ocorreram de argila a seixos e grânulos com porcentagens equitativas entre siltes e areias. Das amostras coletadas nas estações 9 e 11, foram obtidos altos valores percentuais nas frações de silte e um aumento nas frações arenosas. Nas

estações 12 e 13, foram obtidas amostras com sedimentos mais grossos, com altas porcentagens de seixos e grânulos, areia muito grossa e areia grossa (Tabela 3).

A maior porcentagem de MOT foi obtida na estação 3 (16,57%) e de carbonatos na estação 2 (42,43%). Estas duas estações também apresentaram os maiores valores de carbono orgânico total, 2,41 % e 2,65 %, respectivamente. As estações 11 (0,08%) e 7 (0,06%) obtiveram as maiores contribuições de nitrogênio total, e a maior razão C/N foi registrada na estação 3 (Tabela 4).

Tabela 3. Fração granulométrica (%) dos sedimentos coletados nas 9 estações de estudo durante o verão e o inverno de 2005, no Canal de São Sebastião.

Verão	% S&G	% AMG	% AG	% AM	% AF	% AMF	% SG	% SM	% SF	% SMF	% Argila
1	0,00	0,00	0,05	0,31	1,60	89,64	1,98	1,54	0,87	0,17	3,82
2	0,80	4,03	5,25	7,06	3,81	21,14	7,49	6,76	19,25	8,58	15,81
3	0,05	0,08	0,40	1,06	8,57	19,61	10,53	20,56	15,20	7,90	16,06
5	2,49	2,99	2,98	3,22	4,96	18,04	4,38	12,86	16,26	10,11	21,68
7	0,83	10,17	18,78	15,74	14,88	10,90	14,05	3,43	0,40	2,69	8,13
9	0,00	12,92	10,99	10,11	7,85	9,46	3,65	29,17	3,59	2,64	9,64
11	5,28	13,43	20,95	22,60	9,47	4,62	1,68	4,09	6,81	4,01	7,06
12	3,84	18,53	31,50	24,46	6,59	1,10	1,07	1,32	1,29	0,39	9,91
13	4,82	16,69	21,29	25,41	15,09	0,77	1,49	2,67	2,81	2,02	6,94
Inverno											
1	0,00	0,01	0,01	0,03	0,44	92,14	3,10	0,24	0,44	0,41	3,19
2	5,64	3,60	5,17	5,59	3,95	8,94	13,97	34,97	6,64	3,14	8,39
3	0,00	0,00	0,01	0,08	0,43	9,98	26,66	7,40	11,28	38,94	5,22
5	0,00	2,37	1,86	4,02	6,06	6,39	15,48	39,19	11,06	3,32	10,27
7	4,20	8,01	10,62	10,11	6,93	6,09	6,94	12,89	11,87	10,17	12,20
9	0,89	3,33	4,62	4,95	6,73	8,71	10,71	13,23	11,75	9,72	25,38
11	0,00	14,25	7,35	13,95	6,07	3,90	9,35	9,73	8,05	6,80	20,54
12	16,90	22,37	20,44	20,06	7,24	5,59	1,07	0,38	2,15	0,89	2,92
13	21,32	13,78	16,99	18,15	9,92	4,37	2,58	3,06	2,15	1,87	5,81

S&G = seixos e grânulos; AMG = areia muito grossa; AG = areia grossa; AM = areia média; AF = areia fina; AMF = areia muito fina; SG = silte grosso; SM = silte médio; SF = silte fino; SMF = silte muito fino; e Argila.

Tabela 4. Composição química do sedimento (exceto metais e hidrocarbonetos) analisado nas 9 estações no Canal de São Sebastião, no verão e inverno de 2005.

Verão	% MOT	% CaCO₃	% COT	% N T	C/N
1	0,48	4,48	0,20	0,02	10,36
2	18,97	63,50	0,36	0,06	5,63
3	8,79	3,41	0,50	0,06	8,42
5	3,95	32,28	0,90	0,06	16,27
7	0,79	26,34	0,00	0,05	0,00
9	8,36	26,34	1,25	0,03	39,81
11	1,62	16,55	1,09	0,02	45,80
12	0,50	16,97	0,90	0,03	28,04
13	2,64	39,15	1,02	0,03	29,65
Inverno					
1	2,20	5,00	0,98	0,02	57,31
2	5,33	42,73	2,65	0,03	77,71
3	16,57	28,02	2,41	0,02	122,96
5	5,86	20,00	1,48	0,04	41,46
7	2,32	19,44	0,81	0,06	13,09
9	3,45	17,73	1,34	0,03	49,45
11	3,31	22,51	0,99	0,08	12,94
12	2,09	13,13	0,41	0,03	11,85
13	2,27	28,45	0,67	0,01	82,31

%MOT = matéria orgânica total; %CaCO₃ = carbonato; %COT = carbono orgânico total; %N T = nitrogênio total; C/N = Razão Carbono/Nitrogênio.

5.2 Metais

A Tabela 5 mostra os valores das concentrações de metais analisados nos sedimentos coletados no verão e no inverno de 2005, no CSS. Entre os metais detectados somente o alumínio, o bário e o vanádio não possuem valores de referência TEL e PEL. E somente alumínio, bário, ferro e vanádio não apresentam valores de referência na resolução CONAMA nº 344/2004. Todos os metais se enquadraram na resolução ficando muito abaixo dos valores previstos pelo nível 1, para regiões a serem dragadas.

Nas amostras de verão, os metais arsênio, cádmio, estanho e mercúrio apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção do método em todas as estações de coleta. As concentrações detectadas de alumínio variaram entre 9.400 mg/kg (estação 11) e 44.000 mg/kg (estação 1). Para o bário, as concentrações variaram entre 54 mg/kg (estação 12) e 557 mg/kg (estação 2). A menor concentração de cromo total foi obtida na estação 13 (4,5 mg/kg) e a maior concentração na estação 3 (34 mg/kg), entretanto, este último valor esteve abaixo do valor de referência TEL (52 mg/kg). O chumbo foi detectado somente na estação 3 (12 mg/kg), em concentração também abaixo do TEL (30 mg/kg). O cobre foi detectado somente nas estações 2, 3, 5 e 7, com concentrações abaixo do TEL (19 mg/kg), com a maior concentração registrada na estação 3 (10,1 mg/kg) e a menor na estação 7 (2,5 mg/kg). O ferro total possui um valor de referência TEL de 20.000 mg/kg e PEL de 40.000 mg/kg. Na campanha de fevereiro as estações 3 e 5 obtiveram concentrações acima do TEL, 23.500 mg/kg e 21.000 mg/kg, respectivamente. Nesta mesma campanha, o níquel foi detectado somente nas amostras das estações 2 (4,3 mg/kg), 3 (4,1 mg/kg) e 7 (3,1 mg/kg), valores abaixo do TEL (16 mg/kg). O vanádio foi detectado somente nas estações 2 (61 mg/kg), 3 (68 mg/kg) e 5 (61 mg/kg).

Na campanha de inverno (agosto), os metais não detectados em nenhuma das estações de coleta foram o arsênio, cádmio, estanho, mercúrio e vanádio. Somente o ferro total obteve concentrações acima do TEL, nas estações 3 (30.500 mg/kg), 5 (24.100 mg/kg), 7 (20.000 mg/kg) e 9 (23.700 mg/kg). As concentrações de alumínio variaram entre 3.450 mg/kg (estação 12) e 24.400 mg/kg (estação 3). Entre as concentrações detectadas de bário, os

valores variaram entre 16 mg/kg (estação 2) e 32 mg/kg (estação 5). O cromo total variou entre 6,2 mg/kg (estação 11) e 28,5 mg/kg (estação 3). O chumbo foi detectado somente nas estações 1 (13 mg/kg), 3 (15,9 mg/kg) e 5 (12,7 mg/kg). A menor concentração de cobre foi obtida na estação 2 (5,1 mg/kg) e a maior na estação 3 (8,8 mg/kg). As concentrações de níquel variaram entre 1,6 mg/kg (estação 12) e 11,2 mg/kg (estação 3). Já o zinco obteve concentrações entre 7,1 mg/kg (estação 13) e 55,3 mg/kg (estação 3).

Tabela 5. Concentrações de metais com os seus respectivos valores de TEL (nível limiar de efeito), e PEL (nível de efeito provável), bem como os seus limites de detecção (LD) e os valores referentes aos níveis 1 e 2 da resolução CONAMA no 344/2004.

Verão	Unidade	LD	TEL	PEL	CONAMA 344/2004 Nível 1	CONAMA 344/2004 Nível 2	1	2	3	5	7	9	11	12	13
Alumínio	mg/Kg	100	-	-	-	-	44000	17600	22200	0	13400	16800	9400	5600	5000
Arsênio	mg/Kg	2	-	-	8,2	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bário	mg/Kg	15	-	-	-	-	0	557	62	158	242	256	181	54	164
Cádmio	mg/Kg	0,2	0,7	4,2	1,2	9,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cromo Total	mg/Kg	3	52	160	81	370	9,2	17	34	19,2	13	18	12	11	4,5
Chumbo	mg/Kg	10	30	112	46,7	218	0	0	12	0	0	0	0	0	0
Cobre	mg/Kg	2,5	19	108	34	270	0	6	10,1	5,7	2,5	0	0	0	0
Estanho	mg/Kg	50	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ferro Total	mg/Kg	2,5	20000	40000	-	-	6300	17000	23500	21000	18400	17600	12	4	7,9
Mercúrio	mg/Kg	0,03	0,1	0,7	0,15	0,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Níquel	mg/Kg	1,5	16	43	30,9	51,6	0	4,3	4,1	0	3,1	0	0	0	0
Vanádio	mg/Kg	50	-	-	-	-	0	61	58	61	0	0	0	0	0
Zinco	mg/Kg	0,5	124	271	150	410	19	40	67	49	41	38,7	32	18	22

Inverno	Unidade	LD	TEL	PEL	CONAMA 344/2004 Nível 1	CONAMA 344/2004 Nível 2	1	2	3	5	7	9	11	12	13
Alumínio	mg/Kg	100	-	-	-	-	13600	13500	24400	22900	17500	19700	6880	3450	3650
Arsênio	mg/Kg	2	-	-	8,2	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bário	mg/Kg	15	-	-	-	-	17	16	42,6	31,9	28,6	21	0	0	0
Cádmio	mg/Kg	0,2	0,7	4,2	1,2	9,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cromo Total	mg/Kg	3	52	160	81	370	18	0	28,5	23,4	17,5	20,7	6,23	0	0
Chumbo	mg/Kg	10	30	112	46,7	218	13	0	15,9	12,7	0	0	0	0	0
Cobre	mg/Kg	2,5	19	108	34	270	0	5,06	8,78	7,82	5,41	5,8	0	0	0
Estanho	mg/Kg	50	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ferro Total	mg/Kg	2,5	20000	40000	-	-	21100	16600	30500	24100	20000	23700	10200	3870	7510
Mercúrio	mg/Kg	0,03	0,1	0,7	0,15	0,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Níquel	mg/Kg	1,5	16	43	30,9	51,6	6	6,1	11,2	9	7,8	8,9	3,1	1,6	0
Vanádio	mg/Kg	50	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zinco	mg/Kg	0,5	124	271	150	410	33	31	55,3	46,8	34,4	40	15	7,19	7,07

5.3 Hidrocarbonetos

A seguir são apresentadas as concentrações totais e individuais dos hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos (policíclicos aromáticos totais – Σ HPAs; n-alcanos totais – Σ n-alc; alifáticos totais – Σ -alf) analisados nas amostras de sedimento. Também são apresentados os valores de MCNR (Mistura Complexa não Resolvida), Índice de Preferência de Carbono (IPC), relação entre compostos pristano e fitano (pri/fitano) e relação ímpar/par entre n-alcanos de cadeias de baixo peso molecular (<22 carbonos) e alto peso molecular (>22 carbonos).

No verão, as concentrações de Σ HPAs variaram entre 1,22 ng/g (estação 1) e 1.218,09 ng/g (estação 9) (Tabela 6). Foram encontrados valores de n-alcanos totais entre 0,14 μ g/g (estação 1) e 4,01 μ g/g (estação 3). As concentrações de alifáticos variaram entre 0,39 μ g/g (estação 1) e 76,91 μ g/g (estação 13) (Tabela 7).

No inverno, as concentrações de Σ HPAs variaram entre 4,64 ng/g (estação 1) e 504 ng/g (estação 5) (Tabela 8). Os valores de n-alcanos totais variaram entre 0,73 μ g/g (estação 13) e 6,65 μ g/g (estação 3). Para os alifáticos, as concentrações variaram entre 1,31 μ g/g (estação 12) e 32,52 μ g/g (estação 3) (Tabela 9).

A estação 1 apresentou as menores concentrações de aromáticos (Σ HPAs), nos dois períodos de coleta, e no verão, a maior concentração foi obtida na estação 9, equidistante (em relação ao emissário do TEBAR) da estação 5, que apresentou a maior concentração durante o inverno (Tabelas 6 e 8).

As maiores concentrações de n-alcanos totais foram obtidas na estação 3, durante as duas épocas do ano, enquanto que as menores concentrações foram obtidas na estação 1, no verão, e 13, no inverno.

Para alifáticos totais, a estação 1 apresentou o menor valor no verão, e a estação 12, no inverno. As maiores concentrações destes compostos foram registradas na estação 13, no verão e na estação 3 no inverno (Tabelas 7 e 9).

Tabela 6. Concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (ng/g) nos sedimentos do Canal de São Sebastião coletados no verão e seus respectivos limites de detecção do método (LDM).

Compostos	LDM (ng/g)	#1	#2	#3	#5	#7	#9	#11	#12	#13
naftaleno	1,60	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	4,45	<LDM	<LDM	<LDM
Σ-metil-naftaleno	1,30	<LDM	2,05	2,21	<LDM	<LDM	29,00	<LDM	<LDM	<LDM
2,6-dimetil-naftaleno	2,60	<LDM	2,45	2,45	1,55	1,26	5,95	1,61	<LDM	<LDM
2,3,5-trimetil-naftaleno	1,30	<LDM	1,72	1,40	<LDM	1,14	1,75	1,07	<LDM	1,09
bifenil	1,30	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	7,21	<LDM	<LDM	<LDM
acenaftileno	3,70	<LDM	1,78	1,83	1,30	<LDM	2,33	<LDM	<LDM	<LDM
acenafteno	1,30	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	27,50	<LDM	<LDM	<LDM
fluoreno	1,30	<LDM	<LDM	1,14	<LDM	<LDM	30,60	<LDM	<LDM	<LDM
fenantreno	2,60	<LDM	5,58	8,37	3,88	3,71	135,50	2,54	<LDM	1,29
Σ-metil-fenantreno	2,20	<LDM	7,09	8,55	3,74	3,36	41,70	1,01	<LDM	<LDM
antraceno	1,10	<LDM	3,07	6,16	2,36	<LDM	33,40	2,29	<LDM	<LDM
fluoranteno	1,30	<LDM	14,40	15,20	11,10	9,34	186,90	6,30	<LDM	<LDM
pireno	1,30	<LDM	11,90	16,10	9,20	7,08	136,90	5,26	<LDM	<LDM
benzo(a)antraceno	1,20	<LDM	9,25	6,35	6,61	5,41	86,60	4,17	1,09	2,09
criseno	1,20	<LDM	10,10	14,30	7,37	6,25	73,90	4,49	1,67	2,95
benzo(b)fluoranteno	1,30	<LDM	16,30	17,50	10,60	9,15	76,40	6,54	2,58	3,88
benzo(k)fluoranteno	1,30	<LDM	13,50	17,50	9,22	7,47	73,80	8,05	2,13	3,84
benzo(e)pireno	1,30	<LDM	11,90	13,00	8,00	5,94	48,20	5,13	1,54	3,09
benzo(a)pireno	1,10	1,22	24,30	30,00	17,40	12,00	122,50	10,70	2,71	6,29
perileno	1,20	<LDM	10,90	15,80	10,10	13,70	22,80	8,04	1,95	3,21
indeno(1,2,3-c,d)pireno	1,00	<LDM	10,50	10,90	8,05	5,16	38,80	4,90	1,59	3,02
dibenzo(a,h)antraceno	1,00	<LDM	1,13	1,09	1,29	1,07	8,31	<LDM	<LDM	<LDM
benzo(g,h,i)perileno	1,20	<LDM	7,68	7,93	5,60	3,79	23,60	3,61	1,11	2,06
ΣHPAs		1,22	165,61	197,82	117,34	95,85	1218,09	75,72	16,37	32,81

Tabela 7. Concentrações de hidrocarbonetos alifáticos (µg/g) nos sedimentos do Canal de São Sebastião coletados no verão e seus respectivos limites de detecção do método (LDM).

Compostos	LDM (µg/g)	#1	#2	#3	#5	#7	#9	#11	#12	#13
n-C12	0,003	<LDM	0,014	0,010	0,009	0,119	0,016	0,009	0,005	0,007
n-C13	0,001	<LDM	0,017	0,014	0,015	0,112	0,017	0,014	0,006	0,012
n-C14	0,002	<LDM	0,033	0,025	0,022	0,091	0,036	0,037	0,015	0,027
n-C15	0,004	0,013	0,156	0,039	0,082	0,065	0,084	0,090	0,034	0,055
n-C16	0,001	0,006	0,038	0,025	0,032	0,032	0,051	0,041	0,015	0,033
n-C17	0,005	0,010	0,112	0,056	0,068	0,054	0,102	0,064	0,025	0,077
n-C18	0,002	<LDM	0,018	0,013	0,021	0,028	0,009	0,024	0,008	0,032
n-C19	0,005	<LDM	0,033	0,020	0,039	0,025	0,080	0,069	0,006	0,080
n-C20	0,008	<LDM	0,017	0,013	0,011	0,022	0,014	0,011	<LDM	0,010
n-C21	0,011	<LDM	0,065	0,069	0,019	0,042	0,028	0,045	0,012	0,043
n-C22	0,003	<LDM	0,039	0,031	0,021	0,024	0,028	0,025	0,017	0,024
n-C23	0,006	0,008	0,096	0,089	0,058	0,049	0,056	0,042	0,026	0,027
n-C24	0,006	0,011	0,053	0,046	0,029	0,031	0,035	0,025	0,019	0,014
n-C25	0,027	<LDM	0,186	0,227	0,125	0,097	0,115	0,081	0,035	0,049
n-C26	0,007	<LDM	0,056	0,082	0,053	0,035	0,051	0,032	0,015	0,020
n-C27	0,034	<LDM	0,282	0,401	0,192	0,174	0,224	0,160	0,053	0,070
n-C28	0,034	<LDM	0,163	0,212	0,109	0,079	0,105	0,079	<LDM	<LDM
n-C29	0,028	0,041	0,745	0,853	0,514	0,373	0,514	0,360	0,140	0,167
n-C30	0,028	<LDM	0,200	0,247	0,098	0,070	0,095	0,073	<LDM	<LDM
n-C31	0,026	0,031	0,644	0,766	0,477	0,355	0,484	0,341	0,138	0,152
n-C32	0,026	<LDM	0,127	0,173	0,101	0,075	0,090	0,069	0,031	0,031
n-C33	0,012	0,023	0,453	0,523	0,335	0,237	0,335	0,246	0,105	0,116
n-C34	0,012	<LDM	0,068	0,077	0,045	0,034	0,046	0,036	<LDM	<LDM
Σn-alc		0,140	3,610	4,010	2,480	2,220	2,620	1,970	0,710	1,050
Σ-alf		0,390	35,060	21,42	29,620	26,250	70,480	63,120	14,920	76,910
pristano	0,008	0,056	0,296	0,143	0,276	0,218	0,584	0,509	0,131	0,624
fitano	0,002	0,022	0,196	0,126	0,223	0,182	0,517	0,457	0,114	0,568

Tabela 8. Concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (ng/g) nos sedimentos do Canal de São Sebastião coletados no inverno e seus respectivos limites de detecção do método (LDM).

Compostos	LDM (ng/g)	#1	#2	#3	#5	#7	#9	#11	#12	#13
naftaleno	1,60	<LDM	7,28	8,52	4,16	8,46	<LDM	3,57	<LDM	4,12
Σ-metil-naftaleno	1,30	<LDM	3,28	3,84	7,75	2,52	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM
2,6-dimetil-naftaleno	2,60	<LDM	2,80	3,80	3,78	2,37	1,59	1,54	<LDM	<LDM
2,3,5-trimetil-naftaleno	1,30	<LDM	1,26	1,52	2,32	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM
bifenil	1,30	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM	<LDM
acenaftileno	3,70	<LDM	1,91	2,35	1,58	2,20	1,00	<LDM	<LDM	<LDM
acenafteno	1,30	<LDM	<LDM	<LDM	2,28	<LDM	1,50	<LDM	<LDM	<LDM
fluoreno	1,30	<LDM	1,26	1,69	1,96	1,18	1,55	<LDM	<LDM	<LDM
fenantreno	2,60	<LDM	7,54	11,78	24,22	6,71	17,67	2,87	1,36	1,04
Σ-metil-fenantreno	2,20	<LDM	7,04	13,20	20,40	6,18	7,99	<LDM	<LDM	<LDM
antraceno	1,10	<LDM	2,64	4,39	3,62	3,16	2,61	<LDM	<LDM	2,27
fluoranteno	1,30	<LDM	14,51	23,59	65,76	13,30	35,11	5,30	<LDM	<LDM
pireno	1,30	<LDM	11,73	20,93	49,92	11,07	27,45	4,54	<LDM	<LDM
benzo(a)antraceno	1,20	<LDM	7,24	10,61	33,69	7,37	17,00	2,95	1,28	<LDM
criseno	1,20	<LDM	9,67	18,24	34,18	9,19	19,47	3,53	1,49	<LDM
benzo(b)fluoranteno	1,30	<LDM	18,20	35,04	42,20	21,68	35,71	9,93	4,09	1,77
benzo(k)fluoranteno	1,30	<LDM	15,21	23,30	23,89	10,50	17,64	3,60	1,82	1,04
benzo(e)pireno	1,30	<LDM	11,54	26,84	28,12	13,51	21,66	4,66	2,03	1,10
benzo(a)pireno	1,10	1,14	11,29	25,08	30,87	12,37	24,13	4,95	2,03	1,03
perileno	1,20	2,30	25,86	43,08	56,27	38,33	48,34	20,83	4,81	2,35
indeno(1,2,3-c,d)pireno	1,00	1,20	18,53	37,16	40,29	26,80	34,39	9,69	3,42	2,44
dibenzo(a,h)antraceno	1,00	<LDM	2,42	3,20	5,29	2,13	4,85	1,16	<LDM	<LDM
benzo(g,h,i)perileno	1,20	<LDM	12,11	22,16	21,45	14,69	18,43	5,59	2,13	1,44
ΣHPAs		4,64	193,37	340,32	504,00	213,72	338,04	84,71	24,46	18,60

Tabela 9. Concentrações de hidrocarbonetos alifáticos e n-alcanos (µg/g) nos sedimentos do Canal de São Sebastião, coletados no inverno e seus respectivos limites de detecção do método (LDM).

Compostos	LDM (µg/g)	#1	#2	#3	#5	#7	#9	#11	#12	#13
n-C12	0,003	<LDM	0,007	0,010	0,007	0,006	0,006	0,004	0,004	0,004
n-C13	0,001	0,004	0,011	0,012	0,010	0,008	0,007	0,006	0,005	0,003
n-C14	0,002	0,007	0,027	0,026	0,021	0,010	0,016	0,011	0,013	0,007
n-C15	0,004	0,008	0,039	0,038	0,033	0,022	0,025	0,030	0,019	0,011
n-C16	0,001	0,020	0,038	0,034	0,022	0,016	0,021	0,019	0,022	0,011
n-C17	0,005	0,017	0,075	0,083	0,051	0,039	0,048	0,053	0,037	0,024
n-C18	0,002	0,010	0,043	0,050	0,027	0,017	0,028	0,023	0,022	0,016
n-C19	0,005	0,010	0,040	0,042	0,024	0,017	0,025	0,021	0,015	0,011
n-C20	0,008	0,051	0,037	0,045	0,029	0,018	0,025	0,020	0,039	0,042
n-C21	0,011	0,025	0,065	0,089	0,091	0,045	0,027	0,031	0,031	0,032
n-C22	0,003	0,012	0,044	0,064	0,049	0,034	0,029	0,029	0,010	0,020
n-C23	0,006	0,020	0,092	0,149	0,108	0,080	0,072	0,056	0,023	0,036
n-C24	0,006	0,018	0,072	0,107	0,085	0,048	0,046	0,044	0,019	0,036
n-C25	0,027	0,031	0,228	0,420	0,211	0,227	0,173	0,098	0,052	0,042
n-C26	0,007	0,013	0,100	0,150	0,082	0,093	0,065	0,046	0,026	0,024
n-C27	0,034	0,051	0,436	0,712	0,353	0,443	0,283	0,201	0,080	0,056
n-C28	0,034	<LDM	0,171	0,255	0,134	0,160	0,100	0,075	<LDM	<LDM
n-C29	0,028	0,107	1,021	1,594	0,859	1,002	0,700	0,481	0,179	0,127
n-C30	0,028	<LDM	0,178	0,298	0,130	0,187	0,100	0,085	0,032	<LDM
n-C31	0,026	0,097	0,870	1,415	0,830	0,902	0,708	0,459	0,165	0,118
n-C32	0,026	<LDM	0,126	0,211	0,111	0,126	0,084	0,065	0,027	0,031
n-C33	0,012	0,615	0,492	0,754	0,435	0,480	0,355	0,232	0,092	0,060
n-C34	0,012	<LDM	0,065	0,095	0,056	0,066	0,040	0,034	0,016	0,015
Σn-alc		1,116	4,278	6,654	3,759	4,047	2,981	2,121	0,929	0,727
Σ-alf		1,790	22,158	32,515	18,351	22,146	15,389	14,968	1,307	9,873
pristano	0,008	0,013	0,041	0,052	0,036	0,022	0,033	0,032	0,028	0,016
fitano	0,002	0,007	0,025	0,035	0,015	0,015	0,017	0,016	0,018	0,012

No verão, os valores obtidos de MCNR variaram entre 12,33 µg/g (estação 12) e 69,46 µg/g (estação 13). Os valores de IPC apresentaram as maiores variações entre as estações de coleta, sendo encontrado o menor valor na estação 3 (3,57) e o maior na estação 13 (9,66). A razão pri/fitano variou entre 1,1 (estação 13) e 2,6 (estação 1), e a razão ímpar/par apresentou maiores valores para os n-alcenos com mais de 22 carbonos (Tabela 10).

No inverno, os valores obtidos de MCNR variaram entre 8,97 µg/g (estação 13) e 23,85 µg/g (estação 3). Os valores de IPC não apresentaram grandes variações entre as estações de coleta, com exceção da estação 1 que apresentou um valor de 49,57. As demais estações de coleta apresentaram valores entre 4,73 (estação 2) e 5,68 (estação 9). A razão pri/fitano variou entre 1,3 (estação 13) e 2,4 (estação 5). A exemplo do verão, a razão ímpar/par apresentou maiores valores para os n-alcenos com mais de 22 carbonos (Tabela 10).

Tabela 10. Valores de índices e parâmetros para determinação da origem de hidrocarbonetos.

Verão	MCNR(µg/g)	MCNR%	IPC	Pri/fitano	<22	>22
#1	<LDM	0	-	2,6	3,8	9,4
#2	26,5	76	3,8	1,5	3,2	3,4
#3	13,8	64	3,6	1,1	2,3	3,3
#5	23,6	80	4,1	1,2	2,3	3,7
#7	21,1	80	4,3	1,2	1,0	3,7
#9	61,7	88	4,4	1,1	2,5	3,8
#11	55,0	87	4,2	1,1	2,3	3,6
#12	12,3	83	8,7	1,2	1,9	6,1
#13	69,5	90	9,7	1,1	2,4	6,5
Inverno	MCNR(µg/g)	MCNR%	IPC	Pri/fitano	<22	>22
#1	<LDM	0	49,6	1,9	0,7	21,4
#2	16,3	73	4,7	1,6	1,5	4,2
#3	23,9	73	4,8	1,5	1,6	4,3
#5	13,7	74	5,1	2,4	2,0	4,3
#7	17,1	77	4,9	1,5	2,0	4,4
#9	11,6	75	5,7	1,9	1,4	4,9
#11	12,1	81	4,8	2,0	1,8	4,0
#12	<LDM	0	5,5	1,6	1,1	4,5
#13	9,0	91	5,1	1,3	1,0	3,5

5.4 Estrutura da comunidade macrozoobentônica

5.4.1 Padrão Geral da Comunidade

Considerando todas as 9 estações de coleta, no verão e no inverno, foram triados 3.001 indivíduos da macrofauna bentônica pertencentes a 149 táxons, sendo a classe Polychaeta o grupo mais representativo em abundância total (66%) e em número de espécies (63 espécies), seguido por Crustacea com 16% da abundância total e 29 espécies, sendo Tanaidacea, Amphipoda e Isopoda, nesta ordem, os grupos mais representativos. O Filo Mollusca representou 12% da abundância total com 38 espécies, sendo as classes Bivalvia e Gastropoda, respectivamente, as mais representativas. Os demais 19 táxons encontrados, Sipunculidae, Ophiuroidea, Asteroidea, Holothuroidea, Cephalochordata, Pycnogonida, Echiuridae, Nemertea, Cnidaria, Platyhelminthe e Cumacea representaram juntos 6% da abundância total de indivíduos (Figura 2). Este padrão geral foi semelhante ao observado separadamente nas coletas de verão e de inverno.

Figura 2. Representatividade percentual dos grandes grupos taxonômicos da macrofauna bentônica coletados no verão e no inverno de 2005 nas 9 estações estudadas no Canal de São Sebastião.

No verão de 2005, o número total de indivíduos por estação de coleta (somando-se as três réplicas) variou entre 45 ind./0,27 m² (est. 1) e 385 ind./0,27 m² (est. 11). Foram identificados o até nível específico 1.631 indivíduos, sendo os grupos mais abundantes: Polychaeta (70%) - com as espécies mais representativas *Kinbergonuphis orensanzi* (35%) e *Syllis* sp. (9%); Crustacea (18%) - com as espécies mais representativas, os tanaidáceos *Saltipedis paulensis* (36%) e *Calozodion* sp. (26%); Mollusca (10%) - com os bivalves *Corbula* sp. (48%), *Gouldia cerina* (12%); e Equinodermata (2%) - com o ofiuróide *Ophiactis lymani* (75%) sendo a espécie mais representativa.

No inverno de 2005, o número total de indivíduos por estação de coleta (somando-se as três réplicas) variou entre 53 ind./0,27 m² (est. 3) e 358 ind./0,27 m² (est. 13). Foram identificados até o nível específico 1.370 indivíduos dentro dos quais os grupos mais representativos foram Polychaeta (68%) - sendo as espécies mais representativas *Exogone arenosa* (21%) e *Aricidea* sp. (10%); Crustacea (16%) - sendo mais representativos o tanaidáceo *Calozodion* sp. (37%) e o anfípodo *Heterophoxus videns* (14%); Mollusca (13%) - com maiores representatividades dos bivalves *Corbula caribaea* (33%), *Corbula contracta* (20%) e *Gouldia cerina* (10%); Echinodermata (2%) - sendo o ofiúro *Ophiactis lymani* (72%) a espécie mais representativa; e o Amphioxus *Branchiostoma platae* (1%).

A análise de variância bifatorial (ANOVA) detectou diferenças significativas entre os fatores tempo (verão e inverno) e estações de coleta, considerando as variáveis densidade ($F=12,41$, $p<0,0001$), diversidade ($F=5,85$, $p<0,0001$), equitatividade ($F=12,22$, $p<0,0001$) e riqueza de espécie ($F=4,54$, $p<0,001$). De uma forma em geral, os valores de densidade de organismos foram maiores no verão, entretanto, nas estações 1, 2 e 13 estes valores foram maiores no inverno. As maiores variações de densidade entre as coletas de verão e inverno ocorreram nas estações 5, 7 e 13, sendo que no inverno houve uma queda da densidade de organismos nas duas primeiras estações, e um aumento na última (Figura 3). Ao contrário da densidade, os maiores valores de riqueza de espécies, diversidade e equitatividade ocorreram no inverno. Além disso, de um modo geral, as estações apresentaram o mesmo comportamento nas duas épocas do ano, com exceção da

equitatividade, que aumentou do verão para o inverno nas estações 5 e 7 (Figura 4).

No verão, a estação 11 apresentou os maiores valores de densidade (124 ± 16 ind/0,09m²) e riqueza de espécies ($24 \pm 0,2$ táxons), os menores valores destes índices foram obtidos nas estações 1 (14 ± 2 ind/0,09m²) e 3 ($7 \pm 0,7$ táxons). A estação 13 obteve o maior índice de diversidade ($1,16 \pm 0,04$ decits/ind.) e a estação 1 o maior índice de equitatividade ($0,95 \pm 0,02$). A estação 7 apresentou os menores índices de diversidade ($0,57 \pm 0,04$ decits/ind) e equitatividade ($0,48 \pm 0,03$) (Figuras 3 e 4).

No inverno, a estação 13 obteve o maior valor de densidade (117 ± 7 ind/0,09m²). O maior índice de equitatividade foi registrado na estação 9 ($0,94 \pm 0,01$). A estação 11 apresentou o maior valor de riqueza específica ($29 \pm 1,2$ táxons) e a estação 2 o maior valor do índices de diversidade ($1,23 \pm 0,02$ decits/ind). A estação 3 apresentou o menor valor de densidade (18 ± 1 ind/0,09m²) e os menores índices de diversidade ($0,48 \pm 0,06$ decits/ind), equitatividade ($0,62 \pm 0,04$) e riqueza de espécies ($6 \pm 0,67$ táxons) (Figuras 3 e 4).

Figura 3. Gráficos das médias ($\pm$ EP) da densidade de indivíduos (ind/0,09 m²) da macrofauna bentônica coletados nas 9 estações estudadas no verão e no inverno de 2005 no Canal de São Sebastião.

Figura 4. Gráficos das médias ($\pm$ EP) dos descritores da estrutura da comunidade macrozoobentônica para as 9 estações estudadas no verão e no inverno de 2005 no Canal de São Sebastião: (A) média da riqueza de espécies (S) (Nº de espécies); (B) média da equitatividade de Pielou (J'); e (C) média da diversidade de Shannon-Wiener (H') (decits/ind.).

5.4.2 Variação espacial da comunidade

A análise de Correlação Linear de Pearson (Tabela 11) mostrou que não houve correlação significativa ($r < 0,666$) entre os descritores da comunidade (S, N, J' e H') e a distância do emissário do TEBAR, tanto no verão quanto no inverno. No verão, a equitatividade de Pielou (J') obteve a maior correlação ($r = 0,621$) com a distância dos difusores do emissário. No inverno a maior correlação ($r = 0,478$) foi obtida através da abundância de organismos (N). Porém, as correlações seriam significativas para $r > 0,666$.

Tabela 11. Valores de "r" referentes à análise de Correlação Linear de Pearson entre a distância das estações de coleta ao emissário do TEBAR e os descritores da comunidade, no verão e o no inverno de 2005.

	S	N	J	H10
Verão	-0,090	-0,464	0,621	0,461
Inverno	0,360	0,478	-0,011	0,251

A análise de ordenação através da técnica nMDS permitiu a interpretação de 5 grupos de estações separados em função da abundância das espécies. O baixo valor de estresse (0,15) registrado para a análise indica uma boa representação dos resultados no diagrama de duas dimensões (Figura 5A) (Clarke e Warwick, 1994). Os mesmos 5 grupos de amostras puderam ser identificados na análise de agrupamento seqüencial (Cluster) (Figura 5B).

O Grupo I foi formado pela associação das amostras de verão da estação 1, localizada 12 Km ao sul do emissário. O Grupo 2 foi constituído pelas amostras de inverno das estações 3 e 5, localizadas também ao sul do emissário, 1,5 Km e 0,5 Km, respectivamente. As amostras de inverno da estação 1 e de verão das estações 2 e 3 formaram o Grupo III. As amostras (inverno e verão) das estações 11, 12 e 13, localizadas respectivamente a 1,5 Km, 4 Km e 11 Km a norte do emissário, juntamente com as amostras de inverno da estação 2 formaram o Grupo IV. Finalmente, o Grupo V foi constituído pelas amostras de verão da estação 5, juntamente com as amostras (inverno e verão) das estações 7 e 9. A estação 7 está situada onde

se encontra o emissário, marco zero entre as estações Sul e Norte, e a estação 9 é equidistante à estação 5 (0,5 Km) em relação ao emissário.

Figura 5. (A) Diagrama da análise nMDS; (B) Dendrograma da análise de agrupamento. Os números correspondem às estações de coleta, as letras “a”, “b” e “c” correspondem a cada uma das réplicas, e as letras “v” e “i” correspondem às épocas do ano em que cada amostra foi coletada.

A análise SIMPER aplicada ao fator “Estação” (que levou em consideração as estações de coleta) foi verificada apresentando os valores percentuais de contribuição das espécies que mais contribuíram para a

similaridade das associações que compõem cada grupo formado pela análise de ordenação (nMDS) e agrupamento (Cluster) e, ainda, a porcentagem de contribuição das espécies que mais contribuíram para a dissimilaridade entre cada grupo (Tabela 12).

Tabela 12. Resultados obtidos através do percentual de contribuição nas similaridades (SIMPER) das contribuições faunísticas em cada associação verificada, para os grupos interpretados a partir das análises nMDS e Cluster.

Grupo	Similaridade	Espécie	Contribuição
I	75,14%	<i>Lumbrineris tetraura</i>	100,00%
II	51,52%	<i>Cossura candida</i>	62,50%
III	42,52%	<i>Mediomastus capensis</i>	35,74%
		<i>Aricidea</i> sp.	17,87%
		<i>Neanthes</i> sp.	15,03%
IV	59,77%	<i>Exogone arenosa</i>	11,56%
		<i>Nematonereis schmardae</i>	9,83%
		<i>Lumbrineris januarii</i>	9,65%
		<i>Aricidea</i> sp.	8,69%
		<i>Eunice rubra</i>	8,65%
		<i>Gouldia cerina</i>	6,50%
V	48,11%	<i>Neanthes</i> sp.	24,82%
		<i>Corbula caribaea</i>	15,86%
		<i>Kinbergonuphis orensanzi</i>	13,33%
		<i>Pseudeurythoe ambigua</i>	12,39%
Comparação	Dissimilaridade	Espécie	Contribuição
I x II	100,00%	<i>Cossura candida</i>	30,98%
		<i>Lumbrineris tetraura</i>	21,54%
I x III	93,08%	<i>Mediomastus capensis</i>	17,04%
		<i>Aricidea</i> sp.	10,98%
		<i>Cossura</i> sp.	10,43%
		<i>Neanthes</i> sp.	9,53%
		<i>Lumbrineris tetraura</i>	9,00%
I x IV	92,69%	<i>Exogone arenosa</i>	8,82%
		<i>Nematonereis schmardae</i>	7,33%
		<i>Aricidea</i> sp.	7,23%
		<i>Lumbrineris januarii</i>	6,91%
		<i>Eunice rubra</i>	6,33%
		<i>Calozodion</i> sp.	5,77%
I x V	97,79%	<i>Kinbergonuphis orensanzi</i>	12,29%
		<i>Neanthes</i> sp.	11,65%
		<i>Corbula caribaea</i>	9,90%
		<i>Lumbrineris tetraura</i>	9,51%
		<i>Saltipedis paulensis</i>	9,28%

Tabela 12. Continuação.

II x III	80,10%	<i>Cossura candida</i>	14,97%
		<i>Aricidea</i> sp.	10,43%
		<i>Mediomastus capensis</i>	9,78%
II x IV	90,49%	<i>Cossura</i> sp.	9,29%
		<i>Exogone arenosa</i>	8,01%
		<i>Cossura candida</i>	7,53%
		<i>Nematonereis schmardae</i>	6,61%
		<i>Aricidea</i> sp.	6,52%
II x V	80,06%	<i>Lumbrineris januarii</i>	6,25%
		<i>Cossura candida</i>	13,67%
		<i>Kinbergonuphis orensanzi</i>	12,34%
		<i>Saltipedis paulensis</i>	9,37%
III x IV	76,75%	<i>Exogone arenosa</i>	7,30%
		<i>Mediomastus capensis</i>	7,29%
		<i>Nematonereis schmardae</i>	5,84%
		<i>Lumbrineris januarii</i>	5,58%
		<i>Eunice rubra</i>	5,49%
III x V	75,05%	<i>Mediomastus capensis</i>	10,96%
		<i>Kinbergonuphis orensanzi</i>	9,62%
		<i>Aricidea</i> sp.	7,08%
		<i>Saltipedis paulensis</i>	6,66%
IV x V	73,96%	<i>Exogone arenosa</i>	7,33%
		<i>Kinbergonuphis orensanzi</i>	6,64%
		<i>Nematonereis schmardae</i>	6,41%
		<i>Lumbrineris januarii</i>	6,09%

Esta análise mostrou que a espécie *Lumbrineris tetraura* foi responsável por 100% na similaridade das réplicas da estação 1 de verão, constituindo o Grupo I, com a maior similaridade entre as réplicas (75%). A espécie *Cossura candida* foi responsável por 62,5% na similaridade das réplicas do Grupo II, que apresentou 51,52% de similaridade entre as réplicas. As espécies *Mediomastus capensis*, *Aricidea* sp. e *Neanthes* sp., juntas representaram 68,64% da similaridade do Grupo III, que obteve o menor valor entre réplicas (42,52%). O Grupo IV (59,77% de similaridade) apresentou as espécies *Exogone arenosa*, *Nematonereis schmardae*, *Lumbrineris januarii*, *Aricidea* sp., *Eunice rubra* e *Gouldia cerina* que juntas representaram 54,88% na similaridade das réplicas. O Grupo V, com 48,11% de similaridade entre as réplicas, apresentou as espécies *Neanthes* sp., *Corbula caribaea*, *Kinbergonuphis orensanzi* e *Pseudeurythoe ambigua*, que juntas representaram 66,4% dessa similaridade.

Todos os grupos quando comparados entre si obtiveram uma alta dissimilaridade, sendo o maior valor (100%) obtido entre os Grupos I e II e o menor valor (73,96%) entre os Grupos IV e V. O Grupo I apresentou as maiores dissimilaridades entre os demais grupos. As comparações entre o Grupo II e os demais (salvo Grupo I) ficaram em torno de 80% e 90% de dissimilaridade. As comparações entre os grupos III, IV e V ficaram abaixo de 77% de dissimilaridade.

A Análise de Correspondência Canônica (ACC) extraiu dois eixos canônicos que explicaram 27% ($p < 0,01$; $F = 4,069$) e 49,5% ($p < 0,01$; $F = 2,652$) para as espécies e 45,7% e 83,7% para espécies e variáveis ambientais. Ou seja, 49,5% da variação das espécies foram explicadas pelos eixos 1 e 2, e 83,7% desta variação pode estar relacionada às variáveis consideradas significativas no modelo. Estas variáveis foram Lama ($p = 0,06$; $F = 1,86$), MOT ($p = 0,12$; $F = 1,66$), Alumínio ($p = 0,12$; $F = 1,91$), Bário ($p = 0,02$; $F = 2,74$), Ferro ($p = 0,05$; $F = 1,93$) e Zinco ($p = 0,006$; $F = 3,60$).

Na Figura 6, as estações estão representadas pelos triângulos claros e as espécies pelos triângulos escuros, as variáveis significativas estão representadas por uma flecha na qual o comprimento e direção indicam a importância e a quantidade que a variável interfere. A variável Lama esteve relacionada positivamente com o eixo 1 e aos metais Zinco, Ferro e Bário. O Alumínio esteve relacionado negativamente com o eixo 1 devido à estação 1 apresentar as maiores concentrações desse metal. As estações 1v, 2i, 11vi, 12vi e 13vi estiveram negativamente relacionadas à Lama sendo acompanhadas principalmente pelas espécies *Lumbrineris tetraura*, *Aricidea* sp., *Exogone arenosa*, *Eunice rubra* e *Lumbrineris januarii*. Relacionadas positivamente ao eixo 1, as estações 5v, 7v e 9v foram acompanhadas pelas espécies *Kinbergonuphis oreisanzi* e *Saltipedis paulensis*. As estações 3vi, 5i, 1i e 2v estiveram relacionadas positivamente ao eixo 2 sofrendo maior influência de MOT, sendo acompanhadas pelas espécies *Cossura candida* e *Mediomastus capensis*.

Vector scaling: 3.07

A	<i>Ophiactis lymani</i>	H	<i>Eunice rubra</i>	P	<i>Saltpedip paulensis</i>
B	<i>Lumbrineris tetraura</i>	I	<i>Pseudeurythoe ambigua</i>	Q	<i>Corbula caribaea</i>
C	<i>Cossura candida</i>	J	<i>Lysidice ninetta</i>	R	<i>Syllis sp.</i>
D	<i>Gouldia cerina</i>	L	<i>Mediomastus capensis</i>	S	<i>Calozodion sp.</i>
E	<i>Heterophoxus videns</i>	M	<i>Neanthes sp.</i>	T	<i>Aricidea sp.</i>
F	<i>Corbula contracta</i>	N	<i>Lumbrineris januarii</i>	U	<i>Exogone arenosa</i>
G	<i>Goniadides uncata</i>	O	<i>Nematonereis schmardae</i>	V	<i>Kinbergonuphis orensanzi</i>

Figura 6. Modelo gráfico da Análise de Correspondência Canônica (ACC), com flechas indicando as variáveis significativas analisadas em relação aos pontos amostrais (triângulos escuros/ponta pra cima) em função da densidade das espécies (triângulos claros/ponta pra baixo). O quadro indica a letra correspondente a cada espécie.

6 – DISCUSSÃO

6.1 Granulometria do Sedimento

Durante a maior parte do ano a circulação do CSS possui direção predominante para NE em toda coluna de água. Durante o verão, este padrão se altera apresentando uma circulação em duas camadas, uma superficial predominantemente para SO, condicionada pelo vento, e outra de fundo predominantemente para NE, condicionada pela intrusão da Água Central do Atlântico Sul (Fontes, 1995). Ou seja, a circulação de fundo possui sentido predominante SO-NE durante todo o ano.

Comparando os dois períodos de coleta (verão e inverno) a estrutura sedimentar do CSS pouco se alterou, concordando com Furtado (1978), que ao estudar a sedimentação atual do CSS, concluiu que a hidrodinâmica do canal reflete diretamente na distribuição dos sedimentos de fundo.

O padrão sedimentar do CSS é complexo com alto grau de mistura, tornando o fundo do canal heterogêneo em forma de mosaico (Arasaki *et al.*, 2004). Esse alto grau de mistura pôde ser constatado principalmente nas estações próximas ao emissário do TEBAR. Também foi observado que partindo das estações de sul para o norte houve um aumento gradativo na contribuição das frações mais grossas.

Corroborando a isso, Furtado (1978) destacou que na região sul do CSS a sedimentação dominante é de areia muito fina, decorrente de uma ação hidrodinâmica de baixa intensidade. Na região central, o padrão configura-se mais peculiar atestando um fluxo complexo apresentando regiões de águas calmas, com deposição de silte, até fluxos intensos onde ocorrem cascalhos, não apresentando homogeneidade nos padrões. O autor ainda explica que na região norte, junto à Ilha de São Sebastião, ocorre a deposição de sedimentos mais grossos (areia grossa), compatível com a ação mais intensa das correntes, que têm suas velocidades aumentadas devido ao estreitamento do canal, não favorecendo a deposição de finos.

6.2 Composição química do sedimento (MOT, COT, N T e C/N)

Durante os dois períodos de coleta, as maiores concentrações de MOT ocorreram nas estações próximas ao emissário do Araçá, região composta principalmente por partículas finas (silte + argila). Essa região possui baixo hidrodinamismo próximo ao fundo o que favorece maior retenção de sedimentos finos e enriquecimento orgânico (Heitor, 2002).

A matéria orgânica quando precipita na coluna d'água atinge o fundo acumulando-se nos sedimentos de forma relacionada ao hidrodinamismo e às características sedimentares do local. Sedimentos finos são geralmente relacionados à matéria orgânica (Muniz *et al.*, 2002; Venturini, 2002; Venturini *et al.*, 2004), e isso pode ser atribuído a processos de adsorção. De acordo com Sharp (1973), as argilas são carregadas negativamente, possuindo um alto poder de adsorção às partículas orgânicas, formando complexos sedimentares que se acumulam no fundo.

A composição da matéria orgânica encontrada em sedimentos é complexa e não conhecida detalhadamente (Venturini, 2002). Entretanto, sabe-se que além do carbono, os compostos nitrogenados constituem uma importante parcela do material orgânico, sendo importantes na caracterização do aporte de MO para o ambiente (Lourenço, 2003).

Plantas superiores são ricas em carbono orgânico, portanto, altas concentrações desses indicam contribuição de matéria orgânica de origem continental (Faganelli *et al.*, 1988). Já bactérias, zooplâncton e fitoplâncton são ricos em compostos nitrogenados, portanto altas concentrações desses indicam contribuição de material de origem marinha (Saito *et al.*, 1989).

Sendo assim, valores da razão C/N acima de 20 representam matéria orgânica de origem terrestre (continental), valores entre 5 e 7 indicam material orgânico de origem pelágica e valores entre 8 e 12 representam uma mistura de material oriundo de plâncton marinho e plantas terrestres (Saito *et al.*, 1989).

Durante o verão, as estações 1 e 3 apresentaram uma contribuição mista de material orgânico. A estação 2, maior contribuição pelágica. As

estações ao norte do TEBAR, indicaram contribuição de matéria orgânica de origem continental. A estação 7 apresentou razão 0. A razão C/N é considerada útil na determinação da origem da matéria orgânica dos sedimentos, entretanto, deve ser utilizada e interpretada com cautela, pois entre outras coisas, sedimentos com baixa concentração de carbono orgânico podem causar interpretações errôneas (Stein, 1991).

No inverno, as estações 7, 11 e 12 apresentaram valores indicativos de material orgânico misto (marinho e terrestre), as demais estações apresentaram altos valores dessa razão, com destaque para a estação 3 (~122), próxima ao emissário do Araçá, indicando forte contribuição de material orgânico continental. Muniz (2003), registrou na Enseada de Ubatuba valores de C/N entre 3 e 60, também não identificando um padrão de distribuição da origem da matéria orgânica. O autor atribuiu os altos valores dessa razão (~60) aos baixos valores de N (~0,02), aconselhando descartar ou interpretar com cautela esses valores extremos. Heitor (2002), obteve valores de COT no CSS semelhantes aos registrados pelo presente estudo, entretanto, a autora registrou maiores valores de N, conseqüentemente, observou menores valores de C/N (entre 7,14 e 14,33, ou seja, origem mista).

A partir dos dados obtidos pela razão C/N, pôde-se inicialmente indicar uma maior contribuição de material orgânico de origem continental no CSS. Mas devido aos baixos valores de nitrogênio total, os resultados dessa razão devem ser analisados com extrema cautela. Stein (1991), salienta que a análise isolada de um único parâmetro da matéria orgânica não é conclusiva em termos de indicação de sua origem. Além disso, o CSS, devido às suas características, sofre forte influência de atividades antrópicas, recebendo contribuição de material orgânico e inorgânico de diversas formas e origens. Assim, é recomendada a utilização de outros parâmetros que possam auxiliar na indicação das prováveis origens e contribuições desse material (Lourenço, 2003) acumulado no fundo do CSS. Alguns desses outros parâmetros serão discutidos *a posteriori*.

6.3 Metais

Boa parte dos metais analisados (Mercúrio, Chumbo, Cádmio, Estanho, Arsênio e Vanádio) apresentou concentrações abaixo do limite de detecção (LD) em pelo menos uma das épocas de amostragem. Com exceção do Ferro Total, os demais metais apresentaram concentrações abaixo do TEL.

Muniz *et al.* (2006) apresentaram valores considerados de áreas não poluídas (NP), de acordo com a EPA, para Zn (80 mg/kg), Cu (17 mg/kg) e Cr (25 mg/kg), sendo essas concentrações atribuídas aos sedimentos finos (<63 µm). No presente estudo, as concentrações dos metais estão calculadas para todas as frações granulométricas (sedimento total), mesmo assim, somente o Cr Total apresentou concentração acima do NP, 34 mg/kg (verão) e 28,5 mg/kg (inverno), ambos valores registrados na estação 3, que apresentou 70% (verão) e 90% (inverno) de contribuição de finos. Muniz *et al.* (2002) também observaram uma alta relação entre porcentagem de finos e este metal. Os autores obtiveram concentrações semelhantes de Cr na região costeira adjacente à Baía de Montevideu (Uruguai) e comparando seus resultados classificaram a região como moderadamente poluída. Destacaram ainda, que o metal possui potencial tóxico reduzido devido suas características biogeoquímicas.

O Pb foi encontrado somente na estação 3 no verão e nas estações 3 e 5 no inverno, atingindo um máximo de 15,9 mg/Kg. Estes valores foram semelhantes aos encontrados por Belan (2003) no mar do Japão. De acordo com o autor, essas concentrações também retratam ambientes moderadamente poluídos. Muniz *et al.* (2002) constataram maiores concentrações de Pb na região mais abrigada da Baía de Montevideu (Uruguai) atribuindo essas altas concentrações ao crescimento urbano que poderia ser responsável pela introdução do metal por esgotos domésticos, tráfego marinho e outros. Este metal é um poluente comumente utilizado em diversas atividades industriais (Muniz *et al.*, 2002). Os autores ainda citam que não se conhece a função biológica do Pb, mas seu efeito sobre comunidades bióticas é prejudicial. Concentrações deste metal em níveis próximos a 30 mg/kg já podem causar efeitos biológicos adversos (Venturini *et al.*, 2004).

Hernández Arana *et al.* (2005), estudando uma região do Golfo do México, encontraram valores de Ba entre <20 mg/kg e 446 mg/kg, com as maiores concentrações sendo atingidas nas estações próximas a plataformas de petróleo, atribuindo concentrações próximas a 500 mg/kg a essa atividade. No verão, a estação 2 apresentou 557 mg/kg de Ba, o que num primeiro instante poderia ser equivocadamente atribuído a alguma influência do efluente do TEBAR. É importante ressaltar também a proximidade deste ponto ao Porto de São Sebastião e ao emissário do Araçá. As concentrações de Ba obtidas no inverno foram muito baixas, próximo ao limite de detecção.

Como dito anteriormente, somente o Ferro Total obteve concentrações igual ou acima do nível limiar de efeito (TEL) nas estações 3 e 5, no verão, e nas estações 1, 3, 5, 7 e 9, no inverno. Entretanto, altas concentrações deste metal são comumente atribuídas a processos orogenéticos, a escoamentos terrestres causados por descargas pluviais e fluviais (Lancellotti e Stotz, 2004; Hernández Arana *et al.*, 2005).

Apesar de somente ter ultrapassado o valor de TEL para o ferro total, a estação 3 obteve as maiores concentrações de todos os metais na campanha de inverno. No verão, este ponto só não obteve as maiores concentrações de bário, níquel e vanádio. Isso indica que nessa região, além da maior retenção de material orgânico, há também uma maior concentração de metais, provavelmente devido à maior concentração de partículas finas decorrente do baixo hidrodinamismo.

6.4 Hidrocarbonetos

O interesse pela determinação da origem, composição e concentração dos hidrocarbonetos em ambientes costeiros decorre da ação tóxica destes compostos sobre a biota e o homem. Assim, o estudo destes compostos torna-se uma importante ferramenta para o controle de atividades antrópicas responsáveis pela contaminação ambiental por hidrocarbonetos.

Nos dois períodos de coleta, as maiores concentrações de hidrocarbonetos foram encontradas nas estações mais próximas aos difusores do emissário do TEBAR, e as menores nas estações mais afastadas dos mesmos. Da mesma forma, Hernández Arana *et al.* (2005) encontraram concentrações totais de hidrocarbonetos variando de abaixo do limite de detecção em regiões afastadas da zona de produção de petróleo até 100 µg/g em regiões próximas a esta zona.

Medeiros e Bicego (2004) estudando 15 pontos no CSS registraram concentrações de alifáticos totais nos sedimentos entre 0,04 e 8,53 µg/g, classificando esses pontos como não poluídos a moderadamente poluídos. O presente estudo apresentou valores muito acima destes registrados pelas autoras. Durante o verão os valores foram altos em quase todas as estações de coleta, principalmente nas estações 9 e 13. Durante o inverno a maior concentração de alifáticos foi registrada na estação 3, próximo à região onde Medeiros e Bicego (2004) obtiveram suas maiores concentrações, relacionando-as à proximidade do Porto de São Sebastião, do TEBAR e do emissário do Araçá.

Em fevereiro e em agosto de 2005 foram obtidos níveis de n-alcanos entre 0,140 e 6,654 µg/g. Zanardi *et al.* (1999) estudando a região adjacente ao CSS, encontraram valores de n-alcanos no sedimento entre 0,184 e 4,141 µg/g. Medeiros e Bicego (2004) registraram no CSS valores destes compostos entre 0,03 e 4,77 µg/g. Os níveis de concentrações encontrados são considerados baixos e similares aos encontrados em áreas não poluídas (Zanardi *et al.*, 1999).

Confirmando que a distribuição granulométrica é um importante fator no estudo dos hidrocarbonetos nos sedimento (Zanardi, 1996), as estações 1,

11, 12 e 13 apresentaram valores de HPAs abaixo de 100 ng/g nas duas campanhas de coleta. A primeira estação foi caracterizada por apresentar cerca de 90% de areia muito fina, já as demais estações possuíram maior contribuição de sedimentos mais grossos. As estações com predominância de silte e argila (centro do canal) apresentaram as maiores concentrações de HPAs.

Zanardi *et al.* (1999), estudando a região de São Sebastião, identificaram um grupo de amostras compostas predominantemente por areia com baixas concentrações de HPAs (abaixo de 100 ng/g). Esse tipo de sedimento não apresenta alta capacidade de adsorção a substâncias orgânicas devido à sua pequena área de superfície efetiva (Law, 1981). Já sedimentos com altas porcentagens de siltes e argila favorecem a retenção desses compostos orgânicos (Law, 1981; Zanardi, 1996; Medeiros, 2000; Wetzel e Van Vleet, 2003).

Concentrações de aromáticos entre 100 e 250 ng/g indicam baixa contribuição de petróleo (Zanardi *et al.*, 1999; Medeiros, 2000). As concentrações encontradas nas estações 9 (1218 ng/g) e 5 (504 ng/g) indicaram alta contribuição de petróleo na região próxima ao efluente do TEBAR. Entretanto, Zanardi *et al.* (1999), destacaram que o canal recebe influência direta tanto das águas do CSS que são impactadas por derrames acidentais quanto do emissário submarino de efluentes municipais (localizado na Baía do Araçá) que despeja compostos hidrocarbonetos provenientes de atividades humanas.

Medeiros (2000), apesar de ter obtido baixas concentrações de HPAs (<200 ng/g) em 15 pontos de coleta do CSS, encontraram as maiores concentrações na proximidade do efluente do TEBAR, do Porto de São Sebastião e do emissário do Araçá. A autora ainda fez referência às principais fontes de HPAs de origem antrópica para os oceanos, destacando os processos de combustão de combustíveis fósseis, seguidos por derramamentos acidentais de petróleo e derivados, bem como descarte de efluentes industriais e domésticos.

De acordo com Hoffman *et al.* (1984) *apud* Medeiros, (2000), esgotos podem contribuir significativamente com hidrocarbonetos para os sedimentos,

podendo atingir até 71% dos HPAs encontrados, como foi o caso da Baía Narragasset, EUA. Wetzel e Van Vleet (2003) também destacaram maiores concentrações de hidrocarbonetos em sedimentos próximos a descargas de esgotos, sem descartar contribuição de outras fontes antrópicas. Da mesma forma, Muniz *et al.* (2002) detectaram as maiores concentrações de HPAs na região mais interna da Baía de Montevideu, região influenciada por uma refinaria de petróleo, emissário de esgotos urbanos, tráfego marinho e outras atividades antrópicas.

As diferentes classes de hidrocarbonetos (aromáticos e alifáticos) se comportam de maneira distinta no ambiente, em termos de tempo de residência, estabilidade, mecanismos de transporte e distribuição. Além disso, representam uma classe de compostos orgânicos presente tanto na matéria orgânica de origem vegetal e animal, como na composição do petróleo. O que lhes conferem um grande potencial como indicadores dos níveis e origens do material de origem natural e antrópica no ambiente (Medeiros, 2000).

A origem de hidrocarbonetos pode ser inferida pela distribuição de compostos individuais e pode ser definida por uma série de parâmetros e razões que são úteis na determinação da contribuição de hidrocarbonetos biogênicos e antrópicos (Zanardi *et al.*, 1999). Nesse contexto, tanto os hidrocarbonetos aromáticos quanto alifáticos são extremamente úteis.

6.4.1 Origem dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

Os hidrocarbonetos aromáticos, apesar de serem produzidos por alguns organismos, são importantes indicadores de contribuição antrópica (Eisler, 1987), podendo ser diretamente introduzidos no ambiente pelo petróleo cru e seus derivados ou por queima de combustível fóssil.

Nos dois períodos de coleta foram observados no canal a predominância de HPAs de alto peso molecular, ou seja, com 4, 5 e 6 anéis aromáticos (estes compostos estão apresentados nas tabelas 6 e 8 a partir do composto fluoranteno). A presença desses compostos, de certa forma, pode indicar contribuição de HPAs de origem pirolítica.

A pirólise é a combustão incompleta (em alta temperatura) de combustíveis fósseis. HPAs pirolíticos possuem mais de 3 anéis aromáticos em suas estruturas, apresentando baixo grau de alquilação se comparado aos HPAs petrogênicos (naftaleno, fenantreno, etc.) (Lourenço, 2003). Essas características estruturais conferem aos HPAs pirolíticos maiores toxicidade e persistência nos sedimentos, pois esses atributos estão diretamente relacionados ao seus pesos moleculares (Muniz, 2003)

A presença de hidrocarbonetos aromáticos alquilados indica contribuição de fontes de petróleo cru, já que a combustão de óleos e derivados não produz esses compostos (Zanardi et al. 1999). No óleo cru, os principais HPAs são o naftaleno e fenantreno junto com seus derivados alquilados (UNEP, 1991).

Os maiores valores destes compostos foram observados nas estações onde ocorreram maiores concentrações de HPAs totais. No verão foi observada na estação 9 uma maior concentração dos compostos derivados do naftaleno (Σ -metil-naftaleno, 29,0 ng/g) e uma maior concentração dos derivados do fenantreno (Σ -metil-fenantreno, 41,7 ng/g). No inverno, foi observado somente maior concentração de alquilados derivados do fenantreno (Σ -metil-fenantreno, 20,4 ng/g), na estação 5. Esses resultados também sugerem a presença de óleo cru no CSS.

6.4.2 Origem dos hidrocarbonetos alifáticos

Quanto aos hidrocarbonetos alifáticos, organismos terrestres e marinhos sintetizam predominantemente n-alcenos de cadeias ímpares. Já n-alcenos oriundos de petróleo não “demonstram preferência” entre n-alcenos de cadeias ímpares e pares (Volkman *et al.*, 1992). Desta forma, valores de IPC próximos a 1 indicam a presença de hidrocarbonetos petrogênicos, enquanto valores maiores que 1 indicam a predominância de hidrocarbonetos naturais (Mille *et al.*, 1992; Moyano *et al.*, 1993; Coimbra, 2006).

Valores de IPC que indicam a origem dos hidrocarbonetos biogênicos são discutidos de formas distintas em alguns estudos. Medeiros (2000) e Medeiros e Bicego (2004) atribuíram valores entre 4 e 7 a n-alcenos biogênicos

de origem continental ou terrestre. Tissot e Welte (1984) atribuíram valores entre 2,5 e 30 a n-alcanos derivados de plantas superiores. Também é sabido que organismos marinhos possuem cadeias ímpares curtas (baixo peso molecular), ou seja, n-C₁₅ a n-C₂₁ enquanto n-alcanos de plantas superiores possuem cadeias ímpares longas (alto peso molecular), entre n-C₂₃ e n-C₃₃ (Volkman *et al.*, 1992). Portanto, as razões entre os compostos ímpares e pares de baixo e alto peso molecular ajudam a esclarecer a origem dos hidrocarbonetos biogênicos.

Os valores de IPC indicaram a predominância de n-alcanos biogênicos em todas as estações de coleta, o que não descarta a presença de compostos petrogênicos. Medeiros e Bicego (2004) encontraram valores de IPC entre 2,29 e 5,33, também indicando uma maior contribuição de n-alcanos biogênicos no CSS.

No verão, a ausência de alguns compostos n-alcanos de cadeia par, na estação 1, impossibilitou o cálculo deste índice, indicando uma baixa presença de n-alcanos petrogênicos. No inverno, a mesma estação apresentou o maior valor de IPC calculado (49,6) também indicando no local a maior contribuição de n-alcanos biogênicos.

Observando os valores das razões entre n-alcanos de baixo e alto peso molecular, os maiores valores foram obtidos na razão ímpar/par de n-alcanos com mais de 22 carbonos, indicando a maior contribuição de n-alcanos de plantas superiores no CSS. Zanardi (1996) observou uma nítida predominância de compostos típicos de plantas superiores em todos os seus períodos de coleta, na região interna do CSS. A autora apontou que esse tipo de distribuição é característico de sedimentos sob forte influência de material terrestre. Medeiros (2000) explicou que tanto o continente como a ilha apresentam vegetação característica da Serra do Mar e que este local, recortado por rios e córregos, possui uma grande diversidade de árvores de grande porte.

A presença de fitano é outro indicativo de presença de petróleo. Os isoprenóides pristano e fitano são comumente encontrados em petróleo e seus derivados, entretanto, o pristano é sintetizado por certos zooplânctons (Tissot e Welte, 1984) enquanto que o fitano é praticamente ausente em sedimentos não

contaminados (Zanardi, 1996). A estação 1, na coleta de verão, e as estações 5 e 11, na coleta de inverno, apresentaram valores de pri/fitano acima de 2, o que indicou a presença de hidrocarbonetos petrogênicos em todas as estações de coleta.

De acordo com Coimbra (2006), a simples utilização de parâmetros como n-alcanos e alifáticos totais, IPC e Pri/fitano não permite avaliar a contribuição petrogênica no ambiente. Para isso, HPAs e Mistura Complexa Não Resolvida também devem ser avaliados. O primeiro parâmetro (HPAs) já foi discutido anteriormente.

A Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR) apresenta moléculas cujas estruturas são resistentes à biodegradação, o que possibilita sua concentração nos sedimentos marinhos. A sua ocorrência é relacionada à presença de resíduos de óleo bruto intemperizado e/ou degradado por microorganismos (Volkman *et al.*, 1992; Medeiros, 2000; Coimbra, 2006).

Apesar das amostras indicarem uma forte contribuição de n-alcanos biogênicos, os dados mostraram que no mínimo 70% dos compostos alifáticos (compostos resolvidos + compostos não resolvidos) pertenceram ao complexo não resolvido (MCNR). Ou seja, a maior parte dos alifáticos encontrados nas amostras pertenceu a estes compostos e na menor parte (30%) predominou compostos biogênicos. Sugerindo a presença de hidrocarbonetos de origem antrópica (hidrocarbonetos petrogênicos) no CSS.

O presente estudo obteve os maiores valores de MCNR na região centro-norte do CSS. Seng *et al.* (1987), identificaram a influência da atividade de um terminal petrolífero em Brunei, observando, entre outras coisas, concentrações de MCNR nos locais próximos ao terminal. Zanardi (1996) identificou a elevação da linha de base do cromatograma nas estações localizadas na porção centro-norte do CSS. Já Medeiros e Bicego (2004), apesar de identificarem a ausência de MCNR na maioria de suas amostras, registraram essa mistura na porção centro-norte do CSS, indicando influência do TEBAR, do emissário do Araçá e do Porto de São Sebastião. Os dois trabalhos atribuíram a presença mais significativa desses contaminantes nessa região do canal devido à circulação, que no fundo predomina durante todo o ano no sentido SO-NE (Fontes, 1995). Ou seja, o material é transportado em

direção a NE, e devido ao giro anti-ciclônico localizado ao norte de São Sebastião, esse material é transportado de volta ao canal.

É importante salientar também a ausência de MCNR nas estações 1 (verão e inverno) e 12 (inverno), o que a princípio indicaria a ausência de um acúmulo crônico de petróleo nestas áreas. A estação 1 apresentou granulometria predominantemente arenosa, o que não favorece a retenção desses contaminantes (Law, 1981), além da circulação local que tende a levar os contaminantes para o norte do canal (Furtado, 1978; Fontes, 1995). A não contaminação causada pelo MCNR já foi observada anteriormente na região extremo sul do CSS (Zanardi, 1996; Medeiros, 2000).

Já a estação 12 apresentou 83% de MCNR durante o verão, diminuindo bruscamente para <LDM no inverno. Esse fato não descarta a presença deste complexo na estação 12. Uma das possíveis causas para essa discrepância observada pode ser atribuída ao amostrador utilizado.

Pegadores de fundo do tipo van Veen possuem uma desvantagem que pode gerar esse tipo de confusão na hora de se interpretar os dados. Em locais profundos com correntes de alta velocidade há uma incerteza do local a ser amostrado, ou seja, a embarcação à deriva junto à velocidade e direção da corrente e o peso do amostrador vão interferir na amostragem.

Apesar do padrão de sedimentação encontrado mostrar um aumento na contribuição de sedimentos mais grossos de sul para norte, o padrão sedimentar do CSS é complexo com alto grau de mistura, tornando o fundo do canal heterogêneo em forma de mosaico (Arazaki *et al.*, 2004). Essas manchas são ocasionadas provavelmente devido a pequenos vórtices e giros encontrados na região central do CSS (Fontes, 1995). Portanto, a estação 12 pode ter sido amostrada em diferentes manchas de sedimento, no verão e no inverno, devido ao amostrador utilizado e das condições de mar.

6.5 Macrofauna bentônica

6.5.1 Padrão geral da comunidade

O padrão de dominância da macrofauna de fundo inconsolidado, no qual os anelídeos poliquetas são os mais representativos, é freqüentemente observado em estudos que abordam estas comunidades em regiões costeiras em todo o mundo (Belan, 2003; Lancellotti e Stotz, 2004; Venturini *et al.*, 2004; Lu, 2005; Hernández Arana *et al.*, 2005; Bigot *et al.*, 2006). Os anelídeos poliquetas são os organismos macrofaunais mais abundantes e ricos em espécies do Canal de São Sebastião (Muniz e Pires, 1999; 2000; Heitor, 2002; Arasaki *et al.*, 2004).

O presente estudo registrou um padrão de dominância com maior abundância dos poliquetas, seguidos de crustáceo e moluscos. Este padrão é considerado normal pra esta região, tendo sido registrado anteriormente por Flynn *et al.* (1999). Entre os dois períodos de amostragem esse padrão não se alterou, entretanto, no verão a espécie dominante foi *Kinbergonuphis orensanzi*, observada em maior número nas estações, próximas ao emissário do TEBAR, enquanto que no inverno, a espécie dominante foi *Exogone arenosa*.

K. orensanzi é uma espécie carnívora, construtora de tubos, discretamente móvel, com preferência para substratos areno-lamosos e lamosos (Paiva, 1990). Essa espécie não foi registrada ou foi coletada em baixa densidade em alguns estudos realizados anteriormente no CSS (Flynn *et al.*, 1999; Muniz e Pires, 1999; Heitor, 2002; Arasaki *et al.*, 2004). Flynn *et al.*, (1999), realizaram um estudo preliminar da distribuição da macrofauna bentônica no CSS, classificando essa espécie como rara para a região. De certa forma, no verão, essa espécie foi raramente coletada ao longo do canal, entretanto, observada em grande número nas estações 5 e 7. No inverno *K. orensanzi* foi ausente em quase todas as amostras. Porém, FUNDESPA (2004) observou a presença de *K. orensanzi* em todas as campanhas (verão e inverno) entre 2002 e 2004, destacando sua dominância sempre na estação 5.

E. arenosa é uma espécie carnívora e de alta mobilidade, que ocorre em águas frias e em sedimentos arenosos com grande contribuição das frações mais grossas (Paiva, 1990), tendo sido observada em maior número nas estações 11, 12 e 13, estações com essas características sedimentares. Muniz e Pires (2000), salientaram a dominância de poliquetas carnívoros em outras regiões da costa sudeste do Brasil. No CSS, Arasaki *et al.* (2004) e Muniz e Pires (1999) também registraram essa espécie nas estações compostas por areia média e grossa. Apesar de *E. arenosa* ter ocorrido em maior número durante o inverno, também ocorreu em alta densidade nas coletas de verão. Arasaki *et al.* (2004) identificaram o pico de densidade dessa espécie também durante o inverno no CSS. Heitor (2002) observou no CSS altas densidades dessa espécie nos dois períodos do ano, entretanto, as maiores densidades foram observadas nas coletas de verão. Flynn *et al.*, (1999) e Muniz e Pires (1999) destacaram *E. arenosa* como uma das espécies mais abundantes e freqüentes do CSS.

Maciel (1996) sugeriu a hipótese que essa espécie ocorre em altas densidades em regiões onde não há competidores, uma vez que observou altas densidades de *E. arenosa* em regiões com baixa riqueza de espécie (i. e. 5 espécies). No presente estudo, *E. arenosa* foi coletada também em altas densidades, mas em locais com riqueza específica perto de 25 espécies, o que sugere a alta capacidade competitiva desta espécie nessas regiões de alto hidrodinamismo, granulometria grossa e baixo teor de compostos orgânicos.

6.5.2 Variação da comunidade

Os resultados mostraram diferenças espaciais e temporais no CSS em relação aos descritores de comunidade (N, J', S, H'). Diversos autores chamam a atenção para os fatores responsáveis pelas variações temporais e espaciais da estrutura macrobentônica, apontando que a distribuição da fauna reflete a variação das diferentes variáveis ambientais em que cada habitat/região está sujeito (Wildsmith *et al.*, 2005). Temperatura, salinidade, tamanho de grão, aporte de matéria orgânica e poluentes são os mais importantes fatores que causam mudanças nas comunidades de fundos inconsolidados (Salen-Picard,

et al., 2003). Portanto, a partir do padrão faunístico, serão discutidos os possíveis fatores ambientais responsáveis pela variação temporal/espacial da estrutura macrozoobentônica no CSS.

6.5.3 Variação temporal da comunidade

No CSS, Rizzo e Amaral (2000) apontaram que o padrão sazonal na distribuição das espécies pode ser definido por mudanças no padrão sedimentar. Entretanto, durante os dois períodos de coleta, o padrão sedimentar do canal pouco se alterou, sugerindo que a mudança na composição faunística, entre o verão e inverno, em determinadas estações de coleta foi influenciada por outros fatores.

Muniz e Pires (2000) registraram a maior densidade de poliquetas no CSS durante o inverno. Arasaki *et al.* (2004), também identificaram maiores valores de densidade neste período do ano. Santos e Pires-Vanin (2000) salientaram que a intrusão da ACAS durante o verão é a característica física mais importante da região, promovendo variabilidade na distribuição das espécies do canal. Giancesella *et al.* (1999) classificaram o canal como ambiente oligo-mesotrófico. Porém, devido à intrusão da ACAS durante o verão, há um incremento de nutrientes na coluna d'água aumentando a produtividade planctônica. Sumida *et al.* (2005) levantaram uma hipótese em que nessas condições a macrofauna é intimamente dependente desse evento para seu crescimento e reprodução. Além disso, a resposta da macrofauna em ganho de biomassa ocorreria após 4 meses.

No presente estudo, as maiores densidades também ocorreram no inverno, mas não em todas as estações de coleta. A alta abundância de *K. orensanzi* nas estações 5 e 7, no verão, elevaram os valores de densidade nesta região. O mesmo ocorreu na estação 11, onde houve uma alta abundância de *Syllis* sp., e na estação 3 quando, no verão, dominou *Mediomastus capensis*.

No inverno, a densidade de organismos foi baixa nas estações 5 e 7 devido, principalmente, ao desaparecimento de *K. orensanzi*. Paiva (1990) destacou que essa espécie ocorre em todas as profundidades na plataforma ao

largo de Ubatuba (de 19 a 117 m) no inverno, e apenas no setor raso, no verão. Algumas espécies ou grupo de espécies com diferentes tipos de mobilidade podem influenciar a estrutura da comunidade mudando as características do substrato, favorecendo ou não o estabelecimento de novos organismos (Santos e Pires-Vanin, 2000). Poliquetas tubícolas que vivem densamente agregados podem contribuir na estabilização do sedimento e na complexidade da comunidade bentônica (Woodin, 1981). Onufídeos como *K. orensanzi* constroem fortes tubos de areia, lama e detritos que em alta densidade servem como um tipo de sustentadores de sedimento provocando uma certa estabilidade ao substrato, favorecendo o surgimento de outras espécies, tendo como consequência o aumento da densidade de organismos nesses locais (Dreyer *et al.*, 2005). Isso foi observado no presente estudo uma vez que com o desaparecimento de *K. orensanzi* também houve a diminuição da densidade dos outros organismos.

Na estação 3, a densidade no inverno continuou baixa, entretanto, a espécie *Cossura candida* passou a dominar. Salen-Picard *et al.* (2003) estudaram alterações em curto prazo (4 anos) em comunidades bentônicas no Mediterrâneo e também não observaram mudanças drásticas na sedimentação local atribuindo a sucessão de espécies ao aporte terrestre de matéria orgânica e à biologia das espécies. Eles mostraram que enquanto *Cossura* sp. ocorria ao longo de todo o ano, no mesmo local *Mediomastus* sp. ocorria em picos anuais nas épocas com maior aporte orgânico. No verão, há um aumento no fluxo de turistas na região de São Sebastião, com isso há uma maior produção de esgotos, que boa parte é lançada no canal através do emissário do Araçá, resultando assim na eutrofização da região e consequente surgimento desses oportunistas.

6.5.4 Variação espacial da comunidade

Alguns estudos mostraram que a estrutura da comunidade macrozoobentônica se alterava de acordo com a distância de atividade relacionada ao petróleo (Seng *et al.*, 1987; Austen *et al.*, 1989; Hernández Arana *et al.*, 2005), tendo a granulometria como um fator secundário. A

correlação linear de Pearson não mostrou valores significativos que sustente uma relação direta entre a distância do emissário do TEBAR e os descritores S, N, J' e H'. O que, a princípio, sugere que a estrutura macrofaunal tenha respondido primeiramente ao padrão sedimentar.

O substrato é freqüentemente considerado um dos mais importantes fatores que influenciam a distribuição dos organismos macrozoobentônicos (Seng *et al.*, 1987). Flynn *et al.* (1999), sugeriram que a textura do sedimento e a profundidade são os mais importantes fatores responsáveis pela estrutura da macrofauna do CSS. Muniz e Pires (1999) atribuíram a diferença espacial na estrutura dos organismos do canal à alta heterogeneidade do sedimento.

Os maiores valores de S, J' e H' foram registrados em estações onde predominou granulometria mais grossa, ou seja, nas estações ao norte do canal. Já os menores valores desses índices foram obtidos nas estações compostas principalmente por sedimentos finos (parte centro-sul do canal). O aumento destes índices com o aumento da heterogeneidade do sedimento com predominância de areia já havia sido observado no CSS (Flynn *et al.*, 1999; Muniz e Pires, 1999; 2000; Arasaki *et al.*, 2004).

Os valores de diversidade variaram, mas de uma maneira geral estiveram sempre acompanhados pela equitatividade, mostrando uma boa distribuição dos indivíduos dentre as espécies (Maciel, 1996). Apesar do número de espécies registradas nas estações 5 e 7, no verão, não estar muito abaixo do observado nas demais estações, os valores de equitatividade e diversidade, nestas estações, foram baixos devido à alta dominância de *K. orensanzi*. No inverno, quando esta dominância não existiu, os valores de J' e H' foram altos.

Mesmo que a análise de correlação não tenha mostrado valores significativos ao longo de um gradiente, pôde-se notar que as maiores contribuições orgânicas ocorreram na região centro-sul do canal, próxima ao emissário do TEBAR, emissário do Araçá e do Porto de São Sebastião. Ou seja, houve manchas de compostos orgânicos depositados nesta região do canal, nas quais pareceram surtir efeitos sobre a estrutura da comunidade macrozoobentônica, assim como demonstrado por Pearson e Rosemberg

(1978), através dos valores obtidos em algumas estações, por exemplo, na estação 3.

Apesar de ter apresentado valores razoáveis de equitatividade, a estação 3, obteve baixos valores de densidade, riqueza de espécie e diversidade, nos dois períodos de coleta. Além disso, no inverno, essa estação registrou os menores valores dos quatro índices (N, S, J' e H'), o que indica esta região como a área estudada mais impactada do CSS. Isto corrobora com Maciel (1996) e Arasaki (1997), que apontaram uma relação onde concentrações máximas de matéria orgânica são acompanhadas por baixos valores de densidade e diversidade, pois essas condições geram fatores adversos para a macrofauna (Pearson e Rosemberg, 1978). A redução do número de espécies na margem continental do CSS, próximo ao emissário do Araçá, já foi registrada anteriormente (Amaral e Morgado, 1994; Maciel, 1996; Flynn *et al.*, 1999). Esta redução foi atribuída à deposição de altas quantidades de matéria orgânica, uma vez que fundos lamosos tendem a reter material orgânico e outros tipos de poluentes (Flynn *et al.*, 1999).

As análises de ordenação (Cluster e nMDS) identificaram 5 grupos de amostras. A análise SIMPER identificou as espécies que mais contribuíram para a formação de cada associação.

O Grupo 1 (1v), foi representado principalmente pelo poliqueta *Lumbrineris tetraura* da Família Lumbrineridae. A poluição geralmente leva a mudanças estruturais nas comunidades bentônicas (Pearson e Rosemberg, 1978; Belan, 2003). Existem espécies sensíveis à poluição que podem ser utilizadas como indicadoras. Caso haja um aumento em sua dominância com o aumento da poluição, essa espécie é considerada indicadora positiva de poluição. Espécies que ocorrem freqüentemente em regiões pouco ou nada poluídas, mas que desaparecem quando o habitat se torna poluído, podem ser utilizadas como indicadoras negativas de poluição (Rygg, 1985). Belan (2003), apontou alguns trabalhos nos quais registraram altas densidades (>2000 ind/m²) de *Lumbrineris* sp. em áreas não poluídas, enquanto que, em áreas poluídas foram registradas em baixa densidade (~ 5 ind/m²), classificando esses indivíduos como indicadores negativos de poluição.

Lancellotti e Stotz (2004) ressaltaram que organismos desse gênero variam em habitat e hábito alimentar, com algumas espécies predadoras e outras comedoras de depósito, sendo essas últimas encontradas em regiões altamente poluídas compostas por sedimentos lamosos, junto a outras espécies oportunistas. Esta última afirmação foi baseada principalmente no reconhecido trabalho realizado por Pearson e Rosenberg (1978), entretanto, neste artigo não constou *L. tetraura*, e sim outras espécies do mesmo gênero.

No CSS, *L. tetraura* é conhecido por seu hábito predador carnívoro, tendo sido encontrado sempre em alta abundância onde predominaram sedimentos arenosos, estando negativamente correlacionada a silte, argila e carbono orgânico (Muniz e Pires, 1999). Arasaki *et al.* (2004) registraram densidades entre 2 ind/0,1m² (inverno) e 96 ind/0,1m² (verão) desta espécie em regiões do canal compostas predominantemente por areia muito fina e com contribuição moderada de carbono orgânico. No presente estudo, apesar da maior frequência dessa espécie, foi registrada uma densidade de 1,3 ind/0,09m², refletindo assim o baixo valor de N na estação 1 na coleta de verão. É válido lembrar que nesta estação predominou areia muito fina, e a concentração de compostos orgânicos foi muito baixa. O único composto registrado em alta concentração foi o Alumínio.

Cossura candida foi a espécie responsável por 62,5% da similaridade do Grupo II (3i e 5i). Essa espécie é relacionada a ambientes com substratos onde predominam silte e areia (SCAMIT, 1998). Este poliqueta da Família Cossuridae foi encontrado principalmente na estação 3 em baixa densidade (12 ind/0,09m² a aprox. 10 m de prof.). Heitor (2002) coletou 2 ind/0,2m², somente no verão numa estação próxima ao emissário do Araçá. Já Maciel (1996) e Arasaki (1997) não registraram a ocorrência deste poliqueta. O que sugere ser uma espécie oportunista encontrada raramente ao longo do canal.

O Grupo III (1i, 2v e 3v) foi formado principalmente pela presença de *Mediomastus capensis* (Família Capitellidae), *Aricidea* sp. (Família Paraonidae) e *Neanthes* sp. (Família Nereididae). A primeira espécie é oportunista comedora de depósito e vive associada à lama (Pearson e Rosenberg, 1978), coletada no verão em maior abundância nas estações 2 e 3. As outras duas espécies, coletadas em maior abundância nas estações 2 e 1,

respectivamente, estão geralmente associadas a sedimentos compostos por areia e lama (Amaral, 2006). Heitor (2002), obteve maiores densidades de *Neanthes* sp. na região sul do CSS, onde predominou sedimento argilo-arenoso. No CSS, organismos deste gênero foram considerados onívoros devido sua alta plasticidade alimentar (Muniz e Pires, 1999).

No interior da enseada de Ubatuba (SP), *Mediomastus* sp. e *Neanthes* sp. ocorreram em altas densidades associados a ambiente enriquecido organicamente (Ferreira, 2004). A ocorrência desses gêneros foi apontada por Pearson e Rosenberg (1978) em ambientes também enriquecidos organicamente, que tenham resultado numa significativa redução da fauna local, pois quando o incremento de material orgânico é alto, como comumente ocorre em regiões costeiras, muitas espécies são asfixiadas pelas próprias partículas e desaparecem da área (Ferreira, 2004). A eutrofização decorrente do aumento de turistas durante o verão resultou num empobrecimento da fauna e surgimento dessas espécies oportunistas. Fato também observado por Muniz (2003) durante um verão na enseada de Ubatuba, região ao norte do CSS.

Apesar da baixa densidade de *Magelona* sp. e destes indivíduos não terem sido representativos para formação do *Grupo III*, este gênero foi um dos poucos coletados durante o verão na estação 3. Santos (1998) e Muniz (2003) registraram a presença dele associada ao capitelídeo *M. capensis*, com predominância deste último. A primeira autora levantou a hipótese, reforçada pelo segundo autor, de que *M. capensis* estaria mais apto competitivamente em regiões antrópicamente afetadas.

Segundo alguns autores (Reish, 1979; Seng *et al.*, 1987), *M. capensis* é conhecido por estar associado a condições de poluição, podendo tolerar presença de óleo, sendo considerado colonizador primário após um evento de poluição por óleo, podendo atingir altas densidades.

Heitor (2002) registrou na Baía de Santos a associação de espécies dos gêneros *Mediomastus* sp. e *Aricidea* sp., que apresentaram preferências por sedimentos finos com altos teores de matéria orgânica. Wildsmith *et al.* (2005) destacaram que *Aricidea* sp., um comedor de depósito de sub-superfície, pertence a um grupo trófico que tipicamente atinge altas densidades em ambientes onde há baixa turbulência e favorece a retenção de substanciais

quantidades de material orgânico. Shin *et al.* (2006) estudaram o efeito do nitrogênio e enxofre sobre uma comunidade macroinfaunal em microcosmo e constatou que *Aricidea* sp. é oportunista, com ciclo de vida curto, tolerante a condições organicamente enriquecidas, sendo capaz de viver até em condições hipóxicas.

As espécies de poliqueta *Exegone arenosa* (Syllidae), *Nematonereis schmardae* (Eunicidae), *Lumbrineris januarii* (Lumbrineridae), *Aricidea* sp. (Paraonidae), *Eunice rubra* (Eunicidae) e o bivalve *Gouldia cerina* (Veneridae), foram as que mais contribuíram para a formação do Grupo IV (2i, 11vi, 12vi e 13vi). Os poliquetas deste grupo são em sua maioria predadores. Os bivalves da família Veneridae são conhecidos na literatura como suspensívoros habitantes de fundos arenosos com seixos e grânulos (Amaral, 2006), características sedimentares observadas nas estações 11, 12 e 13, ao norte do canal.

As espécies que formaram este grupo geralmente ocupam áreas com característica granulométrica arenosa (Muniz e Pires, 1999). Heitor (2002) registrou uma associação semelhante onde essas espécies, com exceção de *E. rubra* e *L. januarii*, estiveram relacionadas à região (insular) norte do canal, onde predominaram areia média e grossa. Venturini (2002), da mesma forma, observou a presença de *N. schmardae* em estações predominantemente arenosas, na Baía de Todos os Santos, Bahia. Esta última espécie bem como *E. arenosa* também formaram uma associação em regiões arenosas num estudo conduzido por Muniz e Pires (2000) no CSS.

As espécies de poliqueta *Neanthes* sp. (Nereididae), *Kinbergonuphis oreisanzi* (Onuphidae), *Pseudeurythoe ambigua* (Amphinomidae), e o bivalve *Corbula caribaea* (Corbulidae) foram os que mais representaram na associação do Grupo V (5v, 7vi e 9vi). A presença de *Neanthes* sp. tanto neste grupo quanto no Grupo III, demonstra a ampla distribuição destes indivíduos ao longo do CSS, situação levantada por Heitor (2002). As estações que compõe o Grupo V foram marcadas por um sedimento complexo, composto principalmente por areia e silte. Amaral (2006) apontou aquelas espécies de poliqueta como típicas de sedimentos compostos por areias com lama. Heitor (2002) coletou o bivalve *C. caribaea* em ambientes com fundo areno-lodoso no

CSS e com predominância de silte na Praia Grande. Arasaki (1997) também já havia registrado a ocorrência desta espécie na parte central do CSS.

O padrão apresentado pela ACC veio a reforçar o que foi discutido em função dos resultados anteriores, mostrando de forma resumida, o padrão da comunidade macrozoobentônica no CSS e sua relação com as variáveis ambientais.

Num primeiro momento, as estações 5, 7 e 9 (verão) estiveram relacionadas ao sedimento fino e alguns metais, bem como as espécies *K. orenzansi* e *Saltpedis paulensis*. Apesar da alta concentração de Aromáticos na estação 9, bem como as relações com os metais, esta associação provavelmente ocorreu devido à alta abundância de *K. orensanzi* nestas estações no verão de 2005.

Num segundo momento, devido à proximidade do Porto de São Sebastião, do emissário de esgotos domésticos do Araçá e do TEBAR, as estações 3 (verão e inverno), 2 (verão), 5 e 1 (inverno), devido às suas características hidrodinâmicas e granulométricas, possuem uma maior capacidade de reter compostos orgânicos no sedimento. Por isso obtiveram maior relação com a matéria orgânica, favorecendo o surgimento das espécies oportunistas *Cossura candida* e *Mediomastus capensis* que foram dominantes nessa região, dificultando o estabelecimento de outras espécies nesse local. *Cossura candida* como é raramente encontrada no canal pode ter se estabelecido devido à falta de predadores. Durante o verão, na estação 3, foram registradas principalmente essas duas espécies. Já no inverno, *M. capensis* desapareceu e *C. candida* aumentou de densidade, sugerindo que essa última espécie devido à sua biologia tenha sido mais apta competitivamente. *Mediomastus capensis* e *Cossura candida* são oportunistas com alta capacidade de adaptar seu sistema reprodutivo pra rapidamente explorar aportes de matéria orgânica (Salen-Picard *et al.*, 2003). Lamont e Gage (2000) comentaram a capacidade de organismos da família Cossuridae se adaptar em condições hipóxicas através de respostas morfológicas como, por exemplo, hipervascularização das brânquias e até metabolismo anaeróbico. E que essas adaptações podem ser ativadas ou desativadas de acordo com as condições do meio.

O contrário foi observado (terceiro momento) na associação relacionada negativamente com o eixo 1, onde muitas espécies, predadoras e suspensívoras, dividem o mesmo espaço nas estações com granulometria mais grossa onde ocorreram as maiores diversidades. Muniz e Pires (1999), relacionaram as maiores densidades de suspensívoros na região norte do CSS, onde predominou frações arenosas, atribuindo este local como ótimo para o estabelecimento desses organismos uma vez que são favorecidos pela alta hidrodinâmica capaz de ressuspender material em quantidades ideais sem que suas estruturas filtradoras sejam obstruídas. A relação entre a presença de suspensívoros e a região norte do CSS também foi apontada por Arasaki *et al.* (2004). A mistura de tamanhos diferentes de grãos aumenta o número de nichos (Santos e Pires-Vanin, 2000), além de permitir uma maior oxigenação do sedimento, bem como mais espaços para organismos adultos e larvas se instalarem. Ou seja, quanto maior a heterogeneidade do sedimento e maior o tamanho dos grãos, maior o número de micro-habitat, aumentando o número de nichos disponíveis, favorecendo maiores riqueza de espécies, equitatividade e diversidade (Arasaki, 1997; Flynn *et al.*, 1999; Venturini, 2002; Ferreira, 2004).

Resumidamente, o padrão de distribuição da macrofauna bentônica no CSS se apresentou da seguinte forma:

1 - O canal possuiu em sua entrada sul granulometria predominando areia muito fina. A região centro-sul do canal apresentou maiores porcentagens de silte e argila (lama). A região centro-norte do canal predominou sedimento areno-lamoso e por fim na região norte do canal predominaram sedimentos arenosos nas frações mais grossas.

2 - Este padrão sedimentar refletiu diretamente nas espécies bentônicas encontradas nas estações de cada parte do CSS. A exemplo do que foi encontrado por Maciel (1996), pôde-se separar dois grandes grupos de espécies relacionados ao tipo de ambiente sedimentar. Um grupo contendo areias médias (com baixa concentração de matéria orgânica) e um grupo de areias finas e lama (com concentrações variáveis de matéria orgânica). O primeiro grupo estaria relacionado a ambientes de alta energia (norte do canal) caracterizado por espécies predadoras com mobilidade e por espécies

suspensívoras, em que a heterogeneidade e tamanho dos grãos favoreceram altos índices de abundância, riqueza de espécie, equitatividade e diversidade. O segundo grupo estaria relacionado a ambientes de menor energia (sul e centro do canal) onde há uma maior retenção de compostos orgânicos, caracterizado por espécies comedoras de depósito, em que as características do sedimento refletiram em menores índices de abundância, riqueza de espécie e diversidade. Neste segundo grupo ainda poderíamos separar mais dois subgrupos.

3 - Sabe-se que a quantidade de argila no sedimento influencia diretamente na capacidade do mesmo em adsorver partículas orgânicas e inorgânicas. O primeiro subgrupo, portanto, estaria relacionado à região com maior concentração de argila-silte (centro-sul do canal) e o outro relacionado à maior concentração de areia-silte (centro-norte do canal). No primeiro dominaram espécies oportunistas comedoras de depósito e no segundo dominaram espécies onívoras e carnívoras.

Portanto, o padrão sedimentar, medido pelo tamanho de grão, bem como as características relacionadas a ele, principalmente a capacidade de adsorção a compostos orgânicos e inorgânicos, pareceram condicionar o padrão da estrutura macrozoobentônica no CSS.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características hidrodinâmicas pareceram refletir diretamente no padrão de sedimentação da área de estudo, que apresentou um aumento gradativo na contribuição das frações mais grossas de sul para o norte, sendo que na região central a sedimentação possuiu um alto grau de complexidade.

Os baixos valores de nitrogênio total sugeriram uma maior contribuição de material orgânico de origem continental no CSS. As maiores concentrações de matéria orgânica foram registradas nas estações próximas ao emissário do Araçá. Nessa região há um baixo hidrodinamismo que favorece a sedimentação de partículas finas, nas quais possuem maior capacidade de se adsorverem a compostos orgânicos e inorgânicos.

As concentrações dos metais analisados estiveram abaixo dos valores de referência TEL e PEL, bem como dos níveis 1 e 2 da resolução CONAMA nº 344/2004, com exceção do Ferro Total que apresentou valores iguais ou acima do TEL. Porém as altas concentrações desse metal podem ser atribuídas a processos orogenéticos e escoamentos terrestre. A estação 3, próxima ao emissário do Araçá e ao Porto de São Sebastião, obteve as maiores concentrações de metais.

As maiores concentrações de hidrocarbonetos foram encontradas nas estações próximas ao emissário do TEBAR. Porém, o canal também sofre influência de outras atividades como o Porto de São Sebastião e o emissário do Araçá, uma vez que houve a presença de HPAs de origem pirolítica e petrogênica no CSS.

Entre os alifáticos resolvidos a contribuição foi predominantemente biogênica. Entretanto, a maior quantidade de alifáticos foi atribuída aos não resolvidos (70%) indicando uma alta ocorrência de óleo bruto intemperizado ao longo da área de estudo.

As características hidrodinâmicas da região e a capacidade do sedimento em reter compostos orgânicos e inorgânicos foi o que determinou as maiores concentrações de hidrocarbonetos ao longo do CSS, sendo que o emissário do Araçá, o Porto de São Sebastião e o TEBAR contribuíram para o acúmulo desses compostos. Foi nítido que na estação 3 houve maior retenção de material orgânico e inorgânico no sedimento. Na região norte, o alto hidrodinamismo favoreceu a deposição de sedimentos mais grossos o que parece ter dificultado a retenção de compostos orgânicos e inorgânicos.

O macrozoobentos do CSS foi dominado por poliquetas, seguidos de crustáceos e moluscos. No verão dominou a espécie *Kimbergonuphis orenzansi* e no inverno *Exogone arenosa*. As diferenças faunísticas entre as duas épocas estudadas pareceram ser influenciadas por características ecológicas intrínsecas e extrínsecas das espécies, uma vez que do verão para o inverno, o padrão sedimentar de cada estação pouco se alterou.

Como a correlação linear de Pearson não mostrou relação significativa entre a distância do emissário do TEBAR e os descritores de comunidade (N, S, J' e H'), a estrutura espacial da macrofauna bentônica parece ter respondido primeiramente ao padrão sedimentar. Uma vez que os grupos de espécies foram separados principalmente pelas características granulométricas de cada estação. A presença de compostos orgânicos e inorgânicos pareceu ser um fator secundário nessa distribuição.

As estações ao norte do canal, onde predominaram sedimentos mais grossos, apresentaram os maiores índices descritores de comunidade. As estações ao centro do canal, de um modo geral, apresentaram os menores valores de N, S, J' e H', justamente por nestas estações ocorrer maior retenção de material orgânico e inorgânico devido à predominância de sedimentos finos.

A região próxima ao emissário do Araçá, Porto de São Sebastião e emissário do TEBAR foi a que apresentou os menores índices de densidade, riqueza de espécies e diversidade, configurando-se como a região mais

impactada do CSS. Isso porque suas características sedimentares podem ter favorecido a existência de condições adversas para a comunidade macrozoobentônica.

As espécies encontradas puderam ser separadas em dois grupos. Um relacionado a ambiente de alta energia (norte do canal) com sedimentos mais grossos e baixa contribuição de material orgânico, onde predominaram espécies predadoras móveis e suspensívoras, refletindo maiores abundância, diversidade e riqueza de espécies. O segundo grupo relacionado a ambiente de menor energia com maior retenção de compostos orgânicos caracterizado por espécies oportunistas, comedoras de depósito, em que o padrão sedimentar refletiu menores índices de abundância, diversidade e riqueza de espécies.

A estrutura da comunidade macrozoobentônica na região de influência do TEBAR pareceu ser um reflexo das características sedimentares do CSS. Essas características são influenciadas pelo hidrodinamismo local e pela introdução de compostos orgânicos e inorgânicos que se distribuem no canal de acordo com as condições favoráveis à sua retenção, refletindo diretamente na abundância, riqueza e diversidade das espécies encontradas.

8 – REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. C. Z. 2006. Manual de identificação dos invertebrados marinhos da região sudeste-sul do Brasil: Vol. 1/ A. Cecília Z. Amaral, Alexadra E. Rizzo, Eliane P. Arruda – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 288p.
- AMARAL, A.C.Z.; E.H. MORGADO. 1994. Alteraciones en la fauna de anelidos poliquetos de Araça, São Sebastião (SP-Brasil). Rev. Acad. Colomb. Cienc., V.19, p. 3-8.
- ARASAKI, E. 1997. Distribuição e estrutura da macrofauna bêntica no Canal de São Sebastião, São Paulo, Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 143 p.
- ARASAKI, E.; MUNIZ, P.; PIRES-VANIN, A.M.S. 2004. A functional analysis of the benthic macrofauna of the São Sebasitão Channel (southeastern Brazil). Mar. Ecol. P.S.Z.N., v. 25, p. 249-263.
- AUSTEN, M. C.; WARWICK, R. M.; ROSADO, M. C. 1989. Meiobenthic and macrobenthic community structure along a putative pollution gradient in southern Portugal. Mar. Pollut. Bull., v. 20(8), p. 398-405.
- BELAN, T. A. 2003. Benthos abundance pattern and species composition inconditions of pollution in Amursky Bay (the Peter the Great Bay, the Sea of Japan). Mar. Pollut. Bull., v. 46, p. 1111-1119.
- BIGOT, L.; CONAND, C.; AMOUROUX, J. M.; FROUIN, P.; BRUGGEMANN, H.; GRÉMARE, A. 2006. Effects of industrial outfalls on tropical macrobenthic sediment communities in Reunion Islands (Southwest Indian Ocean). Mar. Pollut. Bull., v. 52, p. 865-880.

- BRAY, J.R.; CURTIS, J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, v. 27, p. 325-349.
- CASTRO FILHO, B. M. de. 1990. Wind driven currents in the Channel of São Sebastião: winter 1979. *Bolm Inst. oceanograf.*, São Paulo, v. 38(2), p. 111-132.
- CASTRO FILHO, B. M. de; MIRANDA, L. B. de; MIYAO, S. Y. 1987. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. *Bolm Inst. oceanogr.*, São Paulo, v. 35(2), p. 135-151.
- CCME (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT). 1995. Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME EPC-98E. prepared by Environment Canada, Guidelines division Technical Secretariat of the CCME Task Group on the Water Quality Guidelines, Ottawa. [Reprinted in Canadian environmental guidelines, Chapter, Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999, Winnipeg].
- CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). 1997. Estudo da vulnerabilidade da região do Canal de São Sebastião. Relatório de Metodologia. São Paulo, 52 p.
- CHOUKSEY, M. K.; KADAM, A. N.; ZINGDE, M. D.. 2004. Petroleum hydrocarbon residues in the marine environment of Bassein-Mumbai. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 49, p. 637-647.
- CLARKE, K.R.; WARWICK, R.M. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth.

- COIMBRA, M. A. C. 2006. Avaliação dos resultados analíticos de hidrocarbonetos como instrumento jurídico em caso de derrames de petróleo: mangue de Bertioga. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, p. 98.
- DREYER, J.; BAILEY-BROCK, J. H.; MCCARTHY, S. A. 2005. The immediate effects of Hurricane Iniki on intertidal fauna on the south shore of O'ahu. *Mar. Environm. Res.*, v. 59, p. 367-380.
- EISLER, R. 1987. Polycyclic aromatic hydrocarbons hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. *U.S. Fish Wild. Serv. Biol.*, v. 85(1.11), p. 81.
- FAGANELLI, J.; MALEJ, A.; PEXDIC, J.; MALACIC, V. 1988. C:N:P ratios and stable C isotopic ratios as indicators of sources of organic matter in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *Oceanol. Acta.*, v. 11, p. 377-382.
- FDEP (FLORIDA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION). 1994. Approaches to the assessment of quality in Florida coastal waters; 1: Development and evaluation of sediment quality assessment guidelines. Prepared for Office of Water Policy, Tallahassee, FL, by MacDonald Environmental Sciences, Ltd., Ladysmith, British Columbia, Canada.
- FERREIRA, J. A. 2004. Composição e distribuição da macrofauna benthica num gradiente de salinidade e contaminação orgânica na Enseada de Ubatuba, SP, Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, p.119.
- FLYNN, M. N.; VALERIO-BERARDO, M.T.; WAKABARA, Y.; MIYAGI, V. K. 1999. Preliminary study of the spatial distribution of the benthic macrofauna of the São Sebastião Channel, Southeastern Brazil. *Oceanides*, v. 14, p. 97-111.

- FONTES, R. F. C. 1995. As correntes no Canal de São Sebastião. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, p.159.
- FUNDESPA. 2004. Monitoramento dos Sistemas Hídricos do Terminal Aquaviário de São Sebastião, Estações de Guaratuba e Rio Pardo, e do Canal de São Sebastião -Relatório Final Integrado. S. Paulo, p. 239.
- FURTADO, V. V. 1978. Contribuição ao estudo da sedimentação atual no Canal de São Sebastião, Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, p. 110.
- FURTADO, V. V. 1995. Sedimentação quaternária no Canal de São Sebastião. Publção. esp. Inst. oceanogr. S. Paulo, v. 11, p. 27-35.
- GIANESELLA, S.M.F.; KUTNER, M.B.B.; SALDANHA-CORRÊA, F.M.; POMPEU, M. 1999. Assessment of plankton community and environmental conditions in São Sebastião Channel prior to the construction of a produced water outfall. Rev. bras. oceanogr., v. 47(1), p. 29-46.
- GOMEZ GESTEIRA, J. L.; DAUVIN, J. C.; SALVANDE FRAGA, M. 2003. Taxonomic level for assessing oil spill effect on soft-bottom sublittoral benthic communities. Mar. Pollut. Bull. 46, 562-572.
- HEITOR, S.R. 2002. Composição e distribuição da macrofauna bentônica em áreas sob influência da disposição oceânica de esgotos municipais na Baixada Santista e no Canal de São Sebastião, São Paulo, Brasil. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. São Paulo, p. 245.

- HERNÁNDEZ ARANA, H.A.; WARWICK, R.M.; ATTRILL, M.J.; ROWDEN, A.A., GOLD-BOUCHOT, G. 2005. Assessing the impact of oil-related activities on benthic macroinfauna assemblages of the Campeche shelf, southern Gulf of Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, v. 289, p. 89-107.
- IRVING, M.A. 1991. Estrutura da macroinfauna benthica de zona entremarés de Sepetiba (Rio de Janeiro – Brasil): Aspectos descritivos e metodológicos. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, p. 179.
- KRUSKAL, J.B.; WISH, M. 1978. Multidimensional scaling. Sage Publications, Beverly Hills, California.
- LAMONT, P. A.; GAGE, J. D. 2000. Morphological responses of macrobenthic polychaetes to low oxygen on the Oman continental slope, NW Arabian Sea. *Deep-Sea Research II*, v. 47, p. 9-24.
- LANCELLOTTI, D. A.; SOTZ, W. B. 2004. Effects of shoreline discharge of iron mine tailings on a marine soft-bottom community in northern Chile. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 48, p. 303-312.
- LAW, R. J. 1981. Hydrocarbons concentrations in water and sediments from UK marine waters determined by fluorescence spectroscopy. *Mar. Pollut. Bull.*, v.12, p. 153-157.
- LOPES, C. F.; MILANELLI, J. C. C.; PROSPERI, V.A; ZANARDI, E.; TRUZZI. 1997. Coastal monitoring program of São Sebastião Channel: Assessing the effects of “Tebar v ” oil spill on rocky shore populations. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 34(11), p. 923-927.

- LOURENÇO, R. A. 2003. Metodologia para determinação de biomarcadores geoquímicos orgânicos em sedimentos – Hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, esteróis e alquenonas. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, p. 92.
- LU, L. 2005. The relationship between soft-bottom macrobenthic communities and environmental variables in Singaporean waters. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 51, p. 249-27.
- MACIEL, P. M. 1996. Distribuição e abundância dos anelídeos poliquetas e seu papel trófico no ecossistema costeiro do Canal de São Sebastião, São Paulo (Brasil). Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. p. 118.
- MAJEED, S. A. 1987. Organic matter and biotic indices on the beach of North Brittany. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 18(9), p. 490-495.
- MEDEIROS, P. M. de. 2000. Avaliação da origem de hidrocarbonetos em sedimentos marinhos de Santos e São Sebastião, utilizando-se hidrocarbonetos marcadores geoquímicos. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, p. 102.
- MEDEIROS, P. M.; BÍCEGO, M. C. 2004. Investigation of natural and anthropogenic hydrocarbon inputs in sediments using geochemical markers. II. São Sebastião, SP-Brazil. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 49, p. 892-899.
- MILLE, G.; RIVET, L.; JAWWAD, A. L.; BERTRAND, J. C. 1992. Hydrocarbon distributions in low polluted surface sediments from Kuwait, Bahrain and Oman Coastal Zones (Before the Gulf War). *Mar. Pollut. Bull.*, v. 24, p. 622-626.

- MOYANO, M.; MORESTO, H.; BLANCO, J.; RASADELLA, M.; CABALLERO, A. 1993. Baseline studies of coastal pollution by heavy metals, oil and PAH in Montevideo. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 26, p. 461-464.
- 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, p. 204.
- MUNIZ, P.; PIRES, A.M.S. 1999. Trophic structure of polychaetes in the São Sebastião Channel (Southeastern Brazil). *Mar. Biol.*, v. 134, p. 517-528.
- MUNIZ, P.; PIRES, A.M.S. 2000. Polychaete associations in a subtropical environment (São Sebastião Channel, Brazil): a structural analysis.. *Mar. Ecol. P.S.Z.N.*, v. 21, p. 145-160.
- MUNIZ, P.; VENTURINI, N.; MARTÍNEZ, A. 2002. Physical-chemical characteristics and pollutants of the benthic environment in the Montevideo coastal zone, Uruguay. *Mar. Poll. Bull.*, v. 44, p. 962-968.
- MUNIZ, P.; PIRES-VANIN, A. M. S.; MARTINS, C. C.; MONTONE, R. C.; BÍCEGO, M. C. 2006. Trace metals and organic compounds in the benthic environment of a subtropical embayment (Ubatuba Bay, Brazil). *Mar. Pollut. Bull.*, v. 52, p. 1090-1117.
- OEBIUS, H.U., BECKER, H.J., ROLINSKI, S., JANKOWSKI, J.A. 2001. Parametrization and evaluation of marine environmental impacts produced by deep-sea manganese nodule mining. *Deep-Sea Research II*, v. 48, p. 3453-3467.
- OGP (International Association of Oil & Gas Producers). 2002. Aromatics in produced water: occurrence, fate & effects, and treatment. Report No. 1.20/324.

- 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. p. 146 .
- PEARSON, T.H.; ROSENBERG, R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. mar. Biol. Ann. Rev.*, v. 16, p. 229-331.
- PIELOU, E.C., 1966. Shannon' formula as a measure of species diversity: its use and misuse. *Amer. Natur.*, v. 100, p. 463-465.
- PIRES-VANIN, A. M. S.; CORBISIER, T. N.; ARASAKI, E.; MOELLMANN, A. M. 1997. Composição e distribuição espaço-temporal da fauna bêntica no Canal de São Sebastião. Relatório Técnico do Instituto Oceanográfico, v. 41, p. 29-46.
- REISH, D.J. 1979. Bristle Worms (Annelida Polychaeta). *In*: Hart Jr. C. W.; Fuller, S.L.H. (eds), *Pollution Ecology of Estuarine Invertebrates*, v. 3. New York: Academic Press. p. 78-127.
- RICKLEFS, E. R.; MILLER, G. L. 1999. *Ecology*. W. H. Freeman and Company, 4th ed., London, p. 822.
- RIZZO, A. E.; AMARAL, A. C. Z. 2000. Temporal variation of annelids in the intertidal zone of beaches of the São Sebastião Channel, southern Brazil. *Mar. Biol. Ass. U.K.*, v. 80, p. 1007-1017.
- ROMESBURG, H. C. 1984. *Cluster analysis for researchers*. Lifetime Learning Publications Belmont, California.

- RYGG, B. 1985. Distribution of species along pollution-induced diversity gradients in benthic communities in Norwegian Fjords. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 16, p. 469-474.
- SAITO, Y.; NISHIMURA, A.; MATSUMOTO, E. 1989. Transgressive and sheet covering the shelf and upper slope off Sendai, northeast Japan. *Mar. Geol.*, v. 89, p. 245-258.
- SALEN-PICARD, C.; ARLHAC, D.; ALLIOT, E. 2003. Responses of a Mediterranean soft bottom community to short-term (1993-1996) hydrological changes in the Rhone river. *Mar. Environm. Res.*, v. 55, p. 409-427.
- SANTOS, K. C.; PIRES-VANIN, A. M. S. 2000. Ecology and distribution of Peracarida (Crustacea) in the continental shelf of São Sebastião (SP), with emphasis on the amphipod community. *Nauplius*, v. 8(1), p. 35-53.
- SANTOS, M. F. L. 1998. Estrutura e dinâmica da macrofauna bêntica da Enseada de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo – Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, p. 155.
- SCAMIT (Southern California Association of Marine Invertebrates Taxonomists). 1998. Problem polychaete solutions. *SCAMIT Newsletter*, v. 17(3), p. 13.
- SCHRATZBERGER, M.; DANIEL, F.; WALL, C. M.; KILBRIDE, R.; MACNAUGHTON, S. J.; BOYD, S. E.; REES, H. L.; LEE, K.; SWANNELL, R. P. J. 2003. Response of estuarine meio- and macrofauna to in situ bioremediation of oil-contaminated sediment. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 46, p. 430-443.

- SENG, L. T.; KWONG, L. Y.; CHYE, H.S.; HUAT, K. K.; PHENG, K. S.; HANAPI, S.; MENG, W. T.; LEGORE, R. S.; LIGNY, W. de; TANG, G. T. 1987. Effects of a crude oil terminal on tropical benthic communities in Brunei. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 18(1), p. 31-35.
- SHANNON, C.E.; WEAVER, W. 1963. The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press, Urbana.
- SHARP, J. H. 1973. Size classes of organic carbon in seawater. *Limnol. Oceanogr.*, v. 18, p. 441-447.
- SHIN, P. K. S.; CHEUNG, C. K. C.; CHEUNG, S. G. 2006. Effect of nitrogen and sulphide on macroinfaunal community: A microcosm study. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 52, p. 1333-1339.
- STATSOFT Inc. (1995). STATISTICA for the Windows Operating System. Release 5. StatSoft, Inc., Tulsa OK, USA.
- STEIN, R. 1991. Accumulation of organic carbon in marine sediments. Results from Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program. *In*: Bhattacharji S.; Friedman, G. M.; Neugebauer, H. J.; Seilacher, A. (Eds), *Lecture Notes in Earth Sciences*, v. 34, Springer Berlin, p. 217.
- STEPHENS, S. M.; FRANKLING, S. C.; STAGG, R. M.; BROWN, J. A. 2000. Sub-lethal effects of exposure of juvenile turbot to oil produced water. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 40(11), p. 928-937.
- STRØMGREN, T.; SØRSTRØM, S. E.; SCHOU, L.; KAARSTAD, I.; AUNAAS, T.; BRAKSTAD, O. G.; JOHANSEN, Ø. 1994. Acute toxic effect of produced water in relation to chemical composition and dispersion. *Mar. Environ. Res.*, v. 40(2), p. 147-169.

- SUGUIO, K. 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo. Edgard Blucher/EDUSP, p. 317.
- SUMIDA, P. Y. G.; YOSHINAGA, M. Y.; CIOTTI, A. M.; GAETA, S. A. 2005. Benthic response to upwelling events off the SE Brazilian coast. *Mar. ecol. Prog. Ser.*, v. 291, p. 35-42.
- ter BRAAK, C. J. F. 1986. Weighted averaging, logistic regression and the Gaussian response model. *Vegetatio*, v. 65, p. 3-11.
- THRUSH, F. S.; HEWITT, J. E.; LUNDQUIST, C.; NORKKO, A. 2006. Functional role of large organisms in intertidal communities: community effect and ecosystem function. *Ecosystems*, v. 9, p. 1029-1040.
- TISSOT, B. P.; WELTE, D. H. 1984. Geochemical fossils and their significance in petroleum formation. *In: Petroleum Formation and Occurrence. Second Revised and Enlarged Edition. Springer-Verlag, New York*, p. 92-130.
- UNDERWOOD, A. J. 2001. *Experiments in Ecology*. New York: Cambridge University Press, p. 504.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 1991. Determinations of Petroleum Hydrocarbons in Sediments. Reference Methods for Marine Pollution Studies, No. 20., p. 97.
- USEPA (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1998. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW 846). EPA, USA.
- UTVIK, T. I. R. 1999. Chemical characterization of produced water from four offshore oil production platforms in the North Sea. *Chemosphere*, v. 39(15), p. 2593-2606.

- VENTURINI, N. 2002. Estudo das características do ambiente de fundo e sua relação com a macrofauna bentônica, numa área adjacente a uma refinaria de petróleo: porção nordeste da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, p. 121.
- VENTURINI, N.; MUNIZ, P.; RODRÍGUEZ, M. 2004. Macrobenthic subtidal communities in relation to sediment pollution: the phylum-level meta-analysis approach in a south-eastern coastal region of South America. *Mar. Biol.*, v. 14, p. 119-126.
- VOLKMAN, J. K.; HOLDSWORTH, G. D.; NEILL, G. P.; BAVOR, H. J. Jr. 1992. Identification of natural, anthropogene and petroleum hydrocarbons in aquatic sediments. *Sci. Tot. Environ*, v. 112, p. 203-219.
- WASHBURN, L.; STONE, S.; MacINTYRE, M. 1999. Dispersion of produced water in a coastal environment and its biological implications. *Continental Shelf Research*, v. 19, p. 57-78.
- WETZEL, D. L.; VAN VLEET, E. S. 2003. Persistence of petroleum hydrocarbon contamination in sediments of the canals in Venice, Italy: 1995 and 1998. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 46, p. 1015-1023.
- WILDSMITH, M.D.; POTTER, I. C.; VALESINI, F. J.; PLATELL, M. E. 2005. Do the assemblages of benthic macroinvertebrates in nearshore of western Australia vary among habitat types, zones and seasons? *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, v. 85, p. 217-232.
- WOODIN, S. A. 1981. Disturbance and community structure in shallow water sandflat. *Ecology*, v. 62, p. 1052-1066.

- ZANARDI, E. 1996. Hidrocarbonetos no Canal de São Sebastião e na plataforma interna adjacente: influência do derrame de maio de 1994. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico.
- ZANARDI, E.; BÍCEGO, M. C.; WEBER, R. R. 1997. Dissolved/dispersed petroleum aromatic hydrocarbons in the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 38(5), p. 410-413.
- ZANARDI, E.; BÍCEGO, M. C.; MIRANDA, L. B. de; WEBER, R. R. 1999. Distribution and origin of hydrocarbons in water and sediment in São Sebastião, SP, Brazil. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 38(4), p. 261-267.
- ZAR, J. H. 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall, New Jersey, 4th ed., p. 663.
- ZEITZSCHEL, B. 1980. Sediment-Water Interactions in Nutrient Dynamics. *In*: Tenore, K.R.; Coul, B.C. *Marine Benthic Dynamics*. University of South Carolina Press, p. 451.