

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ESTUDO GEOAMBIENTAL DA REGIÃO  
CIRCUNJACENTE AO EMISSÁRIO SUBMARINO DE  
ESGOTO DO ARAÇÁ, SÃO SEBASTIÃO, SP**

**Silas Gubitoso**

**Orientadora: Dra. Wânia Duleba  
Co-orientador: Dr. Silvio Miranda Prada**

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2006/50)**

**SÃO PAULO  
2006**

TF  
G921  
S.e

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Estudo geoambiental da região circunjacente do  
emissário submarino do Esgoto do Araçá, São  
Sebastião – SP**

**Silas Gubitoso**



**Monografia de Trabalho de Formatura**

**Banca Examinadora**

Profa. Dra. Wania Duleba

Profa. Dra. Elisabeth de Oliveira

Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

**São Paulo**

**2006**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO GEOAMBIENTAL DA REGIÃO CIRCUNJACENTE  
AO EMISSÁRIO SUBMARINO DE ESGOTO  
DO ARAÇÁ, SÃO SEBASTIÃO, SP**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024381



Silas Gubitoso

Orientador: Dra. Wânia Duleba  
Co-orientador: Dr. Silvio Miranda Prada

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2006/50)

SÃO PAULO  
2006





## AGRADECIMENTOS

A minha amiga e orientadora Dra. Wânia Duleba, pelo carinho, amor e dedicação que têm por todos seus alunos. Agradeço especialmente pelos conselhos dados em todos os momentos necessários. Obrigado por tudo que têm feito por mim, principalmente por me incentivar a pesquisa e o conhecimento científico.

Ao meu co-orientador Dr. Silvio Miranda Prada, por toda sua atenção, carinho pela sua profissão e paciência para me explicar a complexa "química" de aferição de vasilhames. Uma pessoa muito especial.

Ao Laboratório de Sedimentologia e de Química e todas as pessoas que ali trabalham, por me auxiliarem em todos os procedimentos experimentais.

Ao Laboratório de Micropaleontologia, por ser um local agradável onde me acolheu em todas as necessidades e onde conheci minha amiga Andreia Teodoro, agradeço-a por tudo que tem feito por mim, pela ajuda nesta monografia, pelos conselhos na minha vida pessoal, pelas risadas e mais risadas, pela sua dedicação ao trabalho e acima de tudo pela amizade. A todo pessoal laboratório, principalmente a Juliana, Luciana, André.

A todos os professores do Instituto de Geociências por me ensinarem essa ciência tão linda. Principalmente por ajudar a nos conduzir nos trabalhos de campo. Ao Professor Dr. Marcelo Monteiro da Rocha pelos conselhos e ajuda neste trabalho e pela amizade. Ao Prof. Dr. Renato Paes de Almeida pelos bons momentos de divertimento e claro pelas explicações de grande valia. A Prof<sup>a</sup> Lucy Gomes Sant'Anna pela ajuda na discussão dos dados. Ao Prof. Thomas Rich Fairchild pela correção do abstract.

Ao pessoal da Seção de Graduação, Ivoneide, Marilda e Diego, pela simpatia e ajuda nos momentos necessários.

A CETESB, Claudia Lamparelli, José Bevilacqua, Débora Ogler de Moura, por ceder os dados hidrográficos, pela atenção e pela viagem de campo a São Sebastião.

Às longas aventuras em todos esses anos de trabalho de campo. Aos insetos, cobras, carrapatos, a fome, tromba d'águas, afloramentos terríveis, chuvas torrenciais, cercas de arame farpado, frio, calor, sede e o maravilhoso sol queimando nossas cabeças e caminhos intermináveis, por me mostrar que a minha casa confortável e a maravilhosa comida de minha mãe não era para sempre e de alguma forma me ensinou a sobreviver em muitas situações que nunca tinha vivido. Ao campo de Petrologia Metamórfica, por me ensinar autocontrole e paciência e acima de tudo força nos momentos difíceis.

As minhas amigas Onicélia e Rafaela, por estarem ao meu lado nesses 5 anos de graduação e com certeza por muito mais, passando juntos muitas noites em claro para fazer relatórios intermináveis e aventuras em trabalho de campo. Obrigado pela amizade verdadeira, carinho, atenção e por tudo que fazem por mim.

Aos amigos Yuri e Alexandre, por sempre estarem comigo nessa jornada e aos ótimos momentos de alegria, descontração e de estudo, claro.

Aos meus amigos Danilo "Biva" e Itamar, por terem deixado minha vida mais colorida. Nunca vou esquecer o quanto foram importante para transformar sentimentos cheios de receio em alegria, muita alegria. Nunca vou esquecer nossas festas, saídas pela madrugada e claro nossas loucuras sem tamanho. Mesmo que a distância nos separe, a amizade perpetuará.

As minhas amigas Naira e Susi, por toda a amizade e momentos especiais. Loucuras intermináveis, mas que mudaram muito minha vida e marcaram profundamente meu jeito de ser. Duas garotas muito especiais que nunca esquecerei.

As minhas amigas da geofísica Michelle e Thais, por todo carinho e amizade nos bons tempos do IAG e até hoje.

Aos meus amigos de colégio Vivian, Camilinha, Diego, Aline, Roberto e Gustavo, por fazerem parte de uma época muito boa, principalmente a Vivian.

Aos meus companheiros nessa viagem geológica: Evelyn "Tati", Rosinha, Andrezza, "Maionese", Walter, Maria Elisa "Kacilda", Fernanda, Maria "Fuji", Fernando, Deyna e Leonardo.

A minha querida família que tanto amo, por sempre me apoiarem em tudo. Obrigado Silvana por ser uma mãe fantástica que tanto amo, uma grande empresaria, me educou, ensinou a humildade e sempre me dizendo para nunca desistir de meus sonhos. Minha nonna Olga querida, obrigado por ser a melhor vó do mundo e por estar tão presente na minha vida. Minha querida tia Gê, obrigado por ser uma segunda mãe para mim. Meus dois irmãos Fernando e Teo que também amo. Minhas cunhadas. Meus sobrinhos lindos Sylvio, Aline, André e Isabella. Todos meus tios e primos queridos.

## ABSTRACT

The objective of this study was the hydrochemical, microbiological and sedimentological characterization near the submarine outfall sewage diffusers area of Araçá Bay in the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. Ten water samples were collected (surface, middle and bottom) and nine of surface sediment in July, 2005, to evaluate the behavior of the sewage plume and its possible effect on the marine environment. The hydrochemical and microbiological results indicated that the water column was not contaminated by the sewage at the moment the sampling, because the values were within of the limits defined by legislation of Brazilian National Environmental Council (*Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA*). However, it must be pointed out that this legislation does not specific for controls for submarine effluent outfall. For example, the Trophic State Index, as calculated by the values of the disappearance of the Secchi disc, chlorophyll-a concentration and total phosphorus in the water, demonstrated that the water column was highly eutrophized. The grain size and geochemical results for C, N, S and inorganic and organic of P demonstrated that, on average, bottom sediments (fine sands) were rich in nutrients and decomposing organic material (O.M.). The O.M., as determined by values of C/N and C/P, represents a mixture of marine and continental material, with a strong bacterial component. The oxidation-reduction potential of the sediments, based on values for C/S, indicated a reducing environment at all but two sample sites. Comparing hydrochemical and biological parameters with geochemical of the sediment, revealed that the sediments represent the final deposit of pollutants associated with particulated material. This, such sediments more permanently contaminated than the overlying aquatic environmental. Therefore, it is suggested that the evaluation of environmental quality of areas subject to sewage outfall should monitor geochemical parameters of the sediment.

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar caracterização hidroquímica, microbiológica e sedimentológica da região circunjacente aos difusores do emissário submarino de esgoto do Araçá, Canal de São Sebastião, SP. Para atingir esse objetivo foram coletadas 10 amostras de água (superfície, meio e fundo) e 9 de sedimento superficial, em julho de 2005, para avaliar o comportamento da pluma de esgoto e seus possíveis efeitos no meio ambiente marinho. Os resultados hidroquímicos e microbiológicos indicaram que a coluna d'água não estava contaminada pelo esgoto, no momento da amostragem, pois todos os valores obtidos estavam dentro dos limites exigidos pela legislação do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Contudo, deve ser ressaltado que essa legislação não é específica para controle dos lançamentos de emissários, ou seja, vários parâmetros importantes não são priorizados pelas resoluções nº 274/2000 e a nº 357/2005. Por exemplo, a partir da profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, dos teores de clorofila-a e de fósforo total da água foi calculado o Índice do Estado Trófico, que, por sua vez, indicou que a coluna d'água do Araçá está hipereutrofizada. Os resultados granulométricos e geoquímicos de C, N, S e especiação de P demonstraram que o sedimento arenoso fino é rico em nutrientes e em matéria orgânica em decomposição. A partir dos valores de C/N e C/P, verificou-se que a origem da MO é mista (marinha e continental), com forte componente bacteriano. O potencial de óxido-redução dos sedimentos, avaliado por meio da razão C/S, indicou ambiente redutor e, em alguns pontos, oxidante. Ao se comparar os parâmetros hidroquímicos e biológicos com os sedimentológicos, constatou-se a importância destes últimos, pois os sedimentos representam o depósito final do material particulado e dos poluentes a eles associados, registrando, portanto, em caráter mais permanente, a contaminação à qual o ecossistema aquático foi submetido. Portanto, sugere-se a CETESB que estudos de monitoramento de sedimento sejam também incorporados em suas avaliações de qualidade ambiental de áreas impactadas por emissários.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
1.1 CONCEITOS BÁSICOS.....	2
1.2 LEGISLAÇÃO E MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	3
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>3. RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....</b>	<b>4</b>
<b>4. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>5</b>
4.1 CONTEXTO GEOLÓGICO .....	5
4.2 CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA E INFLUÊNCIA ANTRÓPICA.....	8
4.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EMISSÁRIO .....	8
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
5.1 PROCEDÊNCIA DOS DADOS E DAS AMOSTRAS .....	9
5.2 ANÁLISES DOS DADOS HIDROGRÁFICOS .....	9
5.3 ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS .....	9
5.3.1 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS.....	10
5.3.2 ANÁLISE GEOQUÍMICA.....	11
5.3.2.1 Teores de carbonato de cálcio.....	11
5.3.2.2 Teores de carbono orgânico, nitrogênio total e enxofre total .....	12
5.3.2.3 Teores de fósforo total, inorgânico e orgânico.....	12
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>13</b>
6.1 DADOS HIDROGRÁFICOS .....	13
6.1.1 Batimetria, temperatura e salinidade.....	13
6.1.2 Oxigênio dissolvido (OD) e pH .....	14
6.1.3 Turbidez.....	15
6.1.4 Fenol.....	16
6.1.5 Óleos e graxas .....	16
6.1.6 Nitrogênio amoniacal.....	17
6.1.7 Nitrogênio Kjeldahl (NK) .....	17
6.1.8 Ortofosfato.....	18
6.1.9 Fósforo total .....	18
6.2 DADOS MICROBIOLÓGICOS .....	19
6.2.1 Coliformes Fecais e enterococos.....	19
6.3. DADOS HIDROBIOLÓGICOS.....	19
6.3.1 Índice do estado trófico (IET).....	19
6.4 DADOS SEDIMENTOLÓGICOS .....	19
6.4.1 Granulometria .....	19
6.4.2 Carbonato de cálcio .....	20
6.4.3 Carbono orgânico.....	20
6.4.4 Nitrogênio.....	21
6.4.5 Enxofre.....	21
6.4.6 Fósforo orgânico e inorgânico .....	22
6.4.7 Razão C/N.....	22
6.4.8 Razão C/P.....	23
6.4.9 Razão C/S .....	23
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>24</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>26</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>30</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O projeto em questão é um estudo hidrogeoquímico, microbiológico e sedimentológico da região localizada na circunjunção dos difusores do emissário submarino do Araçá, São Sebastião. Esse projeto corresponde, portanto, a um dos objetivos do convênio realizado entre o Laboratório de Micropaleontologia do IGcUSP, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) e o Centro de Estudos Químicos do UNIFIEO, bem como do Programa de Pesquisa e de Apoio a Jovens Pesquisadores em Centros Emergentes (Proc. FAPESP 02/02611-2).

### 1.1 CONCEITOS BÁSICOS

O esgoto sanitário é composto de águas de banho e de lavagem de utensílios, restos de comida, sabões, detergentes, urina, fezes e vários outros produtos descartáveis (e.g., papéis não biodegradáveis, pontas de cigarros, absorventes, etc.). Cerca de 99.9% do esgoto está sob a forma líquida e apenas 0.1% sob a forma sólida. O tratamento de esgotos, portanto, resume-se na remoção desta fração sólida com a máxima eficiência possível. Nos países desenvolvidos, o esgoto doméstico antes de ser disposto no mar passa por uma série de tratamentos, que varia de primário a terciário (CETESB, 2005). No Brasil, os esgotos domésticos das regiões costeiras ou são jogados diretamente ao mar ou são tratados apenas em estações de pré-condicionamento. Nestas estações os esgotos, geralmente, passam por: 1) grades, para remoção de sólidos grosseiros e flutuantes (gradeamento); 2) peneiras, para remoção de sólidos finos ou fibrosos (peneiramento); 3) caixas de areia ou dearenadores (Marcellino, 2000). Posteriormente, os efluentes são desinfetados por cloração e lançados ao mar por emissários submarinos.

Mesmo passando por uma série de tratamentos (pré-condicionamento, primário), os esgotos domésticos dispostos através de emissário submarino contêm grande variedade de resíduos, que podem em elevado nível, afetar o ambiente marinho, a saúde pública e a estética local (Werme & Hunt, 2004). Os constituintes mais problemáticos incluem organismos patogênicos, contaminantes tóxicos, matéria orgânica, nutrientes, óleo, graxa, materiais sólidos e/ou flutuantes (e.g., plástico e outros detritos de densidade menor que a água).

Organismos patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários, encontrados em resíduos humanos e animais, podem causar enfermidades a seres humanos, pelo consumo de frutos do mar e o contato físico com a água contaminada.

Contaminantes tóxicos incluem metais pesados, como mercúrio, cobre, chumbo, bifenilas policlorados (PCBs), pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos

policíclicos (PAHs), hidrocarbonetos de petróleo, surfactantes e fenóis. Todos esses contaminantes tendem a se acumular nos organismos marinhos, afetando seus ciclos de vida e, conseqüentemente, se ingeridos podem afetar a saúde humana (Hershelman *et al.*, 1981; Haynes *et al.*, 1997).

Matéria orgânica (M.O.) é o maior constituinte dos esgotos e é formada principalmente de compostos de proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), gordura e óleos (10%) e uréia. Uma vez lançada no meio marinho, a M.O. é rapidamente degradada por bactérias, que por sua vez, liberam compostos a base de carbono, enxofre, nitrogênio e fósforo.

Em ambientes marinhos não poluídos, os nutrientes essenciais ao crescimento das algas e das macrófitas são o fósforo (P) e o nitrogênio (N). Já em regiões submetidas a aporte de esgotos domésticos, as concentrações de P e N são muito elevadas. Isto porque vários subprodutos das atividades humanas (i.e., fezes, urina, detergentes) são essencialmente constituídos de P e N. Por exemplo, o fósforo, na forma de tripolifosfato, é um dos principais componentes dos detergentes em pó (Stoker, 1989; Osório & Oliveira, 2001). O aumento nas concentrações de P e N conduz ao processo de eutrofização das águas, desencadeando uma série problemas na cadeia trófica (e.g., florescimento fitoplanctônico, mortandade de peixes, doenças de veiculação hídrica).

Sólidos em suspensão, que são pequenas partículas na coluna d'água, diminuem a penetração de luz, afetando o crescimento e a produtividade de algas e outras plantas marinhas. Além disso, juntamente com óleo, graxas e detritos flutuantes prejudicam a estética visual da superfície da água, tornando as águas impróprias para recreação.

O esgoto é desinfectado por meio da adição de cloro e hipoclorito de sódio, os quais são bastante reativos na água do mar. A vantagem desse processo é a destruição de organismos patogênicos, mas a grande desvantagem é que, em altas concentrações prejudica o desenvolvimento larval de várias espécies marinhas, além de matar bactérias não patogênicas (Werme & Hunt, 2004).

## 1.2 LEGISLAÇÃO E MONITORAMENTO AMBIENTAL

A legislação ambiental relacionada à qualidade das águas litorâneas é regulada principalmente por duas resoluções Federais do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente): a Resolução nº 274/2000 e a nº 357/2005 resultados de revisões da Resolução nº 20/1986 (CETESB, 2005). Esta legislação, embora não específica para controle dos lançamentos de emissários, tem sido instrumento importante para avaliação e controle desses sistemas, bem como da qualidade ambiental das águas marinhas.

Em função do crescente número de emissários submarinos implantados no estado de São Paulo na década de 90, a CETESB iniciou o monitoramento das águas circunjacentes aos emissários do litoral paulista, em 2002. Em 2003, foram iniciadas coletas de sedimentos, em convênio realizado entre a CETESB e o IGcUSP (Laboratório de Micropaleontologia). Considerando isso, o projeto faz parte de uma destas coletas de 10 pontos amostrais realizados pela CETESB na região do Araçá, São Sebastião, SP, em julho de 2005.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

Realizar a caracterização hidroquímica, microbiológica e sedimentológica da área situada nas circunjunções dos difusores do emissário submarino de esgoto do Araçá, São Sebastião-SP, com o intuito de avaliar os efeitos provocados pelos esgotos à biota marinha e, entender melhor a circulação hídrica local, a partir do comportamento da pluma de esgoto.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Determinar a composição e as principais características químicas do efluente, verificando se seus constituintes excederam os limites permitidos pelo CONAMA;
- 3) Avaliar se o tratamento realizado na estação de pré-condicionamento é eficiente para eliminar todos os agentes patogênicos;
- 4) Avaliar a contribuição do lançamento de esgotos no processo de eutrofização das águas do entorno do emissário submarino;
- 5) Analisar as características texturais e composicionais dos sedimentos;
- 6) Verificar se os sedimentos podem ser considerados instrumentos importantes para avaliar a qualidade ambiental de regiões submetidas a efluentes lançados por emissários submarinos de esgotos.

## **3. RELEVÂNCIA DO ESTUDO**

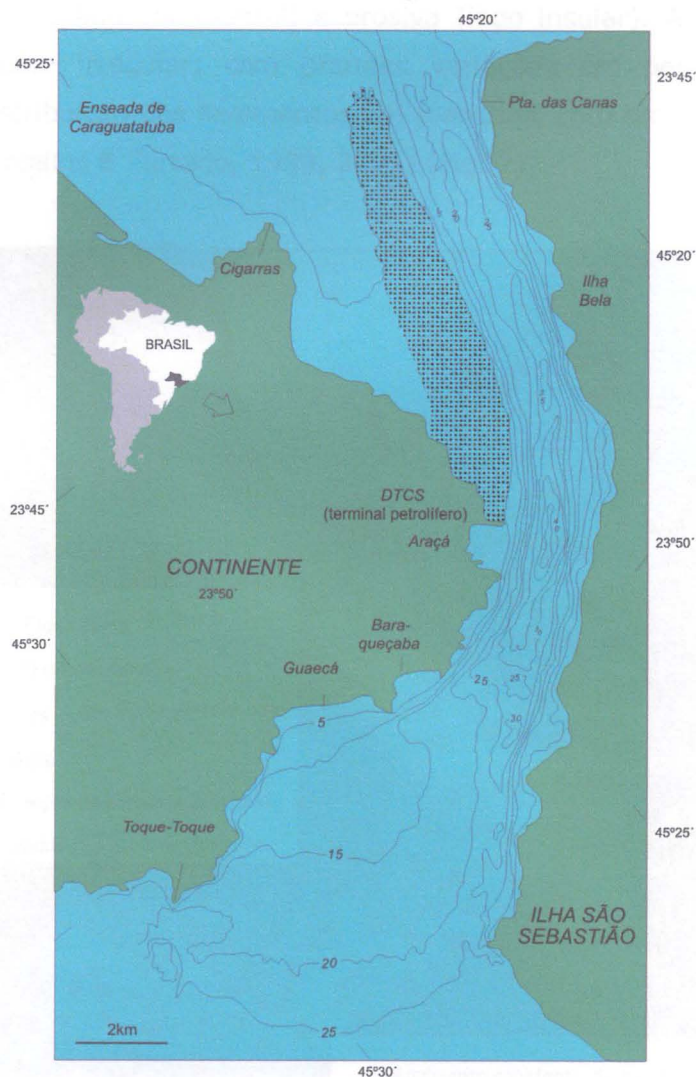
O estudo em questão forneceu dados inéditos sobre a geoquímica da região circunjacente ao emissário submarino de esgoto do Araçá, o que permitiu tecer várias considerações sobre os possíveis efeitos do efluente no meio bentônico, bem como sobre a circulação hídrica local, enfocando o comportamento da pluma de esgoto. Estes dados, por sua vez, subsidiarão outros projetos sobre a dinâmica populacional de foraminíferos e outros compostos químicos orgânicos e inorgânicos que estão em andamento no Laboratório de Micropaleontologia (IGcUSP).



## 4. ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

O Canal de São Sebastião (CSS), localizado entre as latitudes  $23^{\circ} 40' S$  e  $23^{\circ} 53.5' S$  e as longitudes  $45^{\circ} 19'$  e  $45^{\circ} 30' W$ , é uma feição de 25 km de comprimento, que separa o continente da ilha de São Sebastião (Fig. 1). Apresenta larguras variáveis de 2 km, em sua porção central, e 7 km, em suas entradas sul e norte. Seu eixo, onde estão as maiores profundidades (30 a 50 m), está deslocado para o lado insular, devido à erosão e/ou condicionamento estrutural das rochas. As profundidades menores (6 m) ocorrem no lado continental do canal. As entradas sul e norte apresentam profundidades, de 25 e 20 m, respectivamente. (Fig. 1).



Fonte: Duleba (em preparação)

Figura 1. Localização da área de estudo.

A ilha de São Sebastião (ISS) tem sua gênese ligada à atividade vulcânica alcalina, e à reativação de falhas pré-existentes, ocorridas no sudeste brasileiro no final do Cretáceo, representadas pelo soerguimento da Serra do Mar e pela

subsidência da Bacia de Santos. A ISS, oriunda desses eventos magmáticos, seria remanescente do retrocesso erosivo sofrido pela Serra do Mar (Almeida, 1976).

Para Almeida (1976), o CSS teria sido escavado subaereamente durante as últimas fases glaciais do Pleistoceno. Mahiques *et al.*(1989), por sua vez, relacionam as depressões alongadas e profundas, presentes no interior do canal, a processos de escavação por marés, ocorridos durante o evento transgressivo holocênico, cujo máximo ocorreu há cerca de 5.100 anos A. P.

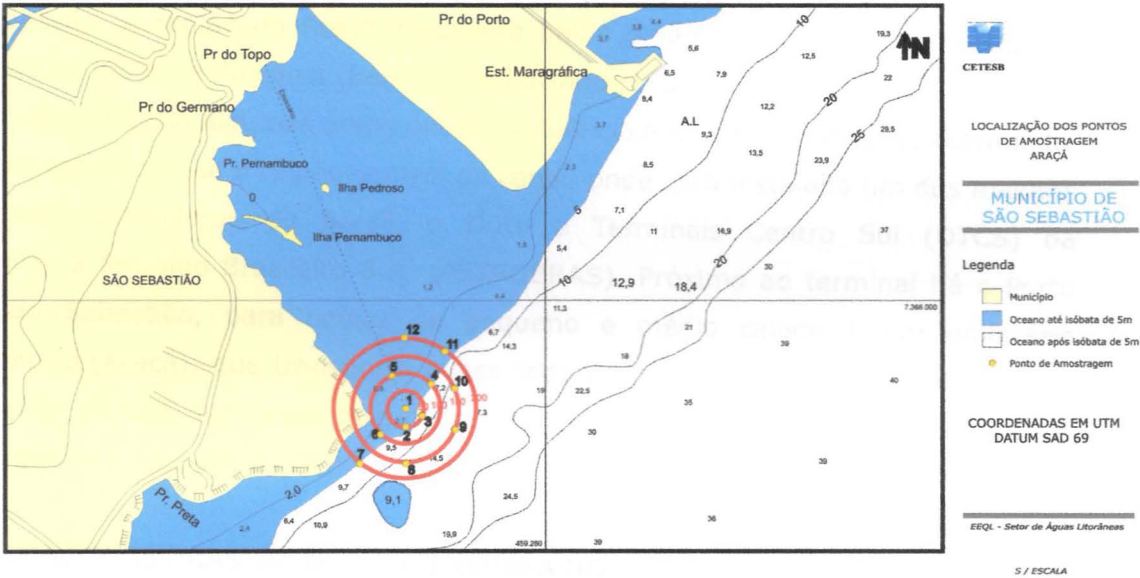
A distribuição de sedimentos ao longo do canal está relacionada à sua geometria, topografia de fundo e circulação local. A geometria do canal, mais especificamente sua curvatura, assemelha-se a um canal fluvial, apresentando margens deposicional (lado continental) e erosiva (lado insular). A topografia do CSS é extremamente irregular, com grandes variações em pequeno espaço, produzindo uma distribuição dos sedimentos em manchas, com tamanhos variados (Furtado, 1995; Barcellos & Furtado, 1999, 2001) (Fig. 2).



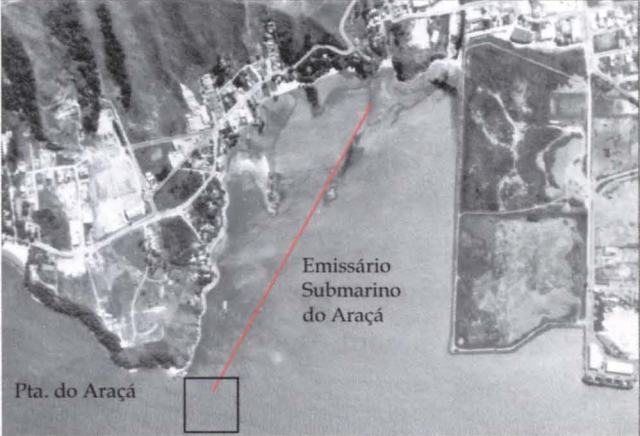
Figura 2. Mapa sedimentológico, modificado de Furtado (1978).



A baía do Araçá, onde se localiza o emissário, é uma enseada artificial formada durante a construção do porto de São Sebastião e situa-se no lado continental do CSS. (Fig. 3). Apresenta profundidades máximas de 10 m em sua desembocadura e, rumo ao continente, a enseada torna-se mais estreita e rasa. Apresenta pequena declividade e é amplamente descoberta durante as marés baixas. As marés variam entre os níveis médios de +2,06m (máximo), +1,15 m (médio) e -0,04 m (mínimo) (Brasil Lima, 1998). Possui algumas ilhotas distribuídas em seu interior e três pequenas praias: Pernambuco, Germano e Topo.



Modificado: Arasaki (2004)



Modificado: Arasaki (2004)

Figura 3. Localização do emissário e dos pontos de amostragem.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA E INFLUÊNCIA ANTRÓPICA

A circulação do canal se caracteriza por movimentos para norte e sul, com periodicidade de dias, pouco influenciados pelas correntes de maré (Castro-Filho, 1990; Fontes, 1995; Miranda & Castro-Filho, 1995). A geometria e a topografia do fundo do canal condicionam correntes mais intensas no sentido longitudinal do lado insular, com velocidades de até  $1,0 \text{ m s}^{-1}$  para o norte e  $0,7 \text{ m s}^{-1}$  para sul (FUNDESPA, 1999) (Fig. 2). As características termohalinas do canal são determinadas pelo transporte de massas de água da plataforma continental, cujos movimentos são predominantemente gerados pelo vento e por forças de gradiente de pressão. A região do Araçá apresenta baixa dinâmica de ações correntes em relação ao restante do canal (Barcellos & Furtado, 1999) (Fig.2).

No CSS, há algumas áreas onde a influência antrópica é bastante acentuada. Dentre estas, cita-se a região central do canal, onde está instalado um dos maiores terminais petrolíferos do Brasil, o Duto e Terminais Centro Sul (DTCS) da companhia Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS). Próximo ao terminal há o Porto de São Sebastião, para navios de pequeno e médio calado e um emissário submarino (Araçá), que transporta quase todo esgoto doméstico da cidade de São Sebastião. O CSS tem mais dois outros emissários de pequeno porte, localizados em Cigarras e no Saco da Capela.

#### 4.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EMISSÁRIO

O emissário submarino do Araçá entrou em operação em 1990 e está localizado na baía do Araçá, no lado continental do CSS. (Fig. 3). Este emissário, construído pela SABESP, atende a uma população máxima de 21.396 habitantes. É composto por duas partes: terrestre, construída em tubos de ferro fundido, com diâmetro de 400 mm e extensão de 3.800 m e submarina, constituída por tubulação de polietileno de alta densidade (PEAD) com diâmetro de 400 mm, extensão de 1090 m e com vazão de  $0,14 \text{ L s}^{-1}$  (CETESB, 2005). A tubulação submarina é guarnecida de blocos de ancoragem de concreto para garantir seu posicionamento no leito marinho. Em sua extremidade terminal, o tubo é munido de um trecho difusor com 10 m de comprimento com 17 orifícios (CETESB, 2005). Este emissário submarino tem seu início na praia do Topo e sua extremidade final junto à Ponta do Araçá, com os seus difusores situados a aproximadamente 7 m de profundidade. (Fig. 3).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 PROCEDÊNCIA DOS DADOS E DAS AMOSTRAS

Foi utilizada uma rede amostral do tipo círculo crescente com 10 pontos de coleta na área de influência direta do efluente (i.e., nas proximidades dos difusores) (Fig. 3). As coletas foram realizadas em julho de 2005.

Em cada ponto amostral foram feitas medições dos seguintes dados abióticos hidrográficos: profundidade, profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, turbidez, temperatura, salinidade (CTD Seacat), oxigênio dissolvido, pH (potenciômetro Beckman Zeromatic II). Também foram coletadas amostras de água na superfície, no meio e no fundo da coluna de água, para análise de nutrientes dissolvidos (nitrogênio amoniacal, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total, ortofosfato), dos teores de fenol total, óleo, graxas, clorofila-a, enterococos e coliformes fecais. Os ensaios analíticos da água foram realizados nos laboratórios de análise química da CETESB.

### 5.2 ANÁLISES DOS DADOS HIDROGRÁFICOS

Todos os resultados referentes aos parâmetros físico-químicos, coletados em campo e aos dados hidroquímicos obtidos, posteriormente, em laboratório foram gentilmente fornecidos pela CETESB. Para melhor interpretação destes parâmetros, foram elaborados mapas de distribuição em função dos pontos de coleta.

A partir dos dados de profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, clorofila-a e fósforo total da água foi calculado o Índice do Estado Trófico (IET), de Carlson (1977), modificado por Toledo *et al.* (1983), com intuito de avaliar o grau de enriquecimento por nutrientes e o potencial de crescimento excessivo de algas das águas circunjacentes ao emissário. Para classificação do IET foram adotados os seguintes estados de trofia: oligotrófico ( $IET = 44$ ), mesotrófico ( $44 < IET = 54$ ), eutrotófico ( $54 < IET = 74$ ) e hipereutrotófico ( $IET > 74$ ).

### 5.3 ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS

Nos mesmos pontos hidrográficos foram coletadas amostras de sedimento, com pegador de mandíbulas tipo Petersen, as quais foram divididas em três partes distintas: para análises granulométricas, geoquímicas (conservadas em gelo, para evitar ataque bacteriano) e do conteúdo de foraminíferos (não analisado nesse trabalho). No ponto amostral 4 não foi coletado o sedimento, por este ser constituído somente por cascalho biodetrítico, o que dificultou o funcionamento do pegador. Todas as amostras sedimentológicas foram encaminhadas aos laboratórios de Sedimentologia e Química do IGcUSP, onde o aluno realizou as rotinas referentes às análises granulométricas e geoquímicas.

### 5.3.1 Análises granulométricas

Foram utilizadas duas técnicas: decantação (pipetagem) para frações mais finas que 62  $\mu\text{m}$  (chamadas de silte e argila) e, peneiramento para frações mais grossas que 62  $\mu\text{m}$  (areia e grânulos), ambas baseadas em Suguio (1973).

A primeira etapa do procedimento analítico utilizado consistiu em deixar a amostra na estufa até sua secagem completa. A segunda etapa foi a desagregação a seco, feita com uso de um martelo de borracha.

Depois de finalizada a desagregação, procedeu-se a subamostragem da amostra em quarteador tipo Jones, até a redução da massa a aproximadamente 60 g (massa máxima recomendada para não saturar a dispersão aquosa em 1000 mL, nem sobrecarregar as peneiras).

Na seqüência, foi adicionada à amostra uma massa de pirofosfato de sódio, equivalente a 4 % do peso estimado de partículas siltico-argilosas. Este sal age como antifloculante, evitando que a argila fique agregada sob a forma de partículas maiores, o que alteraria o resultado final de distribuição granulométrica.

Em seguida, foi adicionada água destilada em quantidade suficiente para cobrir a amostra juntamente com o pirofosfato de sódio (cerca de 200 mL). A dispersão aquosa assim obtida foi, então, colocada em um béquer e homogeneizada por agitação mecânica, com o uso de um misturador de polpa à hélice (marca Fisatom, modelo 710).

O material disperso foi colocado em proveta de 1000 mL, destinada à realização do ensaio de decantação. No caso de amostras que ainda apresentaram material aglomerado, o mesmo precisou ser desagregado em almofariz de porcelana, com o auxílio de pistilo de borracha. O material só foi considerado completamente desagregado, quando a água adicionada ao mesmo se manteve limpa.

Toda a água utilizada no processo de desagregação foi juntada à anterior na mesma proveta, tomando cuidado para que o volume de água utilizado não ultrapassasse a capacidade volumétrica do recipiente (1000 mL). Para cada proveta foram numerados e pesados, previamente em balança analítica (precisão mínima de três dígitos), cinco béqueres de 50 mL, destinados a cada uma das faixas granulométricas a serem coletadas (intervalos abertos correspondentes às granulações menores que 62, 31,16, 8 e 4  $\mu\text{m}$ ).

Para programar os tempos de coleta de alíquotas por pipetagem, utilizou-se uma tabela padrão, elaborada de acordo com a lei de decantação de partículas em fluído estacionário, sem turbulência (lei de Stokes) (Suguio, 1973). A primeira e a segunda pipetagens foram feitas com a pipeta mergulhada 20 cm na dispersão,

enquanto as três últimas foram realizadas a 10 cm, para reduzir o tempo total de ensaio (2 h e 30 min para temperatura ambiente de 21 °C).

Os béqueres, com as respectivas alíquotas de pipetagem, foram colocados em estufa a 60 °C até que a água da dispersão evaporasse completamente, restando apenas o resíduo seco. Após o resfriamento dos béqueres, contendo os resíduos em dessecador, efetuou-se a pesagem, anotando-se as respectivas massas na ficha de controle do ensaio.

Posteriormente, a amostra restante na proveta foi submetida à elutriação, isto é, à lavagem para eliminação de finos ( $< 62 \mu\text{m}$ ). Este processo foi feito em um elutriador de funis utilizando água corrente em fluxo ascendente. Ao final da elutriação, a areia lavada foi filtrada a vácuo.

A areia foi, então, seca em estufa e depois peneirada com o auxílio de vibrador de peneiras. As peneiras devem obedecer à escala granulométrica de Wentworth-Krumbein (intervalos de  $0,5\phi$  ou  $-\log_2 dm_{\text{mm}}$ , onde  $dm$  é o diâmetro do grão expresso em mm). Cada faixa granulométrica foi pesada e armazenada em saquinho de papel.

Os dados obtidos (massas dos recipientes vazios e com amostras pipetadas, após a secagem, e a massa da amostra em cada faixa granulométrica de peneiramento) foram digitados em planilhas eletrônicas elaboradas no Laboratório de Sedimentologia do IGcUSP, que calculam a curva acumulativa e o histograma da distribuição granulométrica.

A partir dos resultados brutos de distribuição de frequências de classes granulométricas, foram calculados os quatro parâmetros estatísticos dos momentos, segundo a técnica analítica de Pearson (diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose) (Giannini, 1993). O Laboratório de Sedimentologia dispõe de programa específico para esse fim (Momento 4.123), elaborado por Giannini (1993). A última etapa de tratamento dos resultados granulométricos consistiu no lançamento destes parâmetros em gráficos de variação geográfica ao longo dos pontos amostrais, para inferência de transporte sedimentar e correlação com variáveis bióticas.

### 5.3.2 Análise geoquímica

#### 5.3.2.1 Teores de carbonato de cálcio

O procedimento analítico para obtenção dos teores de carbonato de cálcio foi realizado por meio de ataque ácido (HCl a 10%) e diferença de massa (Gross, 1971). A classificação dos sedimentos, segundo o conteúdo de carbonato biodetrítico, foi feita de acordo com a proposição de Larssonneur *et al.* (1982). Segundo este autor, sedimentos que apresentam menos de 30% de  $\text{CaCO}_3$  são



considerados litoclásticos; sedimentos com 30 a 50% de  $\text{CaCO}_3$  são classificados como litobioclásticos; sedimentos com 50 a 70% de  $\text{CaCO}_3$  são biolitoclásticos e sedimentos com mais de 70% são bioclásticos.

#### 5.3.2.2 Teores de carbono orgânico, nitrogênio total e enxofre total

O sedimento coletado para determinação dos componentes orgânicos foi congelado desde a coleta até o início do processo de secagem, para evitar ataque bacteriano. Posteriormente, o sedimento foi descongelado em estufa a 60 °C, pulverizado em moinho de ágata e subamostrado em duas porções. A primeira, destinada à análise do carbono orgânico, é submetida a ácido clorídrico (HCl) a 10% para a completa remoção do carbonato. A segunda porção, destinada à análise de nitrogênio, enxofre e fósforo totais, não foi tratada com HCl.

Os sedimentos sem carbonato de cálcio e os com carbonato foram, então, colocados em frascos cerâmicos separados e introduzidos em forno de combustão do analisador LECO®. CNS – 2000 (Elemental carbon, nitrogen and sulphur analyzer). Os gases gerados foram carreados para o analisador, com auxílio de bomba de vácuo, onde foram homogeneizadas e retiradas três alíquotas, utilizadas na análise. Os gases  $\text{CO}_2$  e  $\text{SO}_2$  foram medidos por meio de células de infravermelho e o gás  $\text{N}_2$  por sensor de termcondutividade.

A partir dos resultados obtidos nestas análises foi possível estimar a contribuição da matéria orgânica (M.O.) em cada amostra. Com base nos dados de carbono orgânico, nitrogênio total e enxofre total foram calculadas as razões C/N e C/S, que permitem fazer considerações sobre a origem da matéria orgânica e disponibilidade de oxigênio nos sedimentos, respectivamente. De acordo com Bader (1955), razões C/N com valores abaixo de 6 indicam matéria orgânica de origem marinha e, acima de 15 matéria orgânica de origem continental. Os valores intermediários indicam mistura de fontes marinha e continental. Altos valores de C/S indicam ambientes oxidantes, já baixos valores (<3%) indicam ambientes redutores (Borrego *et al.*, 1998).

#### 5.3.2.3 Teores de fósforo total, inorgânico e orgânico

Os ensaios de fósforo (total, inorgânico e orgânico) foram realizados no Centro de Estudos Químicos da UNIFIEO e suas determinações e especiação seguiram o método de Legg & Black (1955), no qual a amostra foi dividida em duas porções, sendo uma tratada em mufla a 240°C, durante 1 hora. As duas porções foram digeridas com alíquotas de 10mL de HCl, concentrado por 10 minutos, sob aquecimento a 70°C, e mais 10mL de HCl, concentrado por uma hora, a temperatura ambiente. Após filtração e diluição adequada com água desionizada,



foi feita a determinação do fósforo (P), utilizando um espectrofotômetro Shimadzu, modelo UV-1601 PC, acoplado a um sistema de análise por injeção em fluxo (Zagatto et. al., 1981). Por diferença dos resultados obtidos para a porção tratada em mufla (P-total) e a porção não tratada (P-inorgânico), obteve-se a proporção de P-orgânico nos sedimentos.

A partir dos resultados obtidos nestas análises foi possível, por meio das razões de carbono orgânico e fósforo total (C/P), estimar o tipo de matéria orgânica em cada amostra. Dependendo dos valores encontrados para as razões C/P, a matéria orgânica pode ser de origem: bacteriana - 0 a 106; marinha (fitoplâncton e zooplâncton) - 106 a 200; mista (marinha e continental) - 200 a 300 e continental - acima de 300 (Redfield *et al.*, 1963; Ruttenberg & Goñi, 1997)

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 DADOS HIDROGRÁFICOS**

#### **6.1.1 Batimetria, temperatura e salinidade**

A profundidade dos pontos amostrais variou de 3 a 17 m, e sua distribuição foi bastante heterogênea, sendo os pontos 1 e 5 os mais rasos e o ponto 9 o mais profundo (Anexos: Fig. 4, Tab. 1). Portanto, observa-se que há variação predominantemente do relevo do fundo de leste para oeste.

A temperatura da água variou de 22,1 a 22,7 °C (Anexos: Figs. 5A-C, Tab. 1). A menor temperatura foi observada no ponto 2 (fundo) e a maior no ponto 7 (superfície). Observa-se que no ponto 5, a temperatura da água de fundo foi a mesma das águas de meio e superfície, provavelmente devido a baixa profundidade deste ponto. A partir destes dados e dos valores de temperatura da coluna d'água para obtidos nos demais pontos, pode-se concluir que há fraca estratificação térmica na região estudada.

A salinidade associada à distribuição de temperatura também apresentou fraca estratificação, com valores oscilando entre 34,6 e 35,1 (Anexos: Figs. 6A-C, Tab. 1). Nas águas de meio e de fundo e, ligeiramente, nas superficiais, verificou-se pequena diminuição da salinidade de sudeste para noroeste.

Baseando-se nesses resultados é possível inferir que as condições pouco estratificadas da temperatura e da salinidade geraram estrutura de massa com pequena variação espacial. Além disso, constata-se que os valores termohalinos obtidos estão dentro do intervalo característico da Massa de Água Costeira ( $T > 20^{\circ}\text{C}$  e  $S < 35$ ) (Miranda, 1982) (Fig. 7). Portanto, os resultados da análise termohalina indicam que, o emissário não está alterando significativamente os parâmetros de temperatura e salinidade.

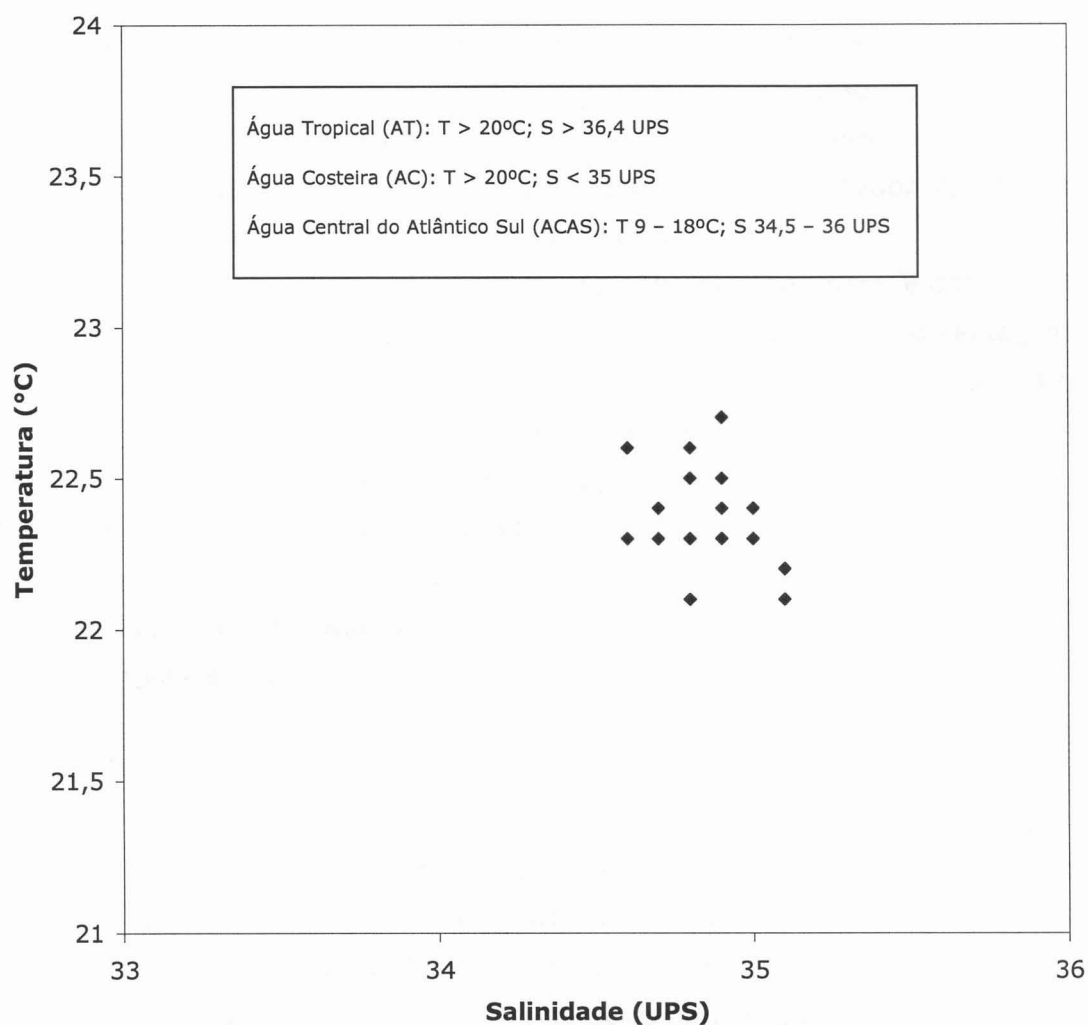


Figura 7 – Diagrama T-S dos pontos amostrais.

#### 6.1.2 Oxigênio dissolvido (OD) e pH

Valores de OD obtidos em águas impactadas por esgoto são indicações diretas da qualidade do corpo aquoso, uma vez que as plantas aquáticas produzem oxigênio, enquanto microorganismos o consomem, ao degradarem os poluentes. Quanto maior a demanda microbiana, menor a quantidade de OD no meio, ou seja, quando se tem pouco oxigênio, é provável que haja algum problema no ambiente (e.g., aporte de esgotos ou revolvimento do sedimento, por dragagens ou passagens de frentes frias, que liberam nutrientes para a coluna d'água).

As concentrações de OD variaram de  $6,33$  a  $7,61 \text{ mg L}^{-1}$  (Anexos: Fig. 8A-C, Tab. 1). Os maiores valores foram encontradas na superfície no ponto 5 ( $7,58 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Anexos: Fig. 8B e 8C, Tab. 1). Em todos os pontos amostrais, verificou-se decréscimo progressivo da concentração de OD da superfície para o fundo. Este padrão foi mais acentuado na região sudeste, principalmente no ponto 8 (Anexos:

Fig. 8C, Tab. 1). Comparativamente, as concentrações de OD encontradas no presente estudo são bem mais elevadas que as obtidas na Enseada do Araçá por Brasil Lima (1998), Além disso, todos os valores de OD estão dentro do limite estabelecido pelo CONAMA (2005) (i.e.,  $6 \text{ mg L}^{-1}$ ), o que permite inferir que o efluente ao ser lançado na coluna d'água está sendo remobilizado rapidamente, por correntes ou pela maré, provocando sua diluição.

Por outro lado, há uma outra explicação plausível para essas elevadas concentrações de OD, conforme discutido a seguir. Ao se calcular a porcentagem de saturação de OD das águas superficiais do entorno do emissário (i.e., a partir da equação da UNESCO, 1973), foram constatados valores indicativos próximos à saturação (85 a 90%). Esse resultado sugere alta atividade fotossintética do fitoplâncton. Considerando que as coletas foram realizadas em dia, com radiação solar intensa, o fitoplâncton, provavelmente, deve ter liberado mais oxigênio na água, provocando sua saturação. Esse excesso de OD favorece a degradação da matéria orgânica por organismos aeróbicos na coluna d'água. Portanto, os resultados obtidos para OD podem estar sendo mascarados pela elevada atividade fotossintética.

Com relação aos valores de pH, os mesmos apresentaram-se praticamente homogêneos para as águas de superfície, meio e fundo, variando de 8,17 a 8,24 (Anexos: Fig. 9A-C, Tab 1). De acordo com dados da literatura (Gross, 1990), os valores de pH são semelhantes aos de ambientes marinhos não poluídos e, também, estão dentro do valor estabelecido pelas normas do CONAMA (2005) (i.e., pH=8).

### 6.1.3 Turbidez

Como mencionado anteriormente, a turbidez se deve a partículas em suspensão ou colóides. Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Elevados valores de turbidez indicam grandes quantidades de partículas em suspensão, o que por sua vez, prejudicam a passagem da luz pela água, afetando diretamente a produtividade primária local (CETESB, 2005).

Os valores de turbidez obtidos variaram de 0,71 (água de fundo do ponto 1) a 4,30 NTU (água de superfície do ponto 5). Os menores valores de turbidez foram observados nas águas de meio e fundo, e os maiores na de superfície (Anexos: Fig. 10 e Tab. 1).

Segundo U.S.EPA (1999), o padrão para água potável é de 5 NTU. Para águas salinas não foram encontrados valores padrão. A baixa turbidez encontrada nas águas do entorno do emissário, provavelmente, está relacionada à

hidrodinâmica local, que dissipa a pluma de esgoto, bem como as drenagens incipientes que poderiam trazer material em suspensão. Estes resultados corroboram com as interpretações obtidas pelos dados de OD.

#### 6.1.4 Fenol

O fenol e seus derivados são encontrados em águas naturais após descargas de efluentes industriais. Indústrias de processamento da borracha, de colas e adesivos, de resinas impregnantes, de componentes elétricos (plásticos) e as siderúrgicas, entre outras, são responsáveis pela presença de fenóis nas águas naturais. O fenol é tóxico ao homem, aos organismos aquáticos e aos microrganismos.

Como apresentado na Tabela 1 (Anexos), para os pontos amostrais, todos os valores encontrados estão abaixo do limite de detecção do método analítico ( $0,001 \text{ mg L}^{-1}$ ), não ultrapassando o limite estabelecido pelo CONAMA (2005), que é de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ .

#### 6.1.5 Óleos e graxas

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Geralmente, essas substâncias são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. São raramente encontrados em águas naturais, normalmente oriundos de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, escoamento superficial de estradas e vias públicas.

A pequena solubilidade dos óleos e graxas constitui fator negativo no que se refere à sua degradação em unidades de tratamento de despejos por processos biológicos e, quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público, causam problemas no tratamento d'água. A presença de material graxo nos corpos d'água, além de acarretar problemas de origem estética, diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico. Dessa maneira, impedem a transferência do oxigênio da atmosfera para a água e, em seu processo de decomposição reduzem o oxigênio dissolvido, causando alteração no ecossistema aquático.

Em todos os pontos amostrais foram encontrados valores de até  $10 \text{ mg L}^{-1}$  (limite de detecção do método analítico do Laboratório de CETESB). Devido à deficiência do método analítico, esses resultados não são conclusivos, ou seja, estes valores podem estar acima ou não do permitido pelo CONAMA (2005) (Anexos: Tab. 1).

#### 6.1.6 Nitrogênio amoniacal

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes à vida mas, em geral, são muito escassos nas águas. Suas fontes principais são o ar (assimilado por algumas algas), adubos e matéria orgânica em decomposição. Nitrogênio amoniacal pode estar presente na água, em baixos teores, tanto na forma ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ) como na forma tóxica não ionizada ( $\text{NH}_3$ ), devido ao processo de degeneração biológica da matéria orgânica animal e vegetal.

O íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) é importante para os organismos produtores, porque sua absorção é energeticamente mais viável. Para este íon, não há necessidade de redução no interior da célula, como ocorre com o nitrato (outra forma de nitrogênio encontrada na água). O nitrato é a maior fonte de nitrogênio para os vegetais aquáticos (plantas superiores e algas microscópicas). Altas concentrações do íon amônio podem ter grandes implicações ecológicas, como por exemplo, influenciar a quantidade do oxigênio dissolvido na água, uma vez que para oxidar 1 mg do íon amônio são necessários cerca de 4,3 mg de oxigênio. Outra forma de ação pode ser em meio alcalino, no qual este íon se transforma em gás amônia que, dependendo da concentração, pode ser tóxico para os organismos aquáticos (e.g., peixes).

Portanto, quando se encontra elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal na água, pode-se dizer que esta é pobre em OD e que o ambiente deve ter muita matéria orgânica em decomposição. Além disso, altas concentrações de amônia em águas de superfície (acima de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ) podem ser indicação de contaminação por esgoto bruto, efluentes industriais, particularmente, de refinarias de petróleo ou do aporte de fertilizantes.

Segundo a tabela 1 (Anexos), as concentrações de nitrogênio amoniacal da área circunjacente aos difusores do emissário do Araçá não ultrapassaram o valor de  $0,03 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto 2). Na maioria dos pontos amostrais foi observado valor abaixo do limite de detecção do método analítico (i.e.,  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ ). Portanto, os valores encontrados estão todos dentro do limite estabelecido pelo CONAMA (i.e.,  $0,4 \text{ mg L}^{-1}$ ).

#### 6.1.7 Nitrogênio Kjeldahl (NK)

O NK é a soma dos nitrogênios orgânico e amoniacal. Ambas as formas estão presentes em detritos de nitrogênio orgânico, oriundos de atividades biológicas naturais. O NK total pode contribuir para a completa abundância de nutrientes na água e sua eutrofização. Os nitrogênios amoniacal e orgânico são importantes para avaliar o nitrogênio disponível para as atividades biológicas.

As concentrações de NK obtidas não foram maiores que  $0,46 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto 1, na água de superfície), predominando nos demais pontos concentrações

menores que o do limite de detecção do método analítico (i.e., 0,1 mg L<sup>-1</sup>) (Anexos: Tab. 1). Deve-se ressaltar que não foram encontrados na literatura, valores de referência para este parâmetro para águas marinhas.

#### 6.1.8 Ortofosfato

O ortofosfato representa a concentração de fósforo inorgânico presente nas águas naturais, normalmente encontrado na forma de íons  $\text{HPO}_4^{2-}$  ou  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , dependendo do pH. Estes se combinam com cátions metálicos, formando sais inorgânicos, sendo uma das principais formas de remoção desta espécie da coluna d'água.

O fósforo na forma de ortofosfato é a espécie mais biodisponível para assimilação pela biota. Uma vez assimilado, ele é convertido em fosfato orgânico ou condensado. Após a morte de um organismo, os fosfatos condensados são liberados na água. Entretanto, eles não estarão disponíveis para absorção biológica até que sejam mineralizados, por bactérias, para a forma inorgânica.

As concentrações de ortofosfato obtidas foram menores que o limite de detecção do método analítico (i.e., 0,01 mg L<sup>-1</sup>) (Anexos: Tab. 1), para todos os pontos amostrais, com exceção das águas de superfície do ponto 2 e do ponto 6, as quais foram de 0,02 e 0,03 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### 6.1.9 Fósforo total

O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de efluentes. Nestes, os detergentes que contêm fósforo em sua composição, utilizados em larga escala domesticamente, constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos por ser exigido em grandes quantidades pelas células. O excesso de fósforo proveniente de esgotos sanitários e efluentes industriais é o principal causador da eutrofização das águas naturais.

As concentrações de fósforo total avaliadas nos diversos pontos amostrais, foram menores que o limite de detecção do método analítico (i.e., 0,01 mg L<sup>-1</sup>) (Anexos: Tab. 1). Assim como para o ortofosfato, apenas nas águas de superfície dos pontos 2 e 6 encontraram-se concentrações da ordem de 0,02 e 0,03 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, indicando que todo o fósforo presente está na forma inorgânica.

Os valores obtidos estão dentro do limite estabelecido pelo CONAMA (2005) para águas marinhas (i.e., 0,062 mg L<sup>-1</sup>).

## 6.2 DADOS MICROBIOLÓGICOS

### 6.2.1 Coliformes Fecais e enterococos

O número de coliformes fecais variaram de 1 a 74 npm/100 mL, permanecendo dentro do padrão do CONAMA (2005), que é de 1000 npm/100 mL. (Anexos: Tab. 1). Estes resultados demonstram que o sistema de cloração da água servida, antes da disposição do efluente pelo emissário foi eficiente para a eliminação dos coliformes fecais.

Com relação às concentrações de enterococos, estas variaram de abaixo do limite de detecção do método analítico (i.e., 1 ufc/100 mL) a 60 ufc/100 mL, com as maiores concentrações localizadas na água de fundo do ponto 4 (Anexos: Tab. 1).

## 6.3. DADOS HIDROBIOLÓGICOS

### 6.3.1 Índice do estado trófico (IET)

A partir dos dados de clorofila-a e fósforo total dos pontos 1, 5, 7 e 9, foi possível calcular o IET, que por sua vez, permitiu avaliar o grau de enriquecimento do corpo d'água por nutrientes. Nos pontos 1, 5 e 7 foram obtidos valores maiores que 74, indicando ambiente hipereutrófico (Anexos: Tab. 4). Já no ponto 9, o IET variou de 54 a 74, indicando ambiente eutrófico (Anexos: Tab. 4). Esses resultados podem ser corroborados pelos dados de saturação do OD, que indicaram águas próximas à saturação. Portanto, a partir dos dados de saturação do OD e do IET é possível inferir que a região próxima aos difusores está excessivamente eutrofizada, o que a curto prazo pode comprometer o ecossistema local.

## 6.4 DADOS SEDIMENTOLÓGICOS

### 6.4.1 Granulometria

Segundo a classificação de Wentworth (1922) do diâmetro médio, a granulometria dos sedimentos variaram de silte grosso a areia média, com predominância de areia (Anexos: Fig. 11A). Já o grau de seleção segundo a classificação de Folk & Ward (1957) foram de muito pobremente selecionados a pobremente selecionados (Anexos: Fig. 11B). No ponto 10, ocorreu maior concentração de lama (silte+argila) na relação areia/lama. As maiores concentrações de areia ocorrem na região dos pontos 1 e 6 a oeste (Anexos: Figs. 11A, 11C; Tab. 2). Neste caso a tubulação do emissário pode funcionar como um anteparo físico, impedindo a deposição de sedimentos finos na região oeste. O fato



deve-se principalmente da diminuição de energia de fundo neste local mais protegido das correntes. Na região próxima aos difusores pode ocorrer aumento da turbulência da água, impedindo a deposição de finos. O restante do sedimento que não é classificado como areia e lama são os grânulos e suas concentrações variaram de 12,59% a ausente, nos pontos 9 e 5, respectivamente.

Segundo Furtado (1978), a deposição de sedimentos de granulometria variada como grossos a finos deve-se a variações hidrodinâmicas na região central do CSS (Figura 2). Por exemplo, em locais com características bastante enérgicas, há deposição preferencial de termos grossos (Ponta do Guaecá, porção sul do CSS), até condições calmas onde se depositam os finos. A granulometria encontrada pelo autor na região do Araçá foi semelhante à verificada nos pontos amostrais do presente estudo.

#### 6.4.2 Carbonato de cálcio

Os teores de carbonato de cálcio variaram entre 4,02 a 57,34 % (Anexos: Fig. 12; Tab. 2), sendo os maiores valores encontrados na porção sudeste e no ponto 2. Na média, segundo a classificação de Larssonneur *et al.* (1982), os pontos amostrais 1, 5, 6, 7 e 10 indicam ambiente de sedimentação litoclástica. Já nos pontos 2, 3 e 9 ocorre sedimentação litobioclástica e maior porcentagem de grânulos (8,71; 7,55 e 12,59% respectivamente). Somente no ponto 8, constata-se sedimento biolitoclástico, devido a grande concentração de conchas de moluscos. Neste ponto também foi observado menor concentração de grânulos (2,56%) em relação aos pontos 2, 3 e 9 (Anexos: Fig. 11 C). No ponto 4 devido à alta concentração de cascalho bioclástico não foi possível amostrar a fração fina do sedimento.

Os dados encontrados contrapõem a variação encontrada na região (20 a 25 %) no mapa de concentração de carbonato de cálcio realizado por Conti (1998). Essa diferença de variação pode ser explicada pela constante mudança da hidrodinâmica da região.

#### 6.4.3 Carbono orgânico

A quantidade de carbono orgânico no fundo dos mares depende das características sedimentológicas, da produtividade da coluna d'água, da degradação microbiana e das condições oceanográficas locais. A maioria das bacias oceânicas e mares abertos apresentam baixo conteúdo de carbono orgânico (< 0.5 %), enquanto que os sedimentos costeiros e plataforma externa são ricos nesse elemento, chegando até 4% (Barcellos, 2005).



As porcentagens de carbono orgânico encontradas nos sedimentos variaram de 0,10 a 3,37 % (Anexos: Fig. 13A; Tab. 3). As maiores porcentagens foram obtidas nos pontos 8 e 9 com valores de 3,31% e 3,37%, respectivamente. O menor valor foi encontrado no ponto 1 próximo aos difusores do emissário.

As porcentagens de carbono orgânico do entorno do emissário do Araçá são maiores que as obtidas próximas ao Porto de São Sebastião (1,66%; Barcellos & Furtado, 1999) e aos emissários da Baía da Guanabara (3,05%; Rebello *et al.*, 1988) e da Baía de Santos (2%; Teodoro, 2006). Este resultado indica que a região do Araçá está sofrendo intenso aporte de matéria orgânica.

#### 6.4.4 Nitrogênio

Romankevich (1984 *apud* Barcellos, 2005) estudou o conteúdo de nitrogênio orgânico em várias áreas do globo, e encontrou uma variação de menos de 0,01 a 1,22%. Para o autor, as concentrações de nitrogênio aumentam em direção às áreas costeiras, assim como o carbono orgânico.

Em ambientes marinhos, quantidades excessivas de N estimulam o crescimento do fitoplâncton e de algas, ocasionando florescimentos desordenados, como, por exemplo, as marés vermelhas.

Os resultados obtidos mostram pequena variação na porcentagem de nitrogênio da ordem de 0,01 a 0,10 % (Anexos: Fig. 13B). Os menores valores foram encontrados nos pontos 6 e 9, e o maior valor foi obtido no ponto 8.

#### 6.4.5 Enxofre

Segundo Ivanov (1981), o ciclo do S nos oceanos está diretamente ligado ao ciclo de outros elementos tais como C, O, Ca e diversos metais. Em sedimentos marinhos siliciclásticos normais, o S se encontra, principalmente, na forma de pirita detrítica ou autigênia, sendo em ambos os casos indicativo de condições anóxicas de deposição (Berner, 1984). Outra possível fonte diferenciada de S, para sedimentos marinhos, é de natureza antropogênica, como a impactação por petróleo (Berner, 1984).

As porcentagens de enxofre encontradas nos sedimentos variaram de 0,09 (ponto 6) a 0,46 % (ponto 10) (Anexos: Fig. 13C). Em relação aos demais pontos, o ponto 10 apresentou porcentagem bastante elevada de S. Cabe ressaltar que neste mesmo ponto obteve-se, também, a maior concentração de finos, indicando que pode estar ocorrendo a formação de FeS em provável ambiente redutor.

#### 6.4.6 Fósforo orgânico e inorgânico

Nos sedimentos, o fósforo é acumulado por adsorção a óxidos metálicos, especialmente nos óxidos de ferro (Sundby *et al.*, 1992). Em ambientes redutores, os sedimentos apresentam baixa capacidade de absorção fosfato, além de poder ocorrer a ressolubilização de precipitados como  $\text{FePO}_4$ , devido à redução dos íons  $\text{Fe(III)}$  a  $\text{Fe(II)}$ , com a liberação dos íons fosfato para coluna d'água. Com isso, fósforo se torna novamente disponível para assimilação pela biota. Portanto, o comportamento da dinâmica do fósforo em ambientes aquáticos é considerado de extrema importância para o ciclo de sedimentação em ambientes impactados (Wagener *et al.*, 1992; Carreira & Wagener, 1998).

Assim, parte do estudo em questão deu ênfase à especiação das espécies de fósforo (orgânico e inorgânico), visto esta ser fator importante para avaliar a mobilidade/labilidade deste elemento nos sedimentos.

Os resultados obtidos mostram que as maiores porcentagens de fósforo orgânico ocorreram nos pontos 8, 9 e 10 (Anexos: Fig. 14A; Tab. 3), e as de fósforo inorgânico nos pontos 7, 8 e 9 (Anexos: Fig. 14B; Tab. 3). Observa-se que estes pontos são os mais distantes dos difusores do emissário submarino, aumentando as porcentagens nas regiões sudeste (P-orgânico) e sudeste (P-inorgânico).

Comparando-se o fósforo orgânico com os dados de carbono orgânico, constata-se que as maiores porcentagens de carbono orgânico também ocorrem nos pontos da região sudeste.

Em relação às porcentagens de fósforo total (Anexos: Fig. 14C; Tab. 3) encontradas nos sedimentos da região circunjacente ao emissário submarino do Araçá, verifica-se que esta é bastante elevada quando comparada a outras regiões, como os da Baía de Santos (0,06 %; Teodoro, 2005) e a Baía de Guanabara (0,13 %; Carreira, 1994) que são considerados ambientes extremamente poluídos.

#### 6.4.7 Razão C/N

Os resultados das razões C/N indicam que a matéria orgânica dos pontos 2, 3, 5, 8, 9 e 10 é de origem continental; nos pontos 1 e 7 de origem marinha, e do ponto 6 de origem mista (Anexos: Fig. 15A; Tab. 3).

A concentração de matéria orgânica de origem continental poderia estar relacionada ao emissário submarino, ao porto de São Sebastião e ao TEBAR (Terminal Almirante Barroso), bem como ao escoamento superficial das terras adjacentes, durante períodos mais chuvosos.

#### 6.4.8 Razão C/P

Os valores observados para as razões C/P variam de 4 a 105 (Anexos: Tab. 3). Todos os pontos amostrais indicaram que a matéria orgânica é de origem bacteriana. (Anexos: Fig. 15B; Tab. 3). Como discutido anteriormente, elevados valores de concentração de nutrientes no sedimento propiciam crescimento populacional de bactérias anormal.

#### 6.4.9 Razão C/S

Os valores encontrados para as razões C/S variam de 0,84 a 19,94 (Anexos: Fig. 15C; Tab. 3). Na maior parte dos pontos os valores indicam ambiente anóxico. Somente no pontos 8 e 9 foi possível observar um ambiente oxidante e nos pontos 2 e 10 com tendências redutoras.

A baixa dinâmica de correntes na área (Barcellos & Furtado, 1999), associada ao aporte de matéria orgânica oriunda do emissário podem estar transformando o local dos difusores em um ambiente anóxico.

## CONCLUSÕES

- 1) Os valores de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH distribuíram-se quase que homogeneamente ao longo da coluna d'água. Em poucos pontos amostrais, foi constatada fraca estratificação termohalina, com águas ligeiramente mais quentes e menos salinas na superfície e frias, salinas e menos oxigenadas no fundo.
- 2) Os valores de nitrogênio e fósforo da água estão dentro do limite estabelecido pelo CONAMA (2005), indicando que o padrão hidrodinâmico local pode estar dispersando o efluente.
- 3) Os valores de óleo e graxa da água foram inconclusivos, devido ao método analítico utilizado pela CETESB.
- 3) Praticamente não foram encontrados coliformes fecais e enterococos na água, indicando que o sistema de pré-condicionamento do efluente foi eficiente neste aspecto.
- 4) Os resultados hidroquímicos e microbiológicos indicaram que a coluna d'água não estava contaminada pelo esgoto, no momento da amostragem, pois todos os valores obtidos estavam dentro dos limites exigidos pela legislação do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Contudo, deve ser ressaltado que essa legislação não é específica para controle de lançamento de esgotos domésticos por meio de emissários, ou seja, vários parâmetros importantes não são priorizados pelas resoluções nº 274/2000 e a nº 357/2005. Por exemplo, a partir da profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, dos teores de clorofila-a e de fósforo total da água foi calculado o Índice do Estado Trófico, o qual indicou que a coluna d'água do Araçá está hipereutrofizada, o que, no futuro pode comprometer o ecossistema local.
- 5) Com o estudo do sedimento foi possível verificar que este é basicamente constituído por cascalho biodetrítico e areias finas a muito finas. Como também é rico em matéria orgânica tanto de origem continental como marinha.
- 6) Os valores elevados de nutrientes indicaram que os sedimentos da região circunjacente ao emissário estão em franco processo de eutrofização.

7) A maior parte dos dados geoquímicos indicou que a pluma de esgoto está se dissipando na direção sul-sudeste, provavelmente dispersada pelas correntes da região mais profunda do Canal de São Sebastião. As maiores porcentagens de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo (orgânico e inorgânico) encontradas nos sedimentos dos pontos desta mesma região, confirmam esta suposição, pois podem estar ocorrendo reações na coluna d'água durante o processo de dissipação da pluma de esgoto, removendo estas espécies da coluna d'água para os sedimentos.

8) Ao se comparar os parâmetros hidroquímicos e biológicos com os sedimentológicos, constatou-se a importância destes últimos, pois os sedimentos representam o depósito final do material particulado e dos poluentes a eles associados, registrando, em caráter mais permanente, a contaminação à qual o ecossistema aquático está sendo submetido. Diante do exposto, sugere-se a CETESB que estudos de monitoramento de sedimento sejam também incorporados em suas avaliações de qualidade ambiental de áreas impactadas por emissários.

9) Para melhorar a aferição da estatística espacial de distribuição dos dados sedimentológicos, sugere-se que a CETESB aumente os pontos amostrais em torno do emissário para uma melhor precisão de coleta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. 1976. *The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 48: 15-26.
- BADER, R. G. 1955. *Carbon and nitrogen relations in surface and subsurface marine sediments*. Geochimica Cosmochimica Acta, 7 (5/6):205-211.
- BARCELLOS, R. L. 2005. Distribuição da matéria orgânica sedimentar e o processo sedimentar atual no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP). 2005. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, v.1, 89 p.
- BARCELLOS, R. L. & FURTADO, V. V. 1999. Processo sedimentar atual e a distribuição de carbono e nitrogênio orgânicos no Canal de São Sebastião (SP) e Plataforma Continental adjacente. Revista Brasileira de Oceanografia, 47:207-221.
- BARCELLOS, R. L. & FURTADO, V. V. 2001. Caracterização dos componentes da fração arenosa (0,500 mm/ 0,250 mm) no Canal de São Sebastião. Pesquisas em Geociências, 28:35-51.
- BERNER, R. A. 1984. *Sedimentary pyrite formation: an update*. Geochim. Cosmochim. Acta: 48: 605-615.
- BORREGO, J; LOPEZ, M.; PENDON, J. G.; MORALES, J.A., 1998. *C/S ratios in estuarine sediments of the Odiel River-mouth*. S. W. Spain. Journal of Coastal Research. Vol 14(4): 1276-1283.
- BRASIL LIMA, G. M. S. de S. 1998. Efeitos do efluente doméstico do emissário submarino de São Sebastião (SP), sobre o fitoplâncton marinho: estudos de campo e de laboratório. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 160p.
- CARLSON, R. E. 1977. *A trophic state index for lakes*. Limnol. And Oceanogr., 22:361-369.
- CARREIRA, R., 1994. Carbono orgânico e especiação do fósforo em sedimentos da área de influência do Emissário Submarino de Esgotos de Ipanema (ESEI). Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 100p.
- CARREIRA, R. S. & WAGENER, A. L. R. 1998 *Speciation of sewage derived phosphorus in coastal sediments from Rio de Janeiro, Brazil*. Marine Pollution Bulletin, 36: 818-827.
- CASTRO-FILHO, B. M. 1990. *Wind driven currents in the channel of São Sebastião: winter, 1979*. Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo, 38: 111-132.
- CETESB. 2005. Qualidade das águas litorâneas no estado de São Paulo: Balneabilidade das praias 2004/CETESB. São Paulo:CETESB, 331p.
- CONAMA. 2005. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. Resolução Nº357.
- CONTI, I. A. 1998. Aplicação de técnicas de geoprocessamento na caracterização de aspectos morfosedimentares do Canal de São Sebastião, Litoral Norte do Estado



de São Paulo. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ESTEVES, F. A. 1988. Fundamentos de Limnologia. Interciência/FINEP. Rio de Janeiro, 575p.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. 1957. *Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journal of Sedimentary Petrology, 27: 3-27.

FONTES, R. F. C. 1995. As correntes no canal de São Sebastião. Dissertação (Mestrado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FUNDESPA. 1999. Levantamento oceanográfico da área diretamente afetada por efluentes dos emissários submarinos de esgotos da SABESP, entre os municípios de São Sebastião e Mongaguá, estado de São Paulo. Relatório final. São Paulo: Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas. 2v.

FURTADO, V. V. 1978. Contribuição ao estudo da sedimentação atual no Canal de São Sebastião Estado de São Paulo. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2v.

FURTADO, V. V. 1995. Sedimentação quaternária no Canal de São Sebastião. Publicação Especial Instituto Oceanográfico da USP, São Paulo, 11: 27 – 35.

GIANNINI, P. C. F. 1993. Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaquaruna e Imbituba, SC. Tese (Doutoramento) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2 v., 2 mapas, 439 p.

GROSS, M. G. 1990. *Oceanography: A view of the Earth*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. New Jersey. 441p

GROSS, M. G. 1971. *Carbon determination*. In: Carver, R. E. (Ed.), *Procedures in sedimentary petrology*. New York:Wiley. p. 573-596.

HAYNES, D.; LEEDER, J. & RAYMENT, P. A 1997. *comparison of the bivalve species Donax deltoides and Mytilus edulis as monitors of metal exposure from effluent discharges along the Ninety Mile Beach, Victoria, Australia*. Marine Pollution Bulletin, 34: 326-331.

HERSHELMAN, G. P.; SCHAFER, H. A.; JAN, T. -K. & YOUNG, D. R. 1981. *Metals in marine sediments near a large California municipal outfall*. Marine Pollution Bulletin, 12(4): 131-134.

IVANOV, M. V. 1981. *The global biogeochemical sulphur cycle*. In: Likens, G. E. 1981. (org); *Some perspectives of major biogeochemical cycles (SCOPE)* (ICSU), New York.

LEGG J O. & BLACK C A. 1955. *Determination of organic phosphorus in soils: II. Ignition method*. Soil Science Society of America Proceedings 19:139-143.

LARSSONEUR, C.; BOUYASSE, P.; AUFRET & J.P., 1982. *The Superficial Sediments of The English Channel and its Western Approach*. Sedimentology, 19 (6): 851-864.

MAHIQUES, M. M. ; FURTADO, V. V. & TESSLER, M. G. 1989. *Origin and evolution of isolated depressions on the coastal region of São Paulo and Rio de Janeiro states*. Special publication of International Symposium on Global Changes in

*South America during the Quaternary: past-present-future*, São Paulo. Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. 1: 285-288.

- MARCELLINO, E. B. 2000. Sistematização dos projetos de emissários submarinos da SABESP e avaliação de desempenho através do modelo computacional CORMIX. 272p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MIRANDA, L. B. 1982. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) e Ilha de São Sebastião (SP). Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 125p.
- MIRANDA, L. B. & CASTRO-FILHO, B. M. 1995. Variabilidade da circulação e do transporte de volume no Canal de São Sebastião (SP): outono de 1980. Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, São Paulo, 11:1-9.
- OSÓRIO, L.K.V. & OLIVEIRA, W. 2001. Polifosfatos em detergentes em pó comerciais. Química Nova. São Paulo, v. 24, n. 5, p. 700-708.
- REBELLO, A. L., PONCIANO, C. R & MELGES, L. H. 1988. Avaliação da produtividade primária e da disponibilidade de nutrientes na Baía de Guanabara. Anais da Academia Brasileira de Ciências 60:419-430.
- REDFIELD, A. C.; KETCHUM, B. H. & RICHARDS, F. A. 1963. *The influence of organisms on the composition of the sea water*. In: Hill, M. N. (Ed.), *The Sea*, vol 2. New York, pp. 26-77.
- RUTTENBERG, K. C. & GOÑI, M. A. 1997. *Phosphorus distribution, C:N:P: Ratios, and  $\delta^{13}\text{C}$  in Arctic, temperate and tropical coastal sediments*. Tolls for characterizing bulk sedimentary organic matter. Marine Geology, vol. 139:132-145.
- STOKER, H. S. 1989. *Chemistry, a science for today*. London: MacMillan. 570p.
- SUGUIO, K. 1973. Introdução à Sedimentologia. São Paulo: Editora Edusp. 317pp.
- SUNDBY, B.; GOBEIL, C.; SILVERBERG, N. & MUCCI, A., 1992. *The phosphorus cycle in coastal sediments*. Limnology and Oceanography 37, 1129-1145.
- TEODORO, A. C. 2006. Estudo hidrogeoquímico, sedimentológico e de foraminíferos em áreas de Baixada Santista, SP, submetidas a disposição oceânica de esgotos. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 166p.
- TOLEDO, A. P. de; TALARICO, N.; CHINEZ, S. J. & AGUDO, E. G. 1983. Aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. Anais 12º Congresso Brasileiro de engenharia Sanitária e ambiental. CETESB, p. 1-34.
- UNESCO. 1973. *Internacional Oceanographic Tables*. Wormley 2, 141p
- U.S. Environmental Protection Agency, 1999. *Guidance manual for compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule— Turbidity provisions*: Washington, D.C., U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA 815-R-99-010, variously paged.



WAGENER, A. L. R.; BOUCH, C.; MELGES-FIGUEIREDO, L.H.; CARREIRA, R. & WAGENER, K., 1992. *Environmental impact on coastal waters off Rio de Janeiro due to sewage discharge via submarine outfall*. Chemistry and Ecology 6:19-39.

WENTWORTH, C. K. 1922. *A scale of grande and class terms for clastics sediments*. Journal of Geology, 30 (1):377-392.

WERME C & HUNT C. D. 2004. *Outfall monitoring overview*. Boston: Massachusetts Water Resources Authority. Report 13. 97p.

ZAGATTO, E.A.G.; JACINTHO, A.O.; REIS, B.F.; KRUG, F.J.; BERGAMIN FILHO, H.; PESSEDA, L.C.R.; MORTATTI, J. & GINÉ, M.F. 1981. Manual de análises de plantas e águas empregando sistemas de injeção em fluxo. Piracicaba: Universidade de São Paulo, CENA/Seção de Química Analítica. 45p.

De acordo,



Silas Gubitoso

Aluno



Wânia Duleba

Orientadora, sob supervisão da comissão de formatura do IGcUSP



Silvio Miranda Prada

Co-Orientador, sob supervisão da comissão de formatura do IGcUSP

São Paulo, 14 de novembro de 2006

# Anexos

Pontos Amostrais	Latitude	Longitude	Hora da Coleta	Profundidade (m)	Disco de Secchi (m)	Temperatura da água (°C)	Salinidade (UPS)	Oxigênio dissolvido (mg.l <sup>-1</sup> )	pH	Turbidez (NTU)	Fenol (mg/L)	Óleo e graxas
<b>CONAMA 357/2005</b>							≥ 30	6	6,5 a 8,5		5	ausente
<b>1</b>	-23,81933	-45,4037	09:45	Superfície (0)	2,6	22,3	34,8	7,19	8,17	1,50	<0,001	<10
			09:47	Meio (2)		22,3	34,8	7,19	8,18	1,70	<0,001	X
			09:48	Fundo (3)		22,3	34,7	7,16	8,18	1,80	<0,001	X
<b>2</b>	-23,8198	-45,4037	10:00	Superfície (0)	2,4	22,3	34,6	7,17	8,19	2,00	<0,001	<10
			10:04	Meio (4)		22,3	34,8	7,13	8,20	1,90	<0,001	X
			10:09	Fundo (9)		22,1	34,8	6,92	8,20	1,3	<0,001	X
<b>3</b>	-23,8198	-45,40325	10:50	Superfície (0)	2,6	22,4	34,70	7,09	8,21	2,00	<0,001	<10
			10:56	Meio (6)		22,3	34,80	7,19	8,21	1,2	<0,001	X
			11:02	Fundo (12)		22,5	34,90	7,16	8,22	0,71	<0,001	X
<b>4</b>	-23,8187	-45,403	11:05	Superfície (0)	x	22,4	34,70	7,00	8,21	2,40	<0,001	<10
			11:11	Meio (6)		22,3	34,80	7,15	8,21	1,3	<0,001	X
			11:17	Fundo (12)		22,4	34,90	7,04	8,21	1,1	<0,001	X
<b>5</b>	-23,8198	-45,40405	11:20	Superfície (0)	1,5	22,6	34,80	7,58	8,23	4,30	<0,001	<10
			11:22	Meio (2)		22,6	34,80	7,60	8,23	4	<0,001	X
			11:23	Fundo (3)		22,6	34,80	7,60	8,18	4	<0,001	X
<b>6</b>	-23,8198	-45,40438	12:00	Superfície (0)	1,5	22,6	34,60	7,34	8,21	3,70	<0,001	<10
			12:04	Meio (4)		22,6	34,80	7,15	8,22	3,80	<0,001	X
			12:08	Fundo (8)		22,3	34,90	6,89	8,21	1,9	<0,001	X
<b>7</b>	-23,8198	-45,40492	14:25	Superfície (0)	1,7	22,7	34,90	7,34	8,21	2,20	<0,001	<10
			14:29	Meio (4)		22,5	34,80	7,01	8,21	1,90	<0,001	X
			14:35	Fundo (9)		22,4	35,00	6,67	8,20	1,7	<0,001	X
<b>8</b>	-23,8198	-45,4037	14:45	Superfície (0)	2,2	22,5	34,90	7,25	8,23	1,50	<0,001	<10
			14:50	Meio (5)		22,5	34,90	7,16	8,22	1,4	<0,001	X
			14:56	Fundo (11)		22,1	35,10	6,33	8,18	1,5	<0,001	X
<b>9</b>	-23,8198	-45,40237	15:21	Superfície (0)	x	22,6	34,80	7,35	8,24	1,5	<0,001	<10
			15:29	Meio (8)		22,4	35,00	7,05	8,21	0,95	<0,001	X
			15:41	Fundo (17)		22,2	35,10	6,53	8,20	1,2	<0,001	X
<b>10</b>	-23,8198	-45,40237	15:55	Superfície (0)	1,7	22,5	34,80	7,28	8,22	1,90	<0,001	<10
			16:01	Meio (6)		22,4	34,90	7,21	8,22	2,3	<0,001	X
			16:08	Fundo (13)		22,3	35,00	7,02	8,22	1,8	<0,001	X

Tabela 1 - Parâmetros hidrográficos obtidos em área circunjacente ao emissário submarino do Araçá. Dados fornecidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).  
X - amostras não coletadas.

Pontos Amostrais	Latitude	Longitude	Hora da Coleta	Profundidade (m)	Nitrogênio amoniacal (mg.l <sup>-1</sup> )	Nitrogênio Kjeldahl total (mg.l <sup>-1</sup> )	Orto-fosfato (mg.l <sup>-1</sup> )	Fósforo total (mg.l <sup>-1</sup> )	Coliforme Fecal (NMP/100ml)	Enterococos (UFC/100ml)	Clorofila - A
CONAMA 357/2005					0,4			0,062	1000		
1	-23,81933	-45,4037	09:45	Superfície (0)	<0.01	0,46	<0.01	<0.01	50	24	X
			09:47	Meio (2)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	22	10	0,4
			09:48	Fundo (3)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	34	28	0,545
2	-23,8198	-45,4037	10:00	Superfície (0)	0,03	0,46	0,02	0,02	34	32	X
			10:04	Meio (4)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	68	40	X
			10:09	Fundo (9)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	74	56	X
3	-23,8198	-45,40325	10:50	Superfície (0)	<0.01	0,21	<0.01	<0.01	5	3	X
			10:56	Meio (6)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	42	30	X
			11:02	Fundo (12)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	72	60	X
4	-23,8187	-45,403	11:05	Superfície (0)	<0.01	0,12	<0.01	<0.01	14	12	X
			11:11	Meio (6)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	14	10	X
			11:17	Fundo (12)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	12	6	X
5	-23,8198	-45,40405	11:20	Superfície (0)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	2	<1	0,27
			11:22	Meio (2)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	14	6	0,8
			11:23	Fundo (3)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	10	8	X
6	-23,8198	-45,40438	12:00	Superfície (0)	0,02	0,18	0,03	0,03	4	2	X
			12:04	Meio (4)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	32	28	X
			12:08	Fundo (8)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	28	12	X
7	-23,8198	-45,40492	14:25	Superfície (0)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	6	4	0,27
			14:29	Meio (4)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	10	8	0,53
			14:35	Fundo (9)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	3	2	X
8	-23,8198	-45,4037	14:45	Superfície (0)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	2	<1	X
			14:50	Meio (5)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	1	1	X
			14:56	Fundo (11)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	4	3	X
9	-23,8198	-45,40237	15:21	Superfície (0)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	4	2	0,8
			15:29	Meio (8)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	1	1	<0,01
			15:41	Fundo (17)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	X	X	X
10	-23,8198	-45,40237	15:55	Superfície (0)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	3	2	X
			16:01	Meio (6)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	6	2	X
			16:08	Fundo (13)	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	8	6	X

Tabela 1 (Cont.) - Parâmetros hidrográficos obtidos em área circunjacente ao emissário submarino do Araçá. Dados fornecidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

X - amostras não coletadas.

Ponto Amostral	D. Médio (Φ)	Classificação Wentworth (1922)	Desvio Padrão (Grau de seleção)	Classificação Folk & Ward (1957)
1	2,44	areia fina	2,21	muito pobremente selecionado
2	2,16	areia fina	2,82	muito pobremente selecionado
3	2,98	areia fina	3,17	muito pobremente selecionado
5	3,99	areia muito fina	1,61	pobremente selecionado
6	2,19	areia fina	2,26	muito pobremente selecionado
7	3,53	areia muito fina	2,75	muito pobremente selecionado
8	1,81	areia média	2,19	muito pobremente selecionado
9	2,27	areia fina	3,00	muito pobremente selecionado
10	4,12	silte grosso	1,96	pobremente selecionado
1A	4,39	silte grosso	1,83	pobremente selecionado

Ponto Amostral	Grânulos (%)	A. Mto Grossa (%)	A. Grossa (%)	A. Média (%)	A. Fina (%)	A. Mto Fina (%)	AREIA TOTAL (%)	Silte	Argila	LAMA TOTAL (%)	CaCO3 (%)	Classificação Larssonneur (1982)
1	3,85	6,73	15,21	18,28	18,74	23,72	82,68	9,38	4,09	13,47	25,9	Litoclástico
2	8,71	14,61	18,34	14,36	12,82	13,13	73,25	11,23	6,82	18,04	42,6	Litobioclástico
3	7,55	9,85	19,71	8,51	8,32	14,63	61,03	20,98	10,45	31,43	31,7	Litobioclástico
5	0,00	0,37	0,48	1,48	7,21	67,56	77,10	17,10	5,80	22,90	4,0	Litoclástico
6	3,14	11,66	18,16	16,81	16,82	22,09	85,54	7,11	4,21	11,32	24,5	Litoclástico
7	1,60	11,39	8,00	5,96	6,18	37,75	69,28	18,68	10,43	29,12	10,0	Litoclástico
8	2,56	11,91	35,48	15,28	5,06	12,28	80,00	15,25	2,19	17,44	57,3	Biolitoclástico
9	12,59	18,45	14,42	9,86	5,68	10,37	58,79	21,95	6,67	28,63	36,2	Litobioclástico
10	0,36	0,36	4,52	10,46	10,10	20,96	46,40	47,77	5,47	53,24	21,5	Litoclástico
1A	0,00	0,09	2,34	4,74	9,48	28,41	45,06	48,80	6,14	54,94	18,6	Litoclástico

Tabela 2 Parâmetros sedimentológicos obtidos em área circunjacente ao emissário submarino do Araçá.

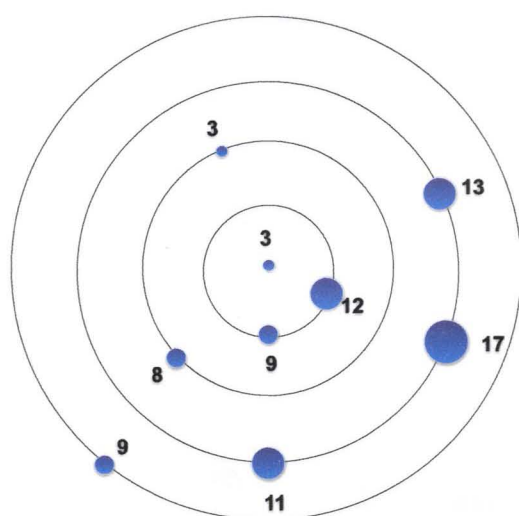
Ponto Amostral	Corgânico	H total	N total	S total	P total	P orgânico	P inorgânico	Razão C/N	Classificação	Razão C/S	Classificação	Razão C/P	Classificação
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(origem da M.O.)	(Bader, 1955)	Oxi-redução	Stein (1991)	(origem M.O.)	Ruttenberg & Goñi (1997)
1	0,12	0,15	0,05	0,11	0,0833	0,0024	0,0810	2,40	Marinho	1,11	Redutor	50	Bacteriano
2	0,62	0,16	0,04	0,13	0,1022	0,0083	0,0939	15,50	Continental	4,96	Tendência redutora	75	Bacteriano
3	0,33	0,07	0,01	0,18	0,1117	0,0204	0,0913	33,00	Continental	1,88	Redutor	16	Bacteriano
5	0,38	0,03	0,02	0,19	0,0689	0,0110	0,0579	19,00	Continental	1,99	Redutor	34	Bacteriano
6	0,14	0,12	0,01	0,09	0,1059	0,0126	0,0932	14,00	Misto	1,65	Redutor	11	Bacteriano
7	0,10	0,09	0,03	0,12	0,1516	0,0240	0,1276	3,33	Marinho	0,84	Redutor	4	Bacteriano
8	3,31	0,13	0,10	0,17	0,1817	0,0315	0,1502	33,10	Continental	19,94	Oxidante	105	Bacteriano
9	3,37	0,09	0,01	0,20	0,1922	0,0331	0,1591	40,75	Continental	16,68	Oxidante	102	Bacteriano
10	1,49	0,38	0,04	0,46	0,1353	0,0528	0,0825	37,25	Continental	3,24	Tendência redutora	28	Bacteriano

Tabela 3 Parâmetros geoquímicos dos sedimentos obtidos em área circunjacente ao emissário submarino do Araçá.

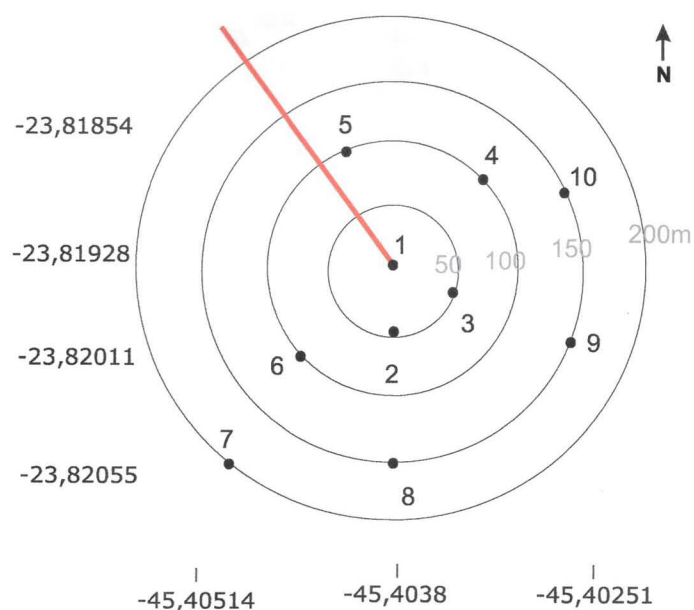
Pontos Amostrais	Superfície				Meio			
	1	5	7	9	1	5	7	9
IET (Secchi – S)	63,5433	71,4788	69,6731	X	-	-	-	-
IET (P)	56,5041	56,5041	56,5041	56,5041	56,5041	56,5041	56,5041	56,5041
IET (CI)	117,2055	113,2646	113,2646	124,1555	120,3070	124,1555	120,0272	80,2181
IET ((IET – S)+(IET – P)+(IET – CI)/3) ou IET ((IET – P)+(IET – CI)/2))	86,8548	84,8844	84,8846	90,3298	88,4056	90,3298	88,2656	68,3611

Tabela 4 Parâmetros hidrobiológicos obtidos em área circunjacente ao emissário submarino do Araçá. Dados fornecidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). X – Dado não coletado.

### Profundidade (m)



- 3,0 - | 6,5
- 6,5 - | 10,0
- 10,0 - | 13,5
- 13,5 - | 17,0



- 1 Ponto Amostral
- Emissário Submarino

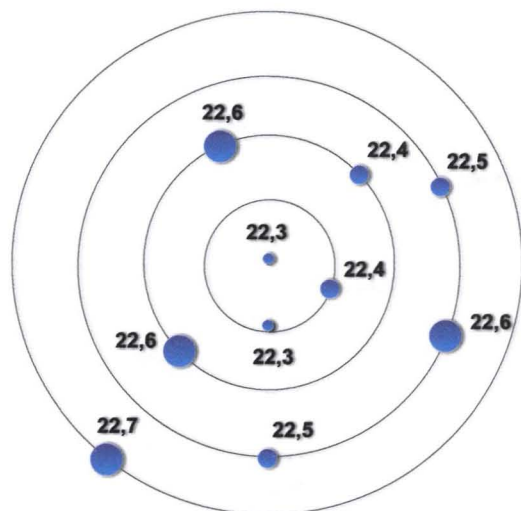
Figura 4 - Dados batimétricos em metros da região circunjacente ao emissário submarino de esgoto do Araçá - São Sebastião.



# Temperatura (°C)

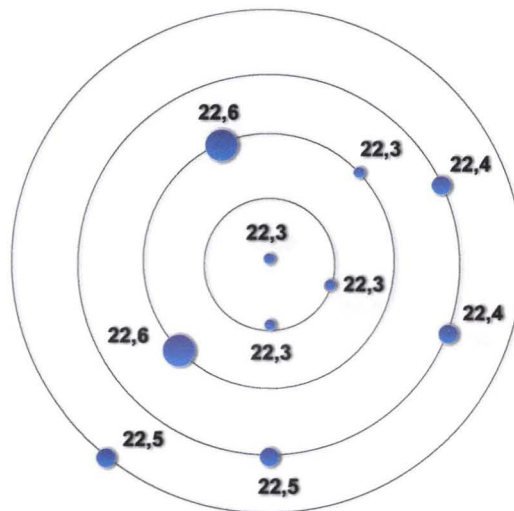
## Superfície

A)



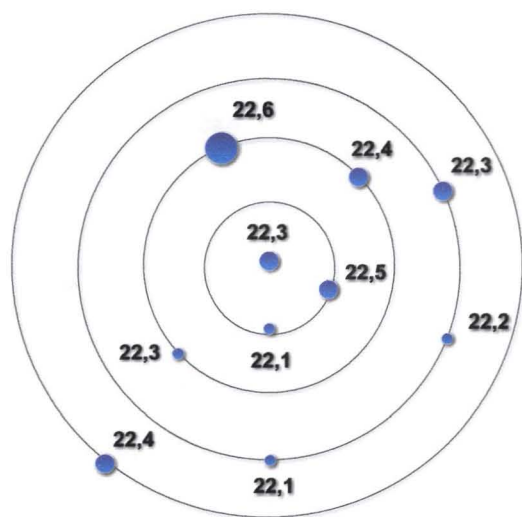
## Meio

B)



## Fundo

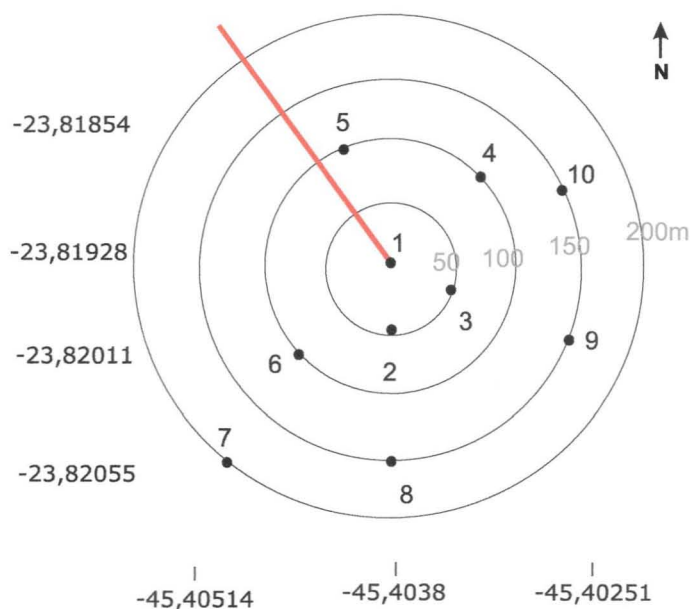
C)



• 22,1 -| 22,3

• 22,3 -| 22,5

• 22,5 -| 22,7



• 1 Ponto Amostral

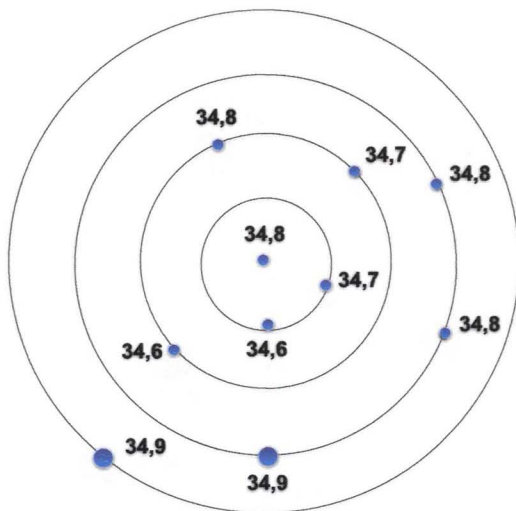
— Emissário Submarino

Figura 5 - Valores de temperatura em °C A) da superfície, B) do meio e C) do fundo da coluna d'água da região circunjacente ao emissário submarino de esgoto do Araújo, São Sebastião.

# Salinidade (UPS)

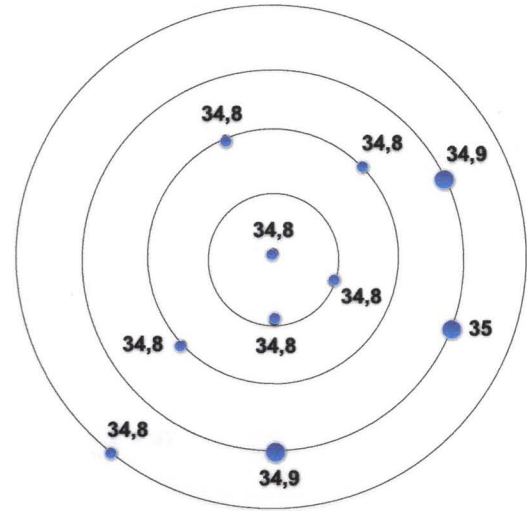
## Superfície

A)



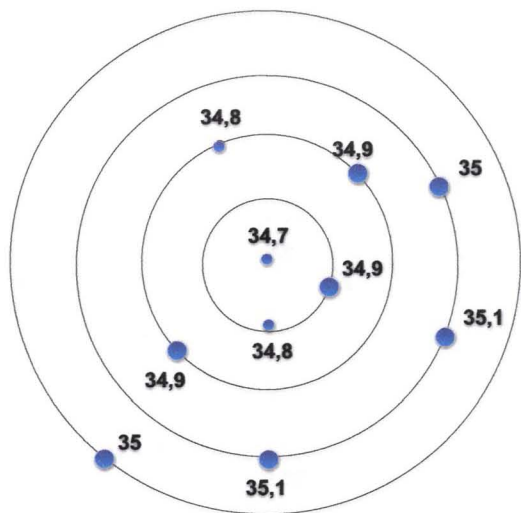
## Meio

B)

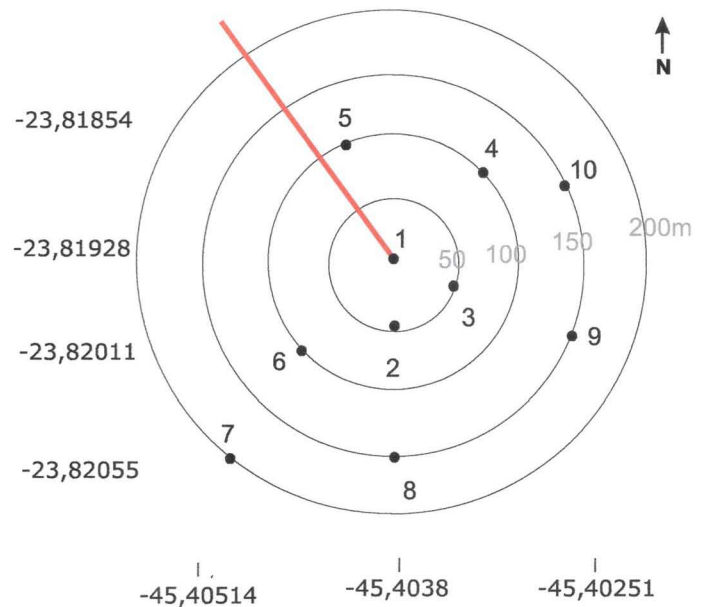


## Fundo

C)



- 34,60 - | 34,85
- 34,85 - | 35,10



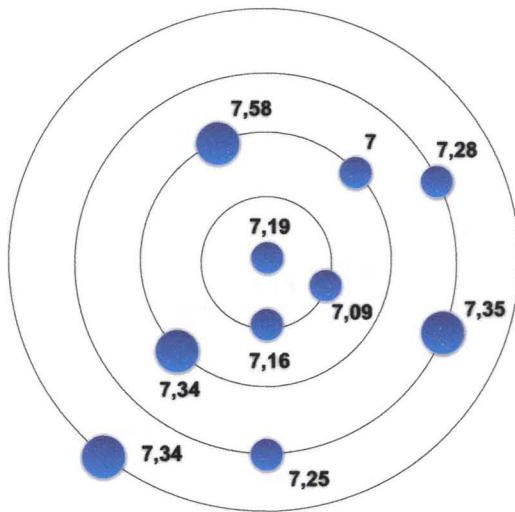
- 1 Ponto Amostral
- Emissário Submarino

Figura 6 - Valores de salinidade em UPS A) da superfície, B) do meio e C) do fundo da coluna d'água da região circunjacente ao emissário submarino de esgoto do Araçá - São Sebastião.

# Oxigênio ( $\text{mg L}^{-1}$ )

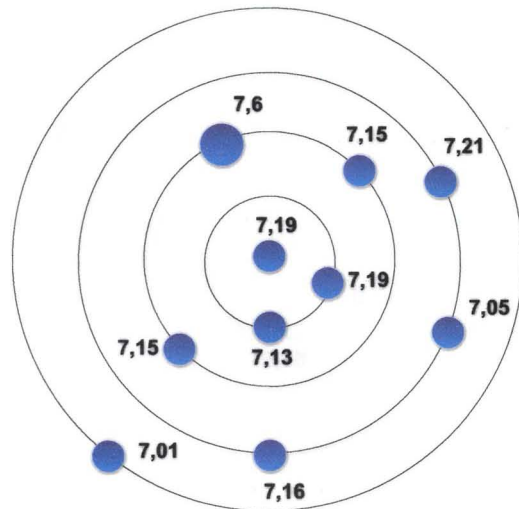
## Superfície

A)



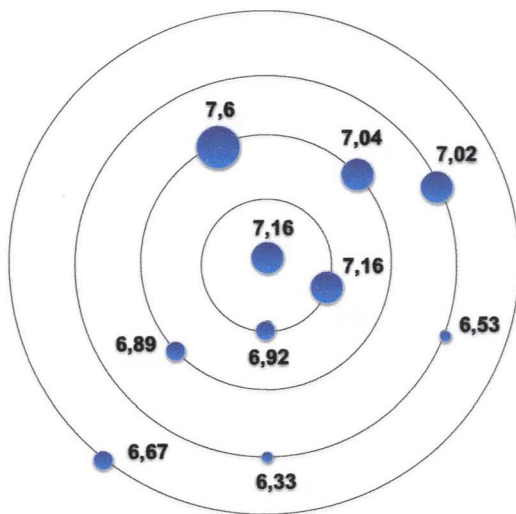
## Meio

B)

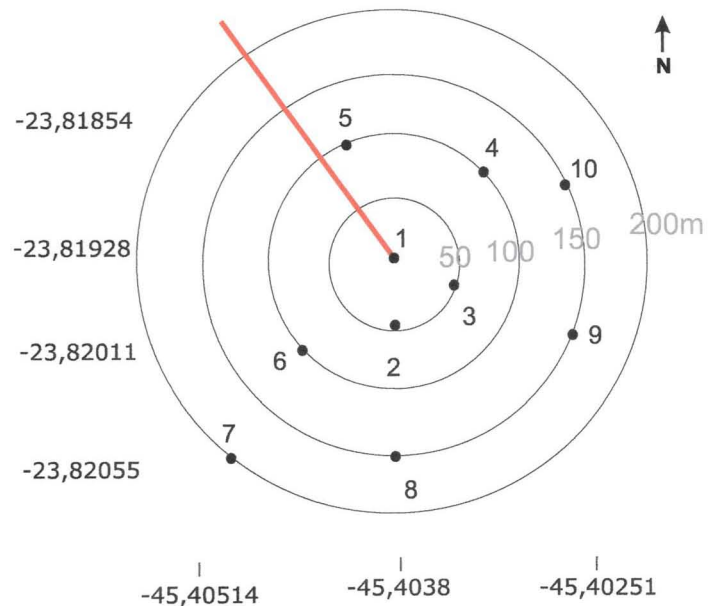


## Fundo

C)



- 6,33 -| 6,65
- 6,65 -| 6,97
- 6,97 -| 7,29
- 7,29 -| 7,61



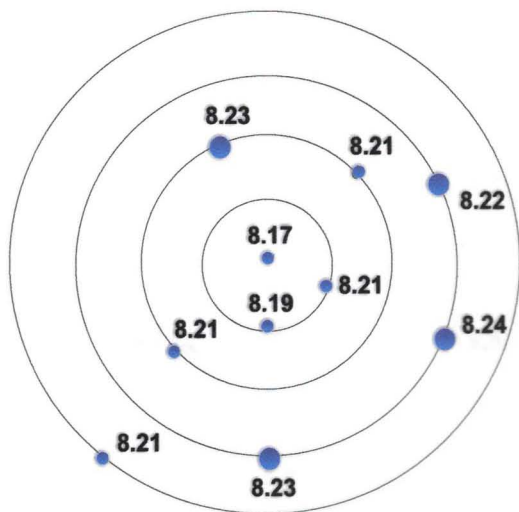
- 1 Ponto Amostral
- Emissário Submarino

Figura 8 - Valores de oxigênio dissolvido em  $\text{mg L}^{-1}$  A) da superfície, B) do meio e C) do fundo da coluna d'água da região circunvizinha ao emissário submarino de esgoto do Araçá - São Sebastião.

# pH

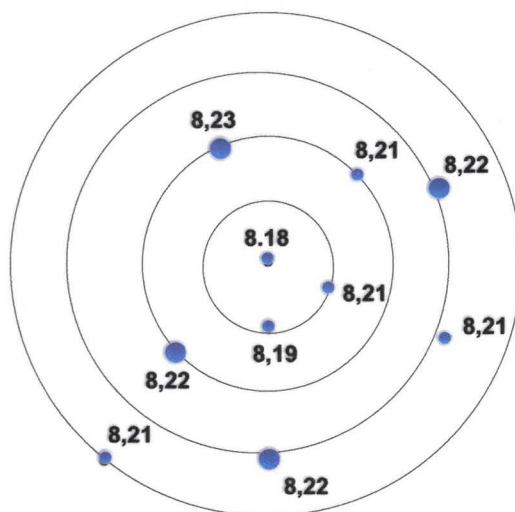
## Superfície

A)



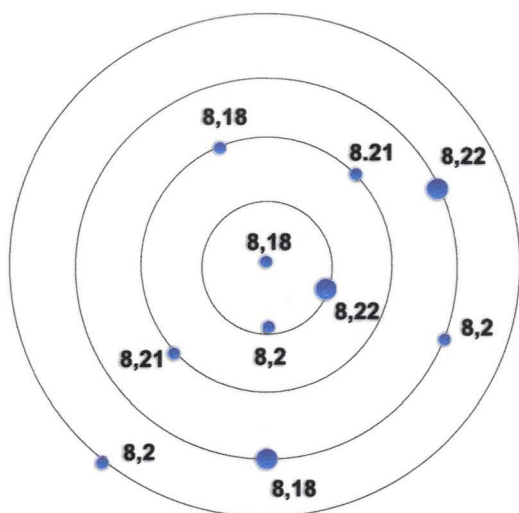
## Meio

B)



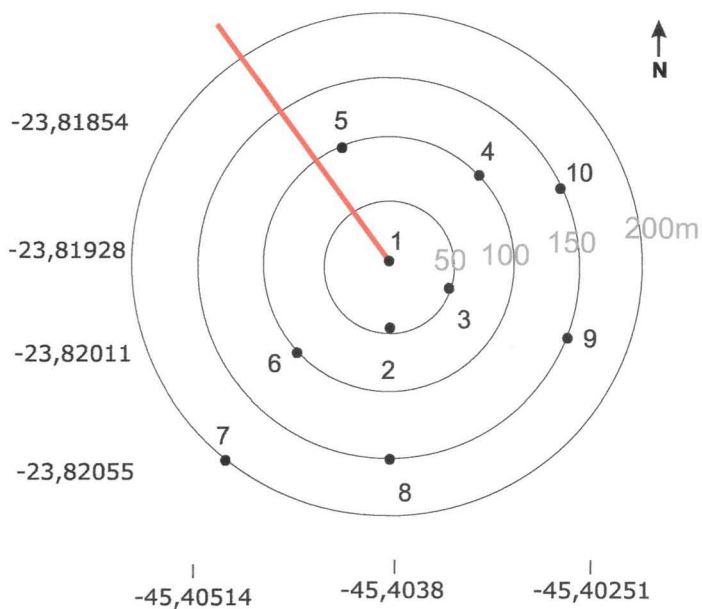
## Fundo

C)



• 8,17 -| 8,21

• 8,21 -| 8,25



• 1 Ponto Amostral

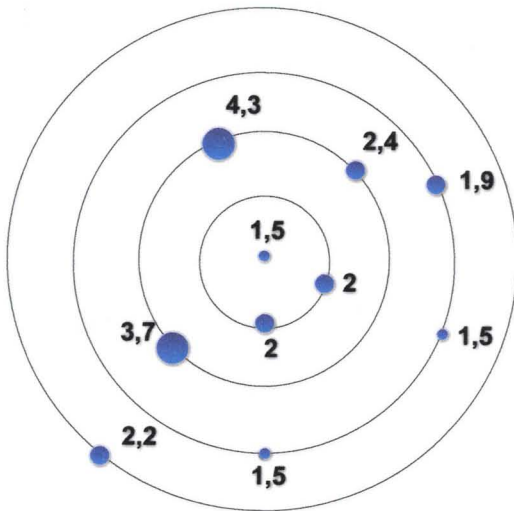
— Emissário Submarino

Figura 9 - Valores de pH da A) superfície, B) do meio e C) do fundo da coluna d'água da região circunvizinha ao emissário submarino de esgoto do Araçá - São Sebastião.

# Turbidez (UNT)

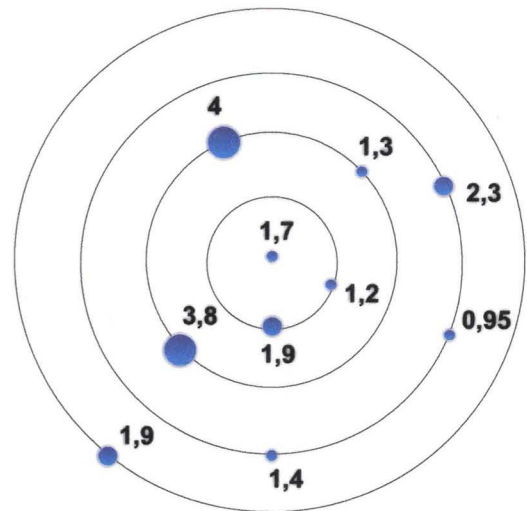
## Superfície

A)



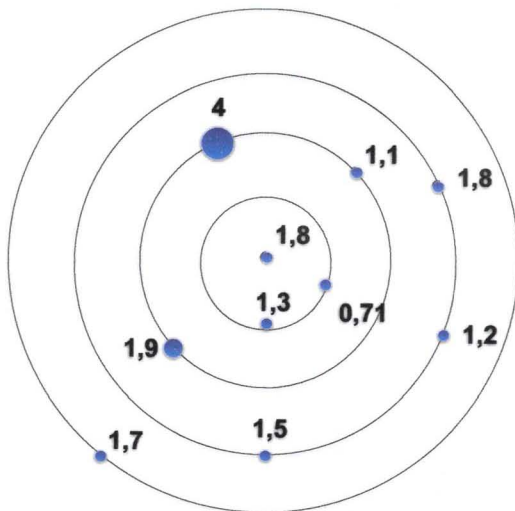
## Meio

B)

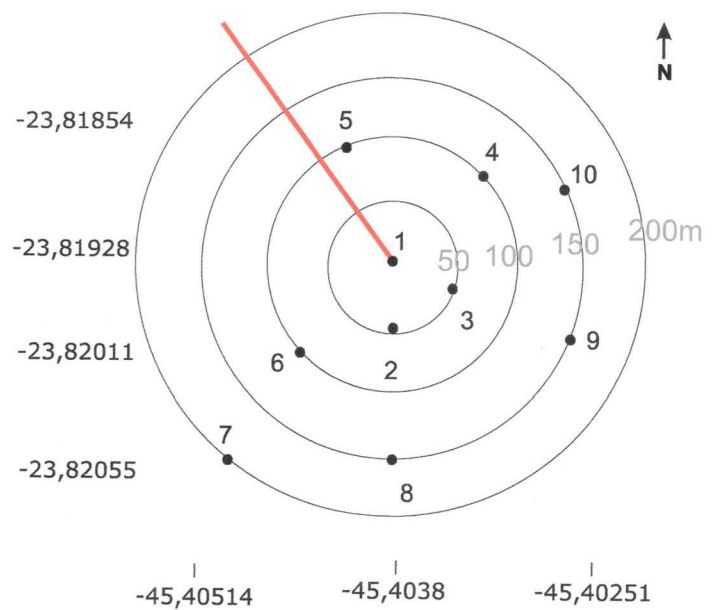


## Fundo

C)



- 0,64 -| 1,86
- 1,86 -| 3,08
- 3,08 -| 4,30

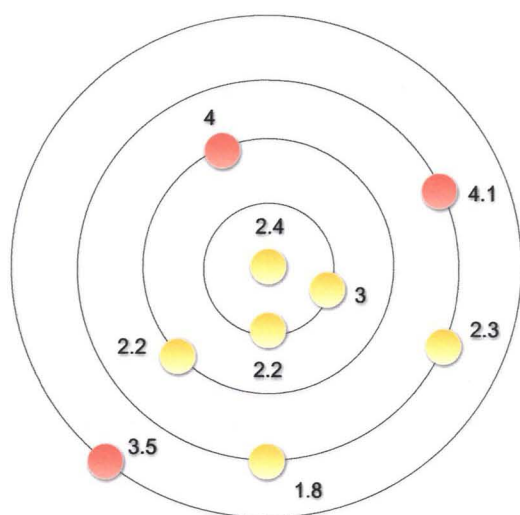


- 1 Ponto Amostral
- Emissário Submarino

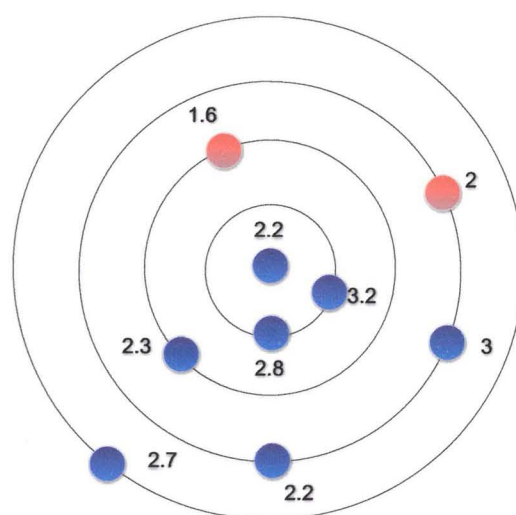
Figura 10 - Valores de turbidez em UNT A) da superfície, B) do meio e C) do fundo da coluna d'água da região circunjacente ao emissário submarino de esgoto do Araçá - São Sebastião.



A) Diâmetro Médio ( $\phi$ )



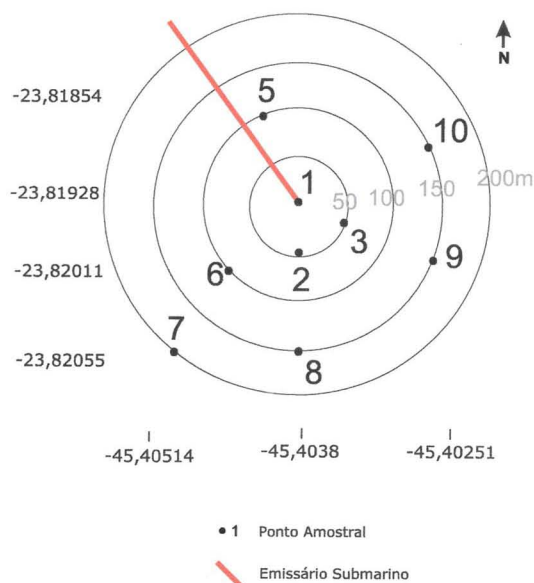
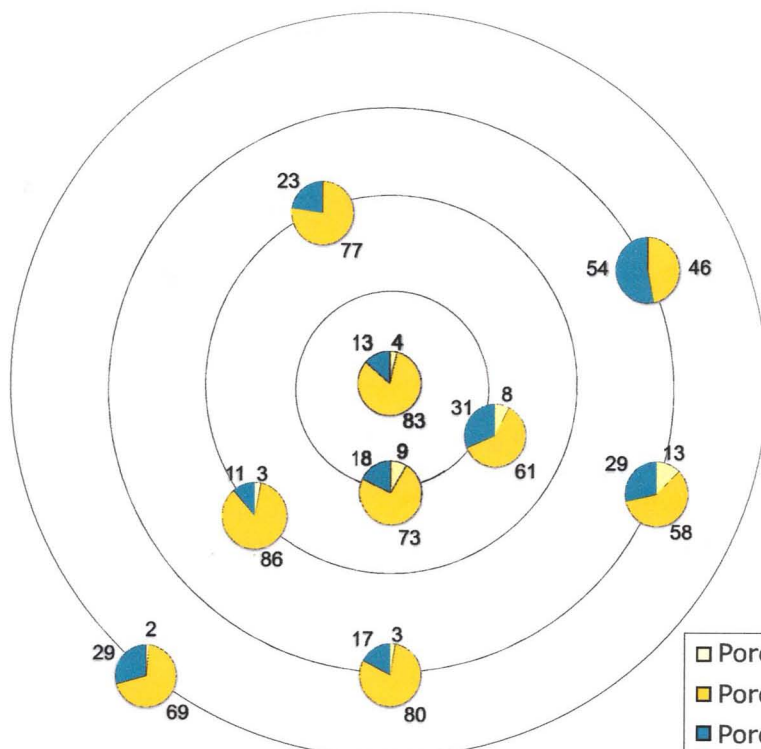
D) Grau de Seleção (Desvio Padrão,  $\sigma\phi$ )



- Areia muito fina (>3 a 4)
- Areia Fina (>2 a 3)

- Pobremente Selecionado (>1,0 a 2,0)
- Muito Pobremente Selecionado (>2,0 a 4,0)

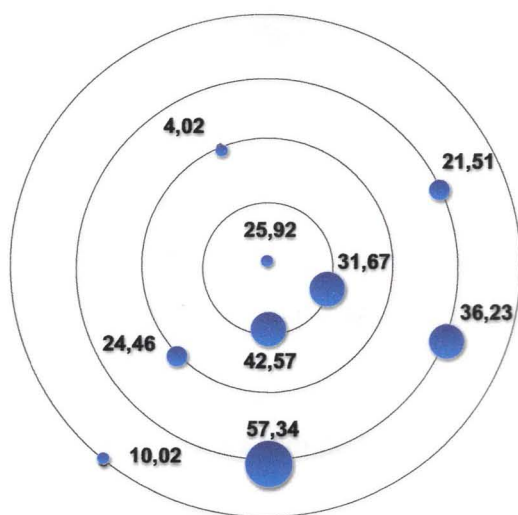
C) Granulometria



- Porcentagem de Grânulos
- Porcentagem de Areia
- Porcentagem de Lama

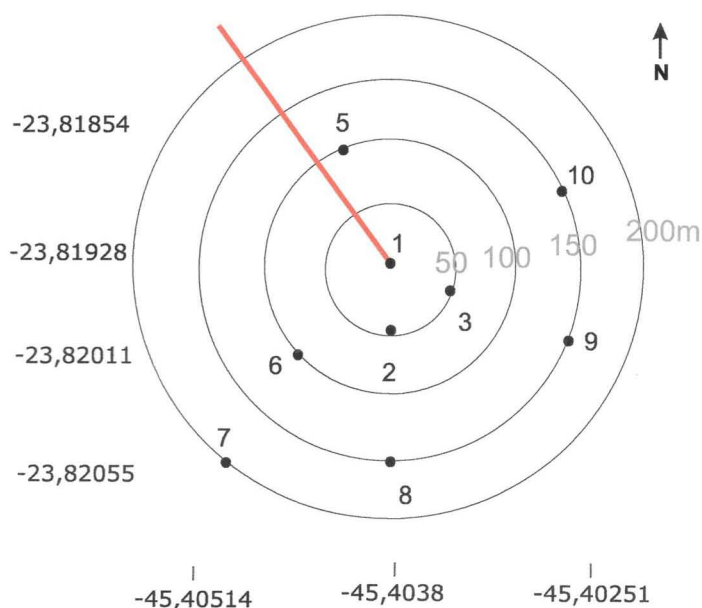
Figura 11 - Dados granulométricos obtidos na região circunvizinha ao emissário submarino de esgoto do Araçá - São Sebastião: A) Diâmetro médio, B) Grau de seleção (desvio padrão). C) Porcentagem de areia/Porcentagem de lama.

# Porcentagem de Carbonato de Cálcio



- 4,00 -| 17,50
- 17,50 -| 31,00
- 31,00 -| 44,50
- 44,50 -| 58,00

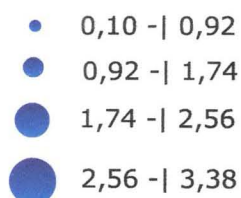
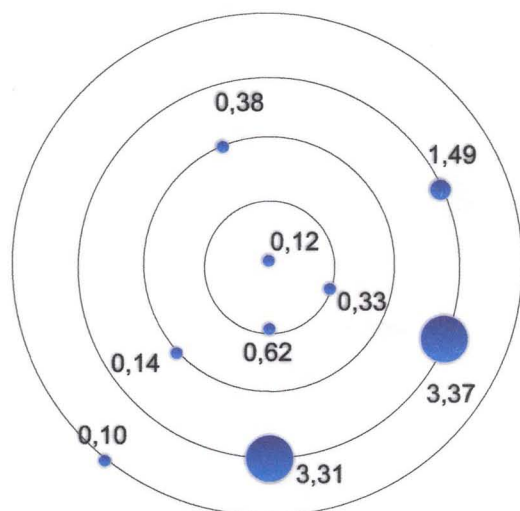
< 30% litoclásticos; 30 a 50% litobioclásticos; 50 a 70% biolitoclásticos e > 70% são bioclásticos (Larsonneur *et al.*, 1982).



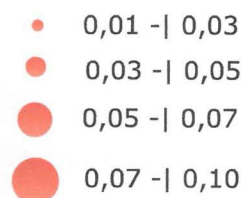
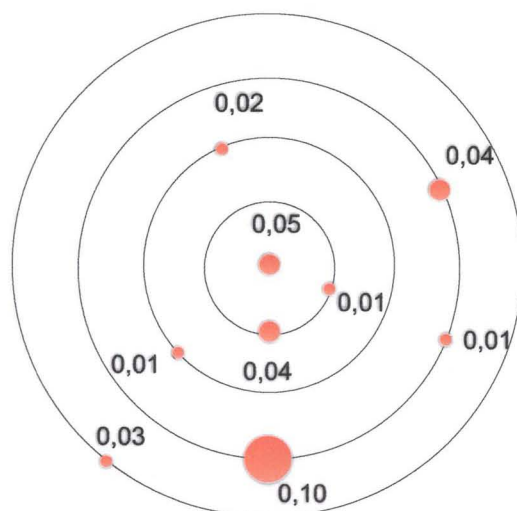
- 1 Ponto Amostral
- Emissário Submarino

Figura 12 - Valores de carbonato de cálcio do sedimento (%) da região circunjacente ao emissário submarino de esgoto do Araçá - São Sebastião.

A) Porcentagem de Carbono Orgânico



B) Porcentagem de Nitrogênio Total



C) Porcentagem de Enxofre Total

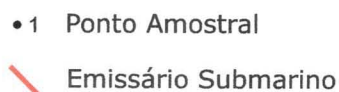
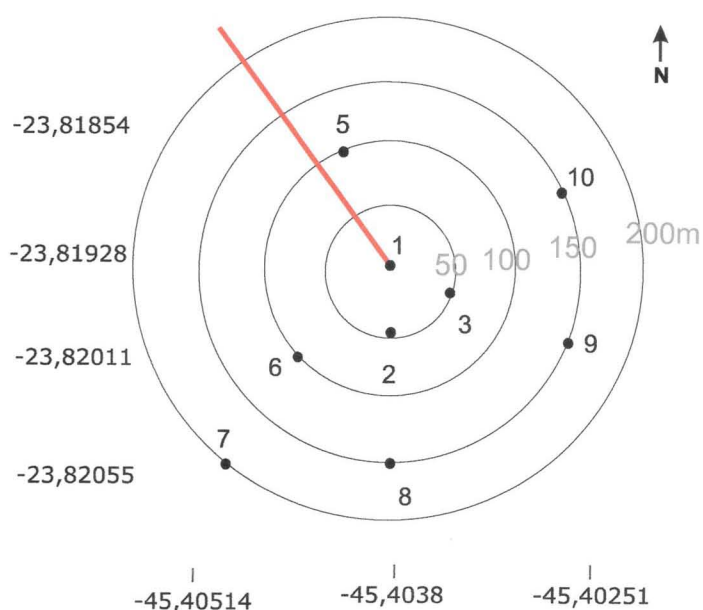
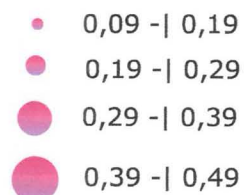
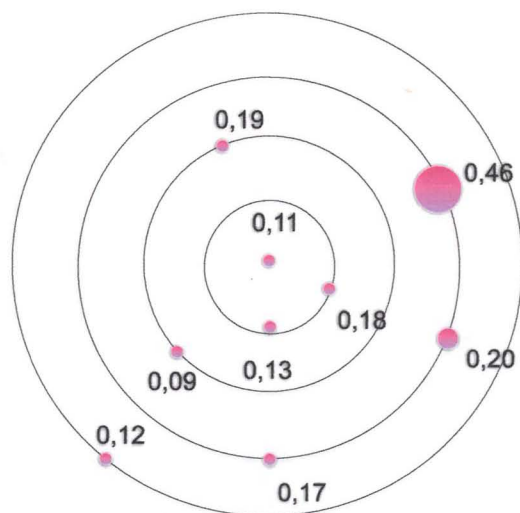
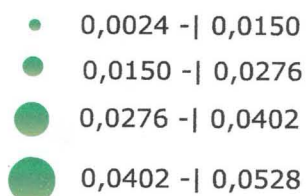
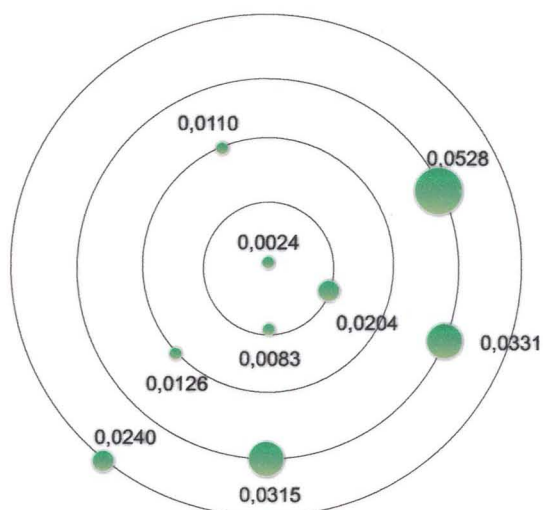
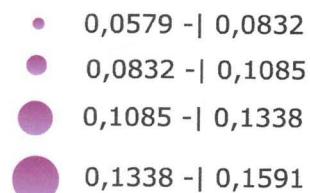
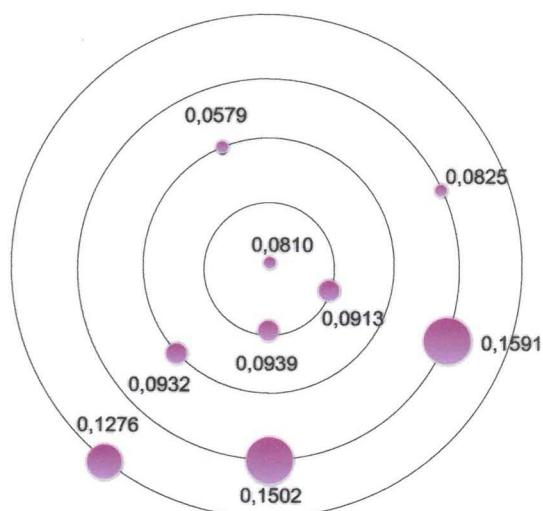


Figura 13 - Porcentagens de A) carbono orgânico, B) nitrogênio total e C) enxofre total dos sedimentos da região circunvizante ao emissário submarino de esgoto do Araçá - São Sebastião.

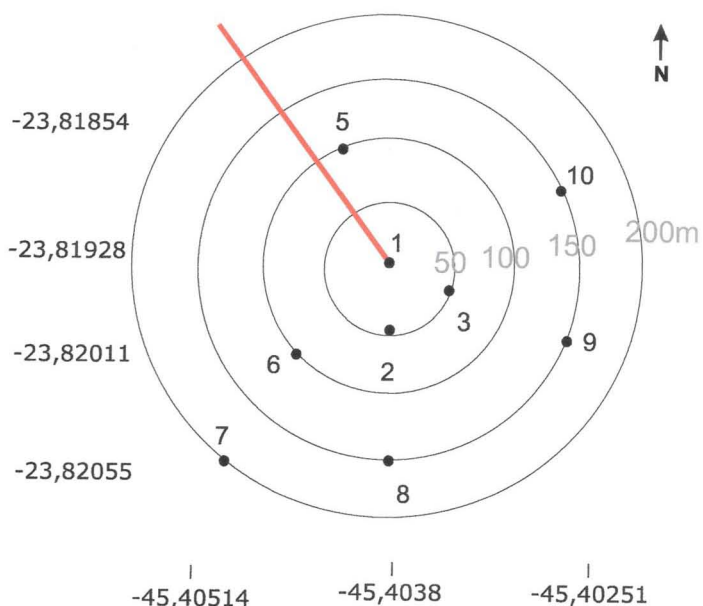
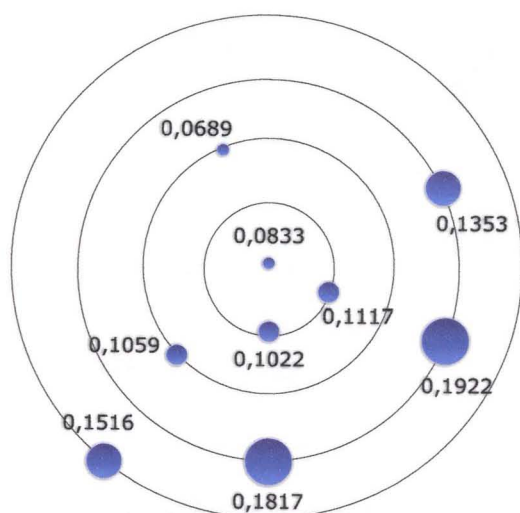
A) Porcentagem de Fósforo Orgânico



B) Porcentagem de Fósforo Inorgânico



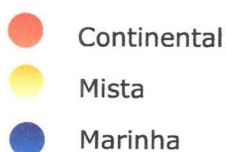
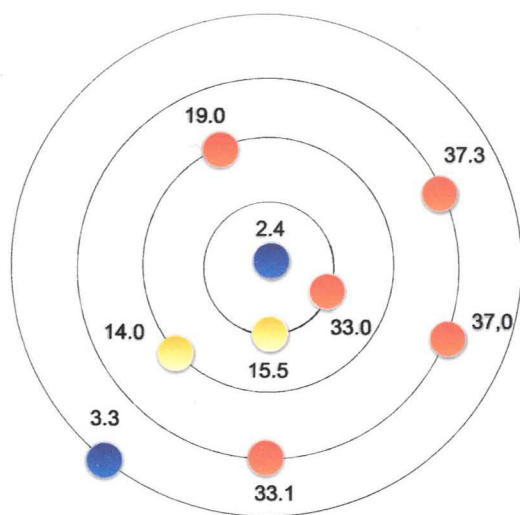
C) Porcentagem de Fósforo Total



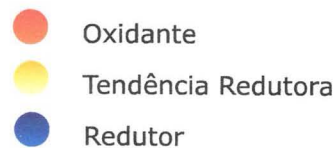
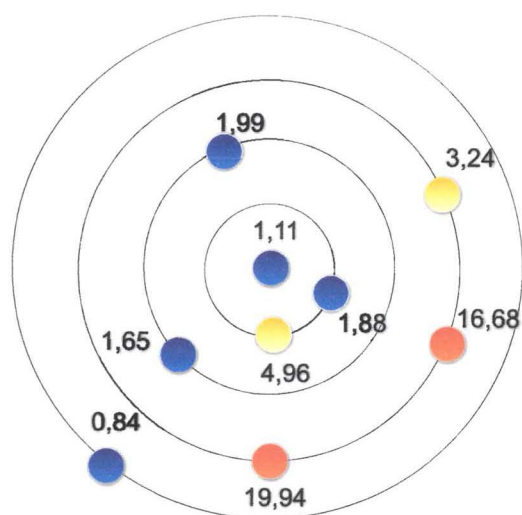
• 1 Ponto Amostral  
 — Emissário Submarino

Figura 14 - Porcentagem de fósforo A) orgânico, B) inorgânico e C) total dos sedimentos da região circunjacente ao emissário submarino de esgoto do Araçá - São Sebastião.

A) Razão C/N



C) Razão C/S



B) Razão C/P

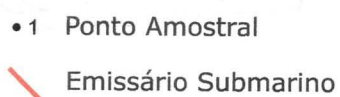
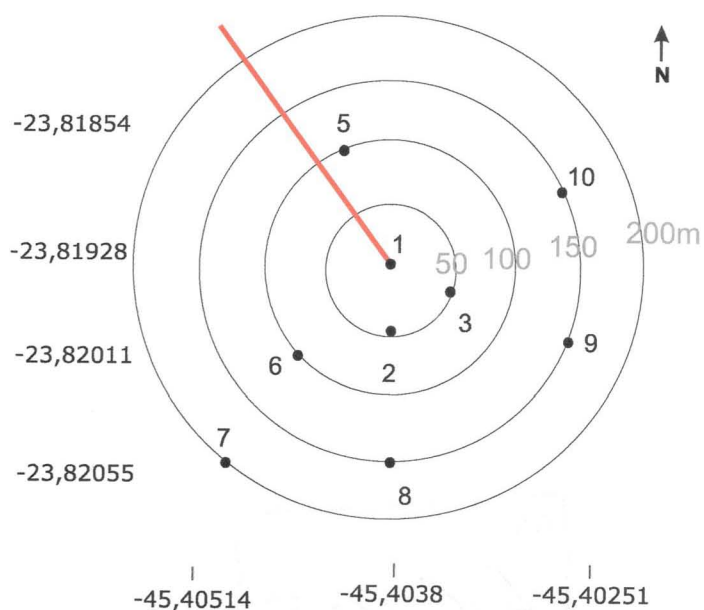
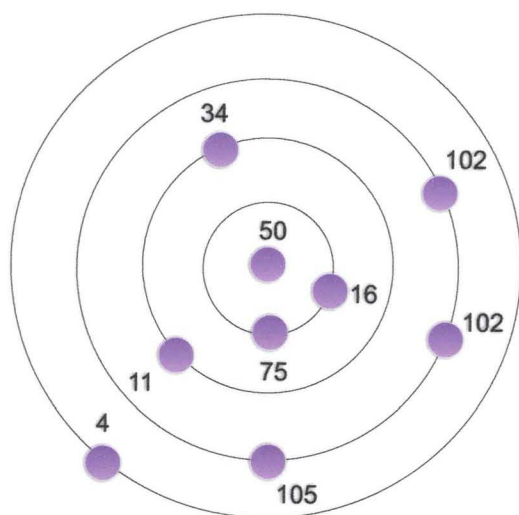


Figura 15 - Valores das razões A) C/N, B) C/P e C) C/S da região circunjacente ao emissário submarino de esgoto do Araçá - São Sebastião.



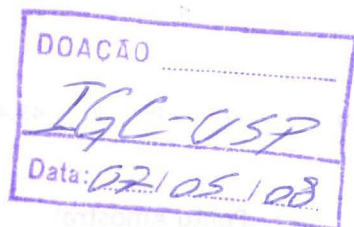


Figura 15 - Valores das razões A) C/N, B) C/P e C) C/S da região circunscrita ao empilhamento do espólio do Atacá - São Sebastião