UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EMISSÁRIO SUBMARINO DE SANTOS:
CONTRIBUIÇÃO NOS SEDIMENTOS DE FUNDO PARA
Al, Mg, K, Ca, Fe, Ti, Na, Si, Ba, Cu, Zn, Cr, Mn, Co, Ni e S**

Débora Mandaji

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujani Sígolo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

São Paulo
2008

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e
Documentação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Mandaji, Débora

Emissário submarino de Santos: contribuição nos
sedimentos de fundo para Al, Mg, K, Ca, Fe, Ti, Na,
Si, Ba, Cu, Zn, Cr, Mn, Co, Ni e S / Débora
Mandaji. - São Paulo, 2008.

91 f. : il.

Dissertação (Mestrado): IGc/USP

Orient.: Sígolo, Joel Barbujani

1. Santos: Emissários submarinos 2. Metais 3.
Efluentes 4. Sedimentos marinhos I. Título

O que aconteceu com você até agora, não é o que vai definir o seu futuro, e sim a maneira como você vai reagir a tudo que aconteceu. Sua vida pode ser diferente, não se lamente pelo passado, construa você mesmo o seu futuro, mas sempre segurando na mão de DEUS.

Encare tudo como uma lição de vida, aprenda com seus erros e até mesmo com o erro dos outros. O que aconteceu é o menos importante. O que realmente importa é o que você vai fazer com o que acontecer (Anônimo).

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a algumas pessoas que foram muito importantes para execução deste trabalho.

Ao *Prof. Dr. Joel B. Sígolo* que apostou em mim e não me abandonou mesmo nas horas que até eu mesma achei que não teria condições de levar meu trabalho até o final. Os seus ensinamentos serão levados para o resto de minha vida. Apesar de todos nossos desentendimentos, agradeço pela paciência e amizade dispensadas neste período.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior – CAPES - e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo 130014/2007-9) pela concessão da bolsa de estudo.

A *Profª Drª Wânia Duleba* do Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP) que, neste três anos, me auxiliou com seus ensinamentos. Obrigada pelas palavras de carinho.

À Fundespa e à Cetesb pela permissão para utilização dos dados das coletas realizadas na Baía de Santos.

Aos *técnicos* do Laboratório de Química e Fluorescência de Raios X do IGc-USP que realizaram as análises químicas com grande presteza. Aos *técnicos* do Laboratório de Sedimentologia (LABSED) do IGc – USP que executaram as análises granulométricas.

Aos funcionários Ana Paula Cabonal e Magali P. F. Rizzo (Secretaria da Pós-Graduação), Tadeu (Secretário da Pós-Graduação), José Paulo (Preparação de Amostras) e aos funcionários das bibliotecas do IGc e do Instituto de Oceanografia – IO - pela grande ajuda dispensada.

À Seção Gráfica e à Seção de Reprodução Fotográfica, que sempre foram muito atenciosos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica e ao Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (DGSA) do IGc da USP.

Aos amigos da pós-graduação do Programa de Geologia e Geotectônica do Instituto de Geociências da USP, em especial à Valéria, Cyntia, Andréia Teodoro e Dione, pelo apoio, amizade e, por que não dizer, paciência.

Aos meus amigos de Santos que me apoiaram, incentivaram-me e me ajudaram, mesmo sem entender nada a respeito do assunto, mas o apoio moral foi imprescindível.

Aos meus familiares, (minha mãe, meu pai, minhas irmãs, meu cunhado e minha sobrinha Luíza) e dizer que foi pelo “empurrão” da minha irmã Mônica e meu cunhado Ricardo que cheguei aqui tão longe – obrigada pelas hospedagens. Ao meu marido Paulo pela paciência e compreensão de ter dividido o nosso tempo de convivência com meus estudos (que não foram poucos). Também quero agradecer a uma pequena pessoa que ainda não chegou ao plano real, mas que já é muito importante para mim e é por ela que chego ao final deste trabalho: minha filha Thábata.

Quero agradecer a Deus principalmente por estar sempre ao meu lado, até quando eu achei que não daria mais.

Sumário

<i>Agradecimentos</i>	04
<i>Sumário</i>	05
<i>Lista de Figuras</i>	07
<i>Lista de Tabelas</i>	08
<i>Lista de Gráficos</i>	09
<i>Resumo</i>	10
<i>Abstract</i>	11
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
3. ESTADO DA ARTE DE EMISSÁRIOS	15
3.1. Disposição Oceânica de Emissários	15
3.2. Emissário Submarino de Esgoto	16
3.3. Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC) – Características Gerais	17
3.4. Emissário Submarino de Esgoto no Mundo	18
4. ÁREA DE ESTUDO	27
4.1. Baía de Santos - Características Geológicas, Climáticas e Sedimentares	27
4.2. Circulação dos Sedimentos na Baía de Santos	32
4.2.1. Os Sedimentos	34
4.2.2. Os Metais	34
4.3. Características do Esgoto Sanitário	43
4.4. Emissário Submarino de Esgoto de Santos	45
4.5. Estação de Pré-Condicionamento de Santos	46
5. METODOLOGIA	50
5.1. Amostragem	50
5.2. Métodos de Análises Sedimentológicas	51
5.3. Métodos de Análises Químicas e Parâmetros Físico-químicos	51
5.3.1. Análises Químicas	52
5.3.2. Parâmetros Físico-químicos	53
5.4. Razão C/N e C/S	53
6. RESULTADOS	54
6.1. Parâmetros Físico-químicos	54
6.1.1. Características Gerais das Colunas de Água	54
6.2. Condições Pluviométricas	58

6.3. Granulometria_____	60
6.4. Resultados das Razões C/N e C/S_____	61
6.5. Dispersão dos Sedimentos_____	62
6.6. Análises Químicas_____	65
7. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS OBTIDOS_____	76
7.1. Parâmetros Físico-químicos_____	76
7.1.1. Características Gerais das Colunas de Água_____	76
7.2. Condições Pluviométricas_____	76
7.3. Granulometria_____	77
7.4. Razões C/N e C/S _____	77
7.5. Dispersão dos Sedimentos_____	78
7.6. Análises Químicas_____	79
8. CONCLUSÕES_____	82
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS_____	84
10. ANEXOS	90

Lista de Figuras

Figura 01 - Comparação entre tratamento de esgoto em ETE e processos que ocorrem no corpo receptor _____	16
Figura 02 - Esquema da Planta de Tratamento de Esgoto da Ilha Deer _____	20
Figura 03 - Esquema de Planta de Tratamento de Esgoto tipo “ <i>Deep Shaft</i> ” _____	22
Figura 04 - Costa de Sydney apresentando os emissários profundos _____	24
Figura 05 – Mapa dos tipos de solo encontrados no Estado de São Paulo _____	28
Figura 06 - Localização da cidade de Santos _____	29
Figura 07 - Esquema do escoamento semi-permanente na Baía de Santos _____	34
Figura 08 - Localização do Emissário Submarino de Santos na Baixada Santista _____	46
Figura 09 - Estação de Pré-Condicionamento de Santos _____	47
Figura 10 - Distribuição dos pontos de coleta no Emissário de Santos _____	51
Figura 11 – Imagem de satélites meteorológicos do Ciclone Catarina _____	59
Figura 12 – Classificação granulométrica dos sedimentos - 1ª coleta _____	60
Figura 13 – Classificação granulométrica dos sedimentos - 2ª coleta _____	61
Figura 14 - Dispersão dos sedimentos em suspensão de fundo – 1ª coleta _____	64
Figura 15 - Dispersão dos Sedimentos Finos – 1ª coleta _____	64
Figura 16 - Dispersão de Areia -1ª coleta _____	64
Figura 17 - Dispersão dos sedimentos em suspensão de fundo – 2ª coleta _____	65
Figura 18 - Dispersão dos Sedimentos Finos – 2ª coleta _____	65
Figura 19 - Dispersão de Areia – 2ª coleta _____	65

Lista de Tabelas

Tabela 01 - Composição típica de esgoto não tratado_____	44
Tabela 02 - Quantidade de esgoto coletado versus tratado _____	45
Tabela 03 - Características físico-químicas do efluente da EPC de Santos_____	48
Tabela 04 - Limite de detecção de equipamentos de análise utilizados_____	51
Tabela 05 - Resultados de qualidade da água do mar (Campanha de Abril 2004 – área de influência do Emissário de Santos) _____	54
Tabela 06 - Resultados de qualidade da água do mar (Campanha de Outubro 2004 – área de influência do Emissário de Santos)_____	56
Tabela 07 – Dados Pluviométricos de Santos/SP – Abril de 2004_____	57
Tabela 08 – Dados Pluviométricos de Santos/SP – Outubro de 2004_____	58
Tabela 09 – Dados geoquímicos, razões C/N e C/S obtidos em Abril de 2004_____	61
Tabela 10 – Dados geoquímicos, razões C/N e C/S obtidos em Outubro de 2004_____	62
Tabela 11 - Valores Referência STSD-4_____	72

Lista de Gráficos

Gráfico 01 - Média anual de chuvas em Santos _____	30
Gráfico 02 – Análises químicas dos elementos – 1ª Coleta _____	66
Gráfico 03 – Análises químicas dos elementos – 2ª Coleta _____	69
Gráfico 04 – Comportamento dos elementos versus valores limites de referência ____	75

Resumo

MANDAJI, D. *Emissário Submarino de Santos: Contribuição nos sedimentos de fundo para Al, Mg, K, Ca, Fe, Ti, Na, Si, Ba, Cu, Zn, Cr, Mn, Co, Ni e S*. 2008. 91 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Após a construção do Emissário Submarino de Esgoto de Santos, todo efluente da cidade de Santos e parte de São Vicente passou a ser descartado na Baía de Santos após Pré-condicionamento. Diante desse aspecto a CETESB iniciou monitoramento de controle sobre os materiais que estão sendo lançados pelo emissário. Nessa dissertação foram estudadas amostras de sedimentos no entorno dessa malha de monitoramento. A partir de duas coletas em períodos distintos - Abril de 2004 e Outubro de 2004 – obtiveram-se 20 amostras de sedimentos. Nessas amostras foram realizadas análises granulométricas e químicas (elementos maiores e traços determinados por DRX e ICP-OES para 16 elementos com predomínio de metais).

Os resultados granulométricos obtidos nas amostras de sedimentos mostraram serem esses constituídos predominantemente por areias e sedimentos em suspensão. A dispersão dessas frações sofre influência direta do fluxo dos materiais descartados pelo emissário. Dos diversos elementos analisados detectou-se que o Cobalto (Co) e Enxofre (S) ultrapassaram os limites de referência utilizados. O elemento Bário exibiu sempre concentrações elevadas nas análises realizadas. Foi notado, por outro lado, que a distribuição dos elementos Cu, Zn, Cr, Mn e Ni, sempre exibiu maiores concentrações no período de maior pluviosidade. Esses resultados corroboram para a indicação que alguns desses elementos químicos (Cu, Zn, Cr, Mn e Ni) devem provir de materiais intemperizados de rochas do entorno e que outros elementos (Co e S) possuem uma contribuição antropogênica sobre os sedimentos depositados pelo emissário.

A determinação das razões C/N e C/S não permitiu determinar se a carga de efluentes do emissário contribui para o aumento do teor de matéria orgânica. Os resultados obtidos e interpretações realizadas conduzem a confirmar a influência do emissário sobre os sedimentos de fundo do seu entorno.

Esses diversos resultados apontam para uma indicação de que o tratamento dos efluentes na Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto de Santos não é o ideal, visto que alguns elementos considerados poluentes encontram-se depositados nos sedimentos analisados.

Abstract

MANDAJI, D. *Emissário Submarino de Santos: Contribuição nos sedimentos de fundo para Al, Mg, K, Ca, Fe, Ti, Na, Si, Ba, Cu, Zn, Cr, Mn, Co, Ni e S*. 2008. 91 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

After the construction of the Ocean Outfall of Santos's sewage, all of Santos's and part of São Vicente's effluents started to be discarded in the Santos Bay after Pre-conditioning. In light of that aspect, CETESB began a monitoring control of the materials dumped through the emissary. In this dissertation sediments samples in the environment of that monitoring mesh. From two collections in different periods - April 2004 and October 2004 - 20 samples of sediments were obtained. Granulometric and chemical analyses (larger and trace elements for DRX and ICP-OES for 16 elements with prevalence of metals) were developed.

The granulometric results obtained in the sediment samples showed that those were predominantly constituted by sands and sediments in suspension. The dispersion of the prior fractions suffers direct influence of the flow of discarded materials by the emissary. Of the several analyzed elements, it was detected that the Cobalt (Co) and Sulfur (S) concentrations surpassed the reference limits. The element Barium (Ba) was always highly concentrated in analysis. It was noticed, on the other hand, that the distribution of the elements Copper (Cu), Zinc (Zn), Chromium (Cr), Manganese (Mn) and Nickel (Ni), always exhibited larger concentrations in the period of greater rainfall. Those results corroborate the indicators that some of those chemical elements (Cu, Zn, Cr, Mn and Ni) comes from materials of naturally eroded rocks and that other elements (Co and S) were deposited by the emissary, constituting anthropogenic actions.

The determination of the Carbon/Nitrogen (C/N) and Carbon/Sulfur (C/S) reasons didn't determine if the deposit of the emissary's effluents contributes in the increase of the concentration of organic matter. The results and interpretations obtained in the experiments confirm the emissary's influence on the environment's bottom sediments. Those results point that the effluent treatment in the Sewer's Pre-conditioning Station in Santos is not ideal, because some elements, considered pollutants, are found in deposits in the analyzed sediments.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de atividades econômicas nas proximidades das zonas costeiras (industriais, agroeconômicas, minerações e turísticas) contribuiu com o aumento da concentração populacional nestas áreas. Essas atividades têm provocado alterações drásticas ao meio ambiente. Além de mudanças visíveis no espaço físico, tanto o meio ambiente marinho quanto o costeiro vêm sofrendo com as consequências geradas pela descarga de resíduos industriais, esgotos urbanos e resíduos tanto de solos fertilizados como de minerações (LIMA, 2000).

No final do Século XIX, a cidade de Santos passou a ser considerada um pólo importante para o escoamento dos insumos produzidos no país e sua proximidade com a cidade de São Paulo foi um dos pontos principais. Com isso, houve a necessidade de construção de um porto que facilitasse esse comércio e, em 1892 foi inaugurado o Porto de Santos com a função inicial voltada para o escoamento da produção do café para o exterior.

Considerando a área em estudo, Santos apresenta um sistema de coleta e tratamento de esgotos idealizado pelo Engenheiro Saturnino de Brito no início do século XX, consistindo de um sistema separador absoluto, onde os efluentes domésticos não deveriam ser misturados com as águas pluviais e para serem drenadas, seguiriam os canais de drenagem construídos para conduzi-las até o mar. Tal obra foi muito importante para a cidade, pois Santos era conhecida como “Porto Maldito”, denominação proveniente da grande disseminação de doenças predominantemente hídricas, como malária e difteria.

Segundo Martins (2005), foi a partir da década de 50, com a expansão do Porto de Santos, a instalação do pólo industrial de Cubatão e o aumento do turismo, que o processo de ocupação da região se intensificou.

Porém, foi na década de 70 que ocorreu forte desenvolvimento populacional, havendo a necessidade de uma melhor destinação dos efluentes da cidade, sendo idealizada e efetivada a construção do Emissário Submarino de Santos pela Sabesp, na intenção de descartar os esgotos dessa cidade e de São Vicente. Tais esgotos passariam por tratamento prévio em Estação de Pré-Condicionamento e lançados na Baía desta cidade. Contrariando o projeto inicial, os antigos canais de drenagem da cidade também foram conectados a Estação de Pré-Condicionamento, pois aqueles passaram a receber ligações irregulares de esgotos provenientes do aumento exponencial da população.

Devem ser consideradas ainda as áreas de invasão urbana e loteamentos irregulares os quais vem promovendo aumento das áreas desmatadas nos morros de Santos. Desconhece-se, até o presente momento, qual o grau de contribuição efetiva dos produtos de origem urbana e/ou industrial encontrados neste lançamento, bem como qual o grau de contribuição sedimentar provinda da erosão dos solos que circundam a bacia de captação deste sistema considerando as invasões acima mencionadas.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal determinar qual a interferência física e química na composição dos sedimentos coletados no entorno do Emissário Submarino de Esgoto de Santos.

Para atingir este objetivo principal, foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Determinar, a partir da análise destes sedimentos, a granulometria em cada ponto de coleta, a fim de constatar quais frações granulométricas predominam nesses diversos pontos e quais elementos encontram-se associados a essas diversas frações;
- ✓ Analisar a variação da concentração dos elementos Al, Mg, K, Ca, Fe, Ti, Na, Si, Ba em amostras de sedimentos, pois esses possuem forte indicativo de origem dos materiais naturais degradados de rochas circundantes na Baía de Santos. Analisar também os elementos Cu, Zn, Cr, Mn, Co, Ni e S, pois esses possuem forte associação com uma origem antropogênica;
- ✓ Delimitar os valores das razões C/N e C/S as quais dependendo dos resultados obtidos indicam uma origem terrígena ou marinha para os materiais analisados;
- ✓ Comparar as concentrações desses elementos em épocas de alta e baixa temporada, as quais coincidem com os períodos chuvosos e secos respectivamente.

3. ESTADO DA ARTE DE EMISSÁRIOS

3.1. Disposição Oceânica de Emissários

Em áreas litorâneas, há duas alternativas básicas para a solução do problema dos esgotos sanitários na garantia da balneabilidade das praias. A primeira é o lançamento submarino por meio de emissários, precedido por um pré-condicionamento dos esgotos. A segunda é o tratamento dos esgotos em nível secundário com desinfecção final, para posterior lançamento em um corpo receptor já relativamente próximo ao mar.

Disposição oceânica de esgotos domésticos é um sistema que utiliza o potencial de tratamento ou depuração que o corpo receptor possui para promover a redução de cargas e de compostos que o efluente possa vir a ter (GONÇALVES & SOUZA, 1997).

Para Cetesb (2003), o sistema de disposição oceânica passou a ser uma alternativa para o saneamento das cidades litorâneas, porém alguns critérios devem ser adotados antes da implantação, como: estudos que demonstrem os padrões de emissão, zona de mistura, usos benéficos do corpo d'água, defesa do meio ambiente, questões econômicas (pesca e esportes náuticos) e questões oceanográficas e biológicas da área. Também deve ser considerada a garantia das condições de balneabilidade das praias, a disponibilidade de áreas para tratamento, as condições ambientais locais e o atendimento a parâmetros de qualidade de corpo de água receptores já na área litorânea.

Quando se planeja implantar um sistema de tratamento com disposição oceânica, é necessário que haja condicionamento ou, até mesmo, um tratamento de esgoto prévio e o estabelecimento de um programa de minimização de impactos, com monitoramento permanente na estação de tratamento e programas de ações emergenciais e de inspeção submarina.

Como o esgoto é composto por 99,9% de água, apenas 0,1% de sólidos exigem tratamento. A matéria orgânica e inorgânica suspensa e dissolvida apresenta uma faixa de concentração que varia de 400 a 1.000 mg/l.

No caso de lançamento submarino, precedido apenas de um pré-condicionamento para remoção de sólidos grosseiros e areia, a geração de lodo é pequena e sua disposição, em geral, de fácil solução em comparação aos tratamentos secundários. A figura 01 ilustra a comparação entre os sistemas de tratamento de esgotos domésticos pelos processos de uma estação de tratamento e os processos

semelhantes que ocorrem no oceano, após o lançamento do efluente para o emissário submarino.

Figura 01 - Comparação entre tratamento de esgoto em ETE (tratamento artificial) e processos que ocorrem no corpo receptor (tratamento natural) - (GONÇALVES & SOUZA, 1997).

3.2. Emissário Submarino de Esgoto

Um Emissário Submarino é uma estrutura física hidráulica linear que conecta a superfície e o corpo d'água receptor constituindo basicamente de 3 componentes principais: a estação de lançamento localizada na parte terrestre, e que pode conter uma estação de tratamento de efluentes industriais ou domésticos, o emissário, cuja a função é transportar o efluente (por gravidade ou bombeamento) para o local exato de disposição e o sistema difusor, onde um orifício ou bocal, ou um conjunto destes, lançam e dispersam os efluentes (FORTIS, 2005). Tais orifícios são dispostos com espaçamentos suficientes para uma vazão conveniente para uma diluição inicial adequada.

Para determinar o tamanho exato do emissário é necessário levar em consideração diversos fatores característicos das águas receptoras, como: velocidade das correntes, difusidade, estrutura vertical das águas, profundidade média de mistura das águas e espessura do campo de esgotos e taxa de declínio bacteriológico.

Os fenômenos que promovem o tratamento dos esgotos lançados ao mar são:

- ✓ Diluição inicial – duas forças que agem sobre o esgoto que sai da tubulação difusora, uma vertical (densidade da partícula de esgoto em relação à água do corpo receptor) e outra no sentido horizontal (movimento no interior do emissário);
- ✓ Dispersão horizontal – a pluma é transportada para fora da zona inicial de mistura por ações das correntes oceânicas e sofre diluição adicional;
- ✓ Decaimento bacteriano – simultaneamente aos anteriores, é caracterizado pela redução dos organismos contaminantes presentes no esgoto sanitário pela ação das condições físicas, químicas e biológicas das águas marinhas.

3.3. Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC) - Características Gerais

Uma Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC) promove, principalmente, a remoção dos sólidos flutuantes e sedimentáveis, além da redução de DBO e coliformes, podendo ser considerada uma estação de tratamento preliminar (TOMMASI, 1987). São projetos de engenharia com certa simplicidade requerendo um sistema operacional sem grandes exigências e apresenta um consumo baixo de energia, evitando custos de coleta, digestão, incineração e disposição do lodo.

Para ser implantada uma estação de pré-condicionamento deve ser considerada as concentrações dos poluentes e contaminantes a serem lançados, os padrões de qualidade a serem obedecidos, as características do corpo receptor e a distância e profundidade de lançamento (GONÇALVES e SOUZA, 1997).

Estudos apontam que estações de tratamento de esgoto preliminares (EPCs) são mais vantajosas em relação às convencionais devido a grande capacidade de assimilação oceânica dos esgotos. A utilização de pequena área para instalação da estação, da pequena quantidade de sólidos a ser removida em relação a grande quantidade de lodo a ser disposto em ETEs convencionais, do menor risco ao meio ambiente caso ocorra alguma falha de operação e do menor custo para a operação do sistema, demonstram que essas Estações de Pré-condicionamento são ideais nesses casos. (MARCELLINO, 2000).

3.4. Emissários Submarinos de Esgoto no Mundo

BOSTON

A Planta de Tratamento de Esgoto da Ilha Deer começou a funcionar em setembro de 2000 e descarta esgoto tratado por emissário submarino profundo na Baía de *Massachusetts*, o que ajudou a recuperar o Porto de Boston da poluição dos sistemas de esgoto da região metropolitana. Anteriormente, os rejeitos, tanto domésticos como industriais, eram descartados sem prévio tratamento nas águas superficiais do Porto desta cidade, conforme afirma a autoridade independente que opera o sistema de esgoto da região, MWRA (*Massachusetts Water Resources Authority*).

A qualidade do efluente tem sido imensamente aprimorada com a redução da emissão dos rejeitos na fonte poluidora e implantação de tratamento secundário, onde são removidos 85% de sólidos suspensos, 85% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e até 90% de contaminantes tóxicos da água servida tratada, antes de descarga. Microorganismos causadores de doença também são reduzidos através de tratamento secundário devido à desinfecção ser mais efetiva com menos sólidos nas águas servidas.

A diluição inicial do efluente na baía é aproximadamente de 100 para 1, contra os 14 para 1 anterior, alcançada pelo antigo emissário do Porto de Boston. Os impactos dos nutrientes que não sofrem remoção através de tratamento secundário podem ser minimizados pela diluição efetiva na Baía. A descarga na baía se dá por 55 difusores nos últimos 2 km do túnel, em área relativamente plana a cerca de 33 m de profundidade, onde os sedimentos predominantes são areia grossa e cascalhos.

A planta remove os poluentes domésticos, comerciais e industriais de águas servidas das 43 maiores comunidades de Boston. De acordo com os padrões ambientais federais e estaduais e pela licença emitida para a planta, a água servida tratada pode ser liberada ao ambiente marinho.

A planta é composta das seguintes etapas (Figura 02):

- **Bombeamento**
- **Tratamento Primário** – em câmaras de areia, ocorre a remoção de partículas finas e metade dos poluentes trazidos em água de esgoto típica (50-60% de sólidos suspensos totais e até 50% de patógenos e contaminantes tóxicos), em clarificadores de tratamento primários. O lodo e a espuma são separados do esgoto por gravidade.

- **Tratamento Secundário** - Misturadores de tratamento secundários, reatores e clarificadores removem sólidos não-removíveis por tratamento biológico e gravitacional. O processo biológico é um sistema de lodo ativado, que utiliza microorganismos para consumir matéria orgânica que permanece no efluente. O tratamento secundário eleva o nível de remoção de poluição para mais de 85%. A planta da Ilha Deer gera 130-220 toneladas de oxigênio puro por dia para apoiar o processo de tratamento secundário.
- **Digestão de lodo** - O lodo e espuma de tratamento primário são engrossados em espessadores de gravidade e os de tratamento secundário, em centrífugas, sendo adicionado polímeros para aumentar a eficiência. A digestão acontece em digestores anaeróbios, onde microorganismos naturalmente presentes no lodo trabalham para quebrar o lodo e a espuma em gás metano, dióxido de carbono, subprodutos orgânicos sólidos e água, reduzindo a sua quantidade.

O gás metano produzido nos digestores é usado na geração de energia para a planta a fim de economizar despesas operacionais reduzindo consumo de energia comprada. O lodo digerido deixa a Ilha Deer por barça para ser processado como fertilizante.

- **Controle de Odor** - Depuradores de ar e adsorventes de carbono removem odores e compostos orgânicos voláteis do processo de tratamento de "*off-gases*".
- **Desinfecção** – Após o efluente percorrer os tratamentos citados acima, o mesmo é desinfetado com hipoclorito de sódio para eliminar as bactérias, de forma que níveis de cloro na última descarga não ameacem organismos marinhos.
- **Serviços de Laboratório** - Um laboratório central executa mais de 100.000 análises por ano para apoiar o controle de processo e assegurar que descargas de esgoto satisfaçam as restrições contidas na licença da planta.

Figura 02 - Esquema da Planta de Tratamento de Esgoto da Ilha Deer

INGLATERRA

Projeto pioneiro para tratamento químico dos esgotos denominado “*Deep shaft*” ou Poço Profundo foi construído em 1978, na cidade de Tilbury o qual, juntamente com uma planta construída posteriormente, tratam o esgoto de toda área de Thurrock, com uma população equivalente a 540 mil habitantes.

Segundo Irwin et al. (1989), aproximadamente quarenta plantas de *deep-shaft* estão em operação no mundo das quais quatro foram construídas no Reino Unido. A última destas plantas de esgoto industrial e doméstico misturados foi em Tilbury, Inglaterra e é a maior planta do mundo.

O *Deep Shaft* é um processo de tratamento de efluente líquido que explora a pressão hidrostática gerada no fundo de uma coluna de líquido para aumentar a transferência de oxigênio a uma solução misturada por circulação rápida. Compreende uma coluna vertical única dividida em duas seções - fluxo ascendente e fluxo descendente - conhecidas respectivamente como o *riser* (tubo de ascensão) e *downcomer* (tubo de descenso).

O fluxo resultante concede intensa mistura entre o gás, o líquido e a biomassa. A solução demora entre dois e seis minutos para circular uma vez ao redor da coluna e tanque principal e, em média, circula 20 a 40 vezes antes do descarte. Deste modo, o oxigênio e o efluente fluem simultaneamente e são mantidos em contato durante 02 a 04 minutos por ciclo o que assegura transferência de oxigênio eficiente. Com isso, a velocidade de tratamento é de apenas 1 hora dentro da coluna, tornando o processo mais resiliente ao choque, cargas orgânicas e químicas as quais podem chegar por descargas industriais.

Normalmente, a coluna possui entre 01 e 08 metros de diâmetro e 40 a 100 metros de profundidade. A planta de Tilbury apresenta 60 metros de profundidade e 5,7 metros de diâmetro. O ar utilizado no sistema serve para fornecer aos microorganismos o oxigênio necessário para a redução do DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Biológica de Oxigênio). Taxas de transferência de oxigênio são tipicamente 10 vezes mais altas que os processos convencionais devido a combinação da mistura intensa, a profundidade do líquido na coluna e as concentrações de oxigênio dissolvido mais altas (Figura 03).

Figura 03 - Esquema de Planta de Tratamento de Esgoto tipo “Deep Shaft”

Após implantação da planta, realizou-se um período de monitoramento de três meses onde se verificou que a Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e a carga de sólidos suspensos foram extremamente variáveis e excederam a capacidade planejada em aproximadamente 40%, porém a qualidade do efluente permaneceu dentro de limites exigidos.

As duas plantas citadas acima tratam 32.000 m³/dia de esgoto, com uma média de 1100 mg/l de DBO e um fluxo máximo de tratamento de 72.000 m³/dia. Fluxo acima do calculado pode ser filtrado e passado para o Rio Tamisa sem tratamento.

AUSTRÁLIA

Segundo Gray (1996), durante 50 anos a região da plataforma continental da costa de Sydney, recebeu elevada contribuição de contaminantes traço (metais traço e organoclorados) derivados de diversas fontes (entradas atmosféricas, material de dragagem contaminado, resíduos industriais e domésticos e descargas de esgoto), atuando tanto como uma bacia como fonte de contaminantes traço.

Até 1990, seis emissários superficiais descarregavam para o oceano, em média, 1300 ML dia⁻¹ de águas servidas, comerciais e industriais, compreendendo 40% do fluxo do esgoto da cidade. A preocupação que envolvia a descarga de esgoto para a baía de Sydney provocou a construção de 03 emissários oceânicos em North Head, Bondi, Malabar entre Outubro de 1990 e Agosto de 1991 (Figura 04).

O sistema de esgoto local é composto de tubulação, plantas de tratamento de esgoto e estações de bombeamento compreendendo quase duas dezenas de quilômetros de tubulações. É dividido em 31 sistemas separados, sendo dez conduzidos para plantas de tratamento de esgoto no litoral e 21, para plantas de tratamento no interior. Estas plantas de tratamento são licenciadas pelo Departamento de Ambiente e Conservação que fixam padrões de desempenho e exigências de monitoramento.

Segundo a concessionária que administra o sistema de esgoto, Sydney Water (2007), os 31 sistemas são alimentados por gravidade, seguindo por linhas de drenagem naturais, embora o transporte para as plantas de tratamento seja auxiliado por 659 estações de bombeamento de esgoto.

Quando o esgoto chega às plantas de tratamento de esgoto, localizadas próximas ao oceano ou rio, a água de esgoto é então tratada e descartada por meio de emissários submarinos, ou em alguns casos, recicladas. Nas plantas citadas, ocorre tratamento primário com taxas de fluxo alto e menor remoção de sólidos. Outros rejeitos coletados nas plantas de tratamento como areia, o qual não pode ser reciclado, é enviado a aterro sanitário.

Algumas plantas de tratamento de esgoto de Sydney podem realizar até o tratamento terciário que é a remoção dos compostos inorgânicos e substâncias como o nitrogênio de nutrientes de planta (N) e fósforo (P), porém a desinfecção pode ser aplicada a qualquer nível de tratamento para tornar inertes microorganismos causadores de doenças como bactérias, vírus e parasitas.

Gray (1996) aponta dois fatores adicionais que precisam ser considerados sobre o impacto que a utilização dos emissários de fundo pode causar nos sedimentos próximos à costa. O primeiro se relaciona com a zona de impacto, onde a pluma pode causar impactos na comunidade infaunal sedimentar (conjunto de organismos que se encontram no fundo, enterrados nos sedimentos, mais comumente nos substratos não-consolidados) a uma distância de 500 m do emissário.

O segundo fator é o prazo no qual poderiam ser esperadas mudanças nas concentrações de contaminantes traço, o qual precisa ser suficiente para detectar aumento na concentração de contaminantes traço. Porém, com a introdução do Plano de Redução de Poluição, que visa reduzir as quantidades de contaminantes que entram no sistema de esgoto, além do aprimoramento da planta de tratamento de esgoto, a probabilidade disto acontecer pode ser minimizada.

Figura 04 - Costa de Sydney apresentando os emissários profundos

MEDITERRANEO - ISRAEL

De um total aproximado de 450 milhões metros cúbicos de esgoto produzidos em Israel, 96% são coletados em sistema de esgoto central e 64% dos efluentes é recuperado, conforme informa o Ministério de Meio Ambiente Israelense. As autoridades locais são as responsáveis pelo tratamento de esgoto urbano. Nos últimos anos, foram criadas novas plantas de tratamento ou sofreram intensivos aprimoramentos em municípios ao longo do país. O objetivo principal é tratar 100% de esgoto de Israel a ponto deste ser utilizado na irrigação, em conformidade com a sensibilidade do solo e sem risco às fontes de solo e água (SVIVA, 2008).

Devido à combinação de escassez severa de água, contaminação de recursos de água, áreas urbanas densamente povoadas e irrigação intensiva na agricultura, o tratamento de águas servidas e reuso são prioridades nacionais para Israel. Em 2001, em torno de 46% dos efluentes produzidos no país obedeciam aos padrões fixados em regulamentos (20/30 DBO), crescendo para 60% em 2002 e alcançando 63% em 2003. Padrões mais severos foram propostos levando em conta o fato que de médio a longo prazo, a maioria dos efluentes poderá ser utilizada para a irrigação ou descartados em rios.

A carga orgânica em águas servidas urbanas de Israel é muito maior que no mundo ocidental. Além disso, devido à alta taxa de efluente utilizado para propósitos de irrigação, a sensibilidade ambiental para conteúdo de sal no esgoto é especialmente alta.

Algumas medidas estão sendo tomadas para minimizar os impactos ambientais adversos, como: redução de emissões de contaminantes para o sistema de esgoto pelas indústrias, mudanças na composição de materiais de limpeza de uso doméstico e mudanças no uso de sal em lavadoras de louça para materiais ambientalmente saudáveis; legislação para prevenir uso de trituradores de lixo domésticos, o que evitaria o aumento de carga orgânica nas plantas de tratamento de esgoto, e pré-tratamento no esgoto industrial descartado no sistema de tratamento municipal para remover materiais tóxicos ou nocivos.

Mais de 500 instalações de tratamento de esgoto existem hoje em Israel, das quais em torno de 30 são plantas de tratamento de águas servidas. Regulamentos promulgados pelo Ministério de Saúde em 1992 requerem tratamento secundário em parâmetros mínimos de 20 mg/litro de DBO e 30 mg/litro de sólidos suspensos em todos os povoados com população que exceda 10.000 pessoas.

Plantas de tratamento de água servidas de Israel usam processos de tratamento intensivos e extensivos (mecânico/biológico). Planta de tratamento intensivo usa o método de lodo ativado enquanto processos extensivos são baseados em lagoas de estabilização anaeróbias que são integradas com lagoas aeróbias rasas e/ou reservatórios facultativos profundos.

Após tratamento, o efluente é colocado em reservatórios temporários de armazenamento (corpos de armazenamento que regulam o fluxo constante de água tratada e a demanda sazonal para irrigação).

Nos últimos anos têm-se visto o estabelecimento de plantas de tratamento intensivas novas ou aprimoradas, produzindo efluente de ótima qualidade em municípios ao longo do país. Em 2003, 63% dos efluentes cumpriam os padrões fixados em regulamentos.

Analisando os estudos e os sistemas de tratamento de esgoto das localidades acima, é possível afirmar que, mesmo em regiões diferentes, com climas, geografias e hábitos diferentes, o efluente é lançado em corpos d'água através de emissários, para que seja concluído o tratamento deste, uma vez que alguns países ainda não apresentam preocupação na destinação correta dos seus efluentes.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. Baía de Santos - Características Geológicas, Climáticas e Sedimentares

Geologia, Geomorfologia e Pedologia

A Baixada Santista é constituída por terrenos sedimentares quaternários, limitados por dois amplos acidentes tectônicos: a Bacia de Santos e a Serra do Mar (PONÇANO, 1985).

A Bacia Sedimentar de Santos é uma depressão tectônica meso-cenozóica preenchida por depósitos sedimentares e derrames basálticos e está limitada, em direção ao continente, pela Falha de Santos (SUGUIO & MARTIN, 1978).

A oeste da Bacia Sedimentar de Santos encontra-se o Planalto Atlântico, escarpa de 900 a 2000 m de altura, estendendo-se por cerca de 21.200 km, formando a Serra do Mar (AZEVEDO, 1965). São terrenos Precambrianos (com mais de 600 Ma), constituídos predominantemente de unidades metamórficas de alto grau (gnaisses, migmatitos) com algumas intrusões magmáticas ácidas (granitos e variedades de granitóides).

Os morros do Maciço de São Vicente apresentam formas arredondadas, possuindo altitudes máximas de 200 a 220 m e são formados pelo soerguimento de rochas do Complexo Cristalino Brasileiro, as quais deram origem a maior parte das ilhas recobertas por solos de degradação dessas rochas de caráter ácido. Nos sopés das escarpas e dos morros, o material decorrente de ação alúvio-coluvial, de textura grosseira, é constituído de grande quantidade de seixos e blocos de rocha com elevado grau de degradação intempérica.

Geomorfologicamente pode-se classificar os terrenos da Baixada Santista em dois grupos:

- ✓ Terrenos elevados – em geral são arenosos, enxutos e constituídos pelas restingas, praias e mangrovitos (bancos antigos de manguezal erguidos ao nível do mar);
- ✓ Paludiais – terrenos encharcados e constituídos por manguezais, bancos de lodo e aluviões diversos (AZEVEDO, 1965).

A região de Santos apresenta basicamente dois tipos de solos, baseado na textura, segundo CETESB (1978): os arenosos, que ocorrem em grande parte da Ilha de São Vicente e na Planície Litorânea da Área Continental e os argilosos, de cor

avermelhada, que podem ser encontrados nas encostas da Serra do Mar e de morros da área insular.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), os solos são classificados como Gleissolo Sálico Sódico (Gz5), Cambissolo Tb Distrófico (CX1), Cambissolo Tb Distrófico + Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico (CX3) e Espodossolos Ferrocárbicos Hidromórficos (ES20), onde Tb significa argila de atividade baixa. Tais solos são permanente ou periodicamente saturados por água, salvo em terrenos drenados artificialmente. Apresentam ocasionalmente textura arenosa nos horizontes superficiais (Figura 05).

Figura 05 – Mapa dos tipos de solo encontrados na região de Santos (EMBRAPA, 1999)

Limites Físicos

A região de Santos está limitada a NE pelo Canal de Santos ou do Porto e a SW pelo Canal do Mar Pequeno - latitudes de 23°58' e 24°04' S e longitudes de 46°20' e 46°40' W (figura 06). As áreas municipais de Santos e São Vicente não se restringem apenas à porção insular, compreendendo também extensa faixa continental, fazendo limites com o Parque Estadual da Serra do Mar. Tal área ocupa uma faixa relativamente larga da planície costeira em relação a outros trechos do litoral paulista.

A Baía de Santos está voltada para o Sul, sendo o corpo receptor das águas do estuário e dos efluentes de esgotos dos municípios de Santos e São Vicente, estando limitada em suas laterais por costões rochosos com algumas pequenas praias.

Figura 06 - Localização da cidade de Santos

Hidrografia

Segundo Mahiques (1992), a Baixada Santista é representada por um conjunto de pequenas planícies costeiras e ilhas, banhadas por rios, estuários, canais e baías. É um paleo-arquipélago (interflúvios isolados de antigos vales), hoje interligado por assoreamentos naturais e mais recentemente por aterros e obras de engenharia.

A rede de drenagem apresenta-se pouco desenvolvida. Os rios de maior porte associam-se às áreas onde a presença de planícies costeiras mais proeminentes permitiu o estabelecimento de cursos d'água de maior extensão

Constam na Área Continental do Município de Santos 17 bacias hidrográficas, sendo as mais importantes o Quilombo, Sândi, Jurubatuba, Diana, Cabrão, Cabuçu e Iri. Na área insular, os cursos d'água nascem nos morros, drenando a planície da ilha. Alguns foram canalizados na passagem do século XX e, conseqüentemente, não são mais visíveis.

O lençol freático, quase sempre presente, pouco abaixo do nível natural do terreno (0,6 m a 0,8 m) e o subsolo inconsistente acarretam sérias dificuldades do assentamento de condutos de drenagem.

Correntes

As correntes da camada superficial (0 a 2m de profundidade), mesmo em marés enchentes, dirigem-se, na maioria do tempo, para fora da baía em direção ao mar aberto. Tal fluxo é produzido pelo escoamento efetivo de água doce dos estuários de Santos e São Vicente que converge no centro da baía e dirige-se para alto mar.

Na maré vazante, as correntes se dirigem para fora da baía em mais de 75% das ocorrências. Quando a maré é enchente, as correntes convergem para as praias de Santos e em direção aos estuários. À medida que se aproximam das praias, as correntes aumentam de velocidade em superfície, podendo alcançar até 60 cm/s.

Clima

De acordo com Peel et al. (2007), a região apresenta Clima Temperado Úmido com Verão Quente (Cfa) devido a localização sob o Trópico de Capricórnio e a proximidade da Serra do Mar e do Oceano Atlântico. Junto às encostas é possível verificar intensa formação de nevoeiro devido a barreira formada pela Serra do Mar que impede o deslocamento das massas saturadas de umidade provocando taxas de umidade superiores a 80% aliado à invasão das massas de ar frio provenientes da região Antártida.

a) Precipitações:

A região apresenta uma média anual de chuva de 2.000 a 3.000 mm, com maior intensidade na região da Serra, onde o período com precipitações mais intensas está compreendido entre janeiro a março (301 mm/mês), enquanto a umidade relativa do ar é próxima de 85% em média. Quanto ao índice de evapotranspiração, este varia, em média, entre 1000 e 1100 mm/ano (ABESSA, 2002).

Há ocorrência de chuvas em todos os meses do ano. O coeficiente de variação anual da precipitação é de 20%, indicando a pequena variabilidade do total anual, não estando a região sujeita a freqüentes períodos de seca.

Segundo DAEE (2005), a média histórica de chuvas para a região confirma que os meses de maior incidência são os meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro, com registros entre 360 e 407 mm e os meses mais secos são Maio, Junho, Julho e Agosto que registraram chuvas entre 143 e 214 mm. (Gráfico 01).

Gráfico 01 - Média anual de chuvas em Santos. Fonte: DAEE, 2005

b) Características dos ventos:

A região apresenta ventos predominantes dos quadrantes S, E, ESE, SSW e SSE, sendo os ventos de Sul os mais freqüentes durante o ano. Durante os meses de Setembro a Março, os ventos que sopram mais comumente são os de E, podendo ser observados também os de Sul e os de Nordeste. Nos outros meses do ano, é possível constatar os ventos de Sudoeste, reforçados pela brisa terrestre, em virtude de maior resfriamento

noturno do continente (AZEVEDO, 1965). Quanto à velocidade dos ventos, foi registrada a velocidade máxima de 15,6 m/s, na direção W (MARCELLINO, 2000).

Ocorre na região um fenômeno conhecido como Vento Noroeste, que precede as frentes frias e provoca elevação da temperatura da superfície terrestre, evaporação da água – entre 1.000 a 1.100 mm - e aumento da umidade do ar. Este fenômeno é mais comum nos meses de maio a agosto e, acompanhado de trovoadas nos meses de janeiro e fevereiro (CETESB, 1999).

c) Regime Térmico:

Apresenta uma média anual de 21° C, sendo que no verão, a temperatura média é de 25° C e a máxima pode chegar a 40° C entre janeiro e fevereiro (ondas de calor) e no inverno, a temperatura média é de 18° C e a mínima pode chegar a 10° C (ondas de frio).

Ambiente antrópico

A Ilha de São Vicente é o ponto de maior adensamento populacional da Baixada Santista, incluindo os municípios de São Vicente e Santos, com características urbanas voltadas para a verticalização. Baseado no último Censo/IBGE (2000), Santos reúne uma população de 417.983 habitantes, sendo que apenas 2.236 residem na área rural. Possui uma área de 270 km² dividida em duas porções: área continental com 231,60 km², na maioria de preservação ambiental e a área insular com 39,4 km², onde se encontra a maior parte da população.

Em consequência desse desenvolvimento, a Estância Balneária de Santos hoje é considerada um pólo importante de serviços, cultura, lazer e turismo regional.

A ocupação humana das encostas e sopés promove e acelera os deslizamentos de barreiras (escorregamentos) na região dos morros como manifestações desse tipo de ocupação não natural nesse relevo, potencializados pelo tipo de clima (quente e muito chuvoso).

4.2. Circulação dos Sedimentos na Baía de Santos

A circulação de sedimentos na Baía sofre influência dos dois grandes canais e seus afluentes continentais e estuarinos que nela adentram, a saber: Canal do Porto de

Santos e Canal de São Vicente. A circulação local é influenciada pela maré e pela geomorfologia costeira. Na porção mediana da Baía, em situação de preamar, há uma corrente superficial semi-permanente, entre 0 e 2 m de profundidade, formada pela convergência dos fluxos efetivos de água doce dos estuários de Santos e São Vicente (Figura 07) (MARCELLINO, 2006 *apud* LAMPARELLI, 2006). Por outro lado, na baixa-mar apresenta ocorrência de movimentos anti-horários no interior da Baía de Santos, em função principalmente da geomorfologia da Baía e do efeito dinâmico do fluxo de Canal de Santos em situação de maré vazante (FÚLFARO & PONÇANO, 1976; FUNDESPA, 1999).

Entre o ponto de lançamento do emissário e as praias de Santos, a corrente superficial é influenciada pela corrente paralela às praias, tornando-se difusa e nem sempre definida.

Os sedimentos da Baía de Santos, constantemente depositados e remobilizados por influência das correntes em seu interior, formam duas zonas distintas, uma a Oeste da Baía, onde predominam areias finas e muito finas e com menores concentrações de matéria orgânica, indicando maiores movimentações no fundo e menor aporte de materiais finos; e a zona da região Leste da Baía, com predomínio de sedimentos mais finos – argilas e siltes - e com elevadas concentrações de matéria orgânica, caracterizando aporte deste material e situação favorável à deposição. Na porção central da Baía de Santos, há uma região caracterizada por um aumento significativo de sedimentos finos e dos teores de matéria orgânica (M.O.) no sedimento (FÚLFARO & PONÇANO, 1976; FUNDESPA, 1999). Trata-se do processo de adsorção, que é o acúmulo de M.O. em sedimentos (PETTIJONH, 1975). As argilas, sedimentos extremamente finos, possuem cerca de duas vezes mais matéria orgânica que o silte e cerca de quatro vezes mais matéria orgânica que as areias muito finas.

As características da matéria orgânica depositada em sedimentos superficiais de áreas marinhas têm sido utilizadas na correlação de diversos processos, como: produtividade de águas superficiais, aporte de materiais de origem continental para o oceano, dinâmica de massas d'água, variações temporais nos processos sedimentares, potencial oxi-redução, índices de sedimentação, processos geoquímicos e diagenéticos, distribuição sedimentar (MÜLLER, 1977; STEIN, 1991; BUSCAIL et al., 1995; MEYERS, 1997).

Figura 07 - Esquema do escoamento semi-permanente na Baía de Santos. (MARCELLINO, 2006 *apud* LAMPARELLI, 2006)

4.2.1. Os Sedimentos

Os sedimentos são importantes carreadores de elementos químicos diversos do continente para o ambiente marinho. Em um sistema estuarino, a maior parte dos sedimentos é oriunda da bacia de drenagem a montante, da erosão das margens e do fundo do estuário e da atividade biológica, além da contribuição humana (MCDOWELL & O'CONNOR, 1977), sendo que a combinação destas fontes propicia a composição dos depósitos sedimentares. Para uma fonte ser predominante neste processo de formação dos depósitos, esta depende da sua intensidade e da dinâmica dos processos de erosão, transporte e deposição, ocasionando a modificação da geometria e a composição do fundo.

O comportamento dos sedimentos depende do aporte e das características do meio, vinculadas à sua geometria e circulação hidrodinâmica, além da composição e características do material introduzido.

O transporte em suspensão é o principal responsável pela introdução de componentes secundários nos sedimentos, sendo a matéria orgânica sedimentar um destes componentes. Tal introdução ocorre no sentido continente-oceano e as fontes de matéria orgânica podem ser naturais, de origem continental ou marinha, como antrópicas (BARCELLOS, 2005).

4.2.2. Os Metais

Os processos de intemperismo químico, mecânico ou biológico favorecem a erosão pela ação da água ao longo do ciclo hidrológico. Transportam, por ação do intemperismo, diversos elementos dentre os quais incluem metais e elementos potencialmente tóxicos dos continentes em direção aos oceanos.

Dos elementos com potencialidades tóxicas, diversas denominações podem ser utilizadas: elementos traço (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984), contaminantes (HAINES & HARRIS, 1987), ou ainda metais pesados, sendo esta a versão mais utilizada para um grupo de metais e metalóides com uma densidade atômica maior que 6 g/cm³. Embora, seja um termo vago, este é amplamente reconhecido e normalmente aplicado a elementos como Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn que são comumente associados com poluição e problemas de toxicidade (ALLOWAY, 1997). Para este trabalho serão utilizados os termos elementos maiores e traço.

Os elementos traço estão sujeitos a um grande número de processos de transformação durante o seu percurso dos continentes até os oceanos, em especial, na área de interface rios/oceanos, onde normalmente ocorrem acumulações de fontes naturais e antropogênicas (SOARES, 1992).

Dentre os reservatórios que compõem o ciclo biogeoquímico (água superficial, material em suspensão, sedimentos e água intersticial – geoquímico - e fauna e flora - biológico) os sedimentos constituem importantes indicadores das condições ambientais, podendo refletir qualitativa e quantitativamente a distribuição, o transporte e o impacto dos metais no meio marinho.

Para Alloway (1997), assim que esses metais são disponibilizados para o ambiente aquático, podem reagir com os constituintes da água ou incorporar-se nos sedimentos de fundo. A solubilidade do metal depende da concentração de ânions, pH e condição de oxi-redução e a presença de sedimentos adsorventes.

O Ferro, o Alumínio e Manganês podem ser encontrados em diversas formas na natureza, como hidróxidos ou óxidos podendo se ligar a metais que apresentam características contaminantes ou poluidoras.

O Cobre e o Zinco são utilizados na agroindústria, assim como o Nitrogênio, o Fósforo, o Potássio, o Enxofre e Manganês, podendo também ser encontrados nos solos e ainda dispersos nas bacias hidrográficas e redes de drenagem.

Em águas litorâneas, concentrações de metais traço tendem a não se combinar bem com nutrientes, sendo as contribuições externas (terrestres, antropogênicas, sedimentares) e a hidrografia local, agentes mais importantes que os processos biogênicos. Devido a vários processos biogeoquímicos e sedimentológicos que ocorrem nestas localidades, a zona costeira pode agir como uma fonte ou depósito de metais traço (ZERI, 2003).

Alumínio

Apresenta número atômico 13 e possui nove isótopos, cujas massas atômicas variam entre 23 e 30 u, sendo encontrado na natureza apenas o Al-27 (estável) e o Al-26 (radioativo) e se encontra no grupo 3A da Tabela Periódica. Possui estado de oxidação III.

O alumínio é um dos poucos elementos abundantes na natureza que não apresentam função biológica significativa sendo, em boa parte, elemento que exibe elevada toxicidade para plantas de modo geral. O Hidróxido de Alumínio é muito importante na absorção de vários metais traço (ADRIANO, 1986), sendo os óxido/hidróxidos de alumínio a forma mais abundante na crosta terrestre.

Siegel (1979) descreve que os feldspatos representam os minerais que possuem maior quantidade de alumínio na crosta. Em rochas ígneas varia de 2% a 8,8% e em rochas sedimentares variam de 0,42 a 8%, sendo os argilitos os que apresentam os maiores teores de alumínio, enquanto que os carbonatos os menores.

De acordo com a Resolução CONAMA 357 de 2005, as águas salinas de Classe 1, águas salinas destinadas à recreação de contato primário, proteção das comunidades aquáticas e criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana, o limite de tolerância para esse elemento não deve exceder 1,5 mg/l.

Magnésio

Magnésio apresenta número atômico 25 e é membro do Grupo 7A da Tabela Periódica. Seus compostos podem existir nos estados de oxidação I, II, III, IV, VI e VIII, porém as formas mais estáveis são II, IV VI e VII (ADRIANO, 1986).

É um metal alcalino-terroso sólido nas condições ambientais e reage com a água somente se esta estiver em ebulição, formando hidróxido de magnésio e liberando

hidrogênio, diferentemente do cálcio, que forma sais mais solúveis, apesar de muito semelhantes geoquimicamente.

É o principal componente metálico dos nódulos depositados em fundo oceânico e também largamente distribuído, sendo encontrado comumente como óxidos, carbonatos e silicatos. Os minerais mais comuns fornecedores de magnésio para as águas são: carnalita, dolomita e magnesita. Os dois últimos minerais são mais estáveis diante do intemperismo químico do que os minerais fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor do que aquele. Na água do mar, o magnésio ocorre em teores de 1400 mg/l. Na Resolução CONAMA 357/05 não existe referência para esse elemento em ambientes marinhos.

Sódio

É um metal alcalino e está localizado no Grupo 1A da Tabela Periódica, apresentando um número atômico 11 e estado de oxidação I. É muito abundante na natureza, encontrado no sal marinho e no mineral halita, sendo os minerais fonte os feldspatos plagioclásios por serem mais frágeis ao intemperismo químico. Os sais formados nestes processos são muito solúveis e reativos com a água. Não é encontrado livre na natureza e se decompõem na água, produzindo um hidróxido com desprendimento de hidrogênio.

Em aquíferos litorâneos, a presença de sódio na água pode estar relacionada à entrada da cunha salina oceânica no continente. Também para esse elemento não existe referência na Resolução Conama 357/05, uma vez que é encontrado em abundância em ambientes marinhos.

Potássio

Metal alcalino, apresenta número atômico 19 e está localizado no Grupo 1A da Tabela Periódica e seu estado de oxidação mais comum é I.

Abundante na natureza, é encontrado principalmente em águas salgadas e outros minerais como a carnalita, langbeinita, polihalita e silvina. É muito reativo com água e se parece quimicamente com o sódio.

Seus principais minerais fontes são: feldspato potássico, mica moscovita e biotita, pouco resistentes aos intemperismos físico e químico. Na Resolução CONAMA 357/05 não existe referência para esse elemento em ambientes marinhos.

Cálcio

O cálcio é um metal alcalino terroso, pertencente ao Grupo 2 da Tabela Periódica. Seu número atômico é 20 e seu estado de oxidação é II.

Não é encontrado em estado nativo na natureza, estando sempre como constituinte de rochas ou minerais de grande interesse industrial, como os carbonatos (calcita e dolomita) e sulfatos (gipsita). Também nesse caso, tal como o do sódio, os minerais fonte de cálcio são os feldspatos plagioclásios por serem muito frágeis ao intemperismo químico. Outros minerais que contém cálcio são a fluorita e a apatita.

O cálcio ocorre nas águas na forma de bicarbonato e sua solubilidade é em função da quantidade de gás carbônico dissolvido. A quantidade de CO₂ dissolvida depende da temperatura e da pressão, que são fatores que determinam a solubilidade do bicarbonato de cálcio. Na Resolução CONAMA 357/05 não existe referência para esse elemento em ambientes marinhos.

Ferro

O Ferro pertence ao grupo 8B da Tabela Periódica e é um elemento de transição que apresenta número atômico Z=26. É considerado o elemento mais abundante no planeta, devido ao núcleo da Terra ser composto basicamente por uma liga de ferro e níquel.

O ferro no estado ferroso (Fe²⁺) forma compostos solúveis, preferencialmente bicarbonato. Em ambientes oxidantes, o Fe²⁺ passa a Fe³⁺ dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita.

O comportamento químico do ferro e a sua solubilidade dependem da intensidade da oxidação ou redução que ocorre no sistema água-ar-terra, influenciados por parâmetros físico-químicos tais como pH, eH, oxigênio dissolvido e por microorganismos. Os processos biogeoquímicos influenciam o comportamento do ferro na água e exercem um importante papel nas suas transformações (MENEZES, 1992).

Os silicatos escuros (máficos) são fontes portadoras de Fe, como olivinas, piroxênios, anfibólios e micas (biotita) além de outros compostos como magnetita, hematita e pirita. Em virtude de suas características geoquímicas serem bastante próximas do Mn, quase sempre ocorre na natureza acompanhado pelo mesmo. De acordo com a Resolução CONAMA 357 de 2005, o limite de tolerância para o Ferro em águas salinas Classe 1 é de 0,3 mg/l.

Titânio

O Titânio é um metal de transição, pertencente ao Grupo 4B da Tabela Periódica, com número atômico 22. É o 9º elemento mais abundante da crosta terrestre (ADRIANO, 1986).

É encontrado principalmente nos minerais anatásio, brookita, ilmenita, rutilo e titanita. Seu estado de oxidação é de II, III ou IV, sendo o último o de maior prevalência na natureza. Na Resolução CONAMA 357/05 não existe referência para esse elemento em ambientes marinhos.

Bário

Metal pertencente ao grupo dos alcalinos terrosos (2A), apresenta número atômico 56. Possui estado de oxidação II e é geoquimicamente semelhante ao Ca e Sr (ADRIANO, 1986).

As principais fontes de Bário para o ambiente são: intemperismo e erosão de depósitos minerais contendo Bário (veios de barita) ou associado a estrutura cristalina dos feldspatos potássicos. Os compostos mais importantes do bário são: peróxido, cloreto, sulfato, carbonato, nitrato e clorato. O Bário é um elemento raro nas águas naturais, em teores de 0,0007 a 0,9 mg/L.

Entre as atividades humanas que introduzem bário no meio ambiente, podemos citar: perfuração de poços, onde é empregado em lamas de perfuração, produção de pigmentos, fogos de artifício e defensivos agrícolas. Pela resolução 357/2005 do CONAMA, o limite permitido de Ba em águas salinas de recreação é de 1,0 mg/l, tornando-se um elemento tóxico acima deste teor.

Silício

O Silício é um elemento químico de número atômico 14, pertencente ao Grupo 4A da Tabela Periódica dos Elementos e apresenta estado de oxidação IV. Pode ser encontrado na forma amorfa e cristalina, sendo esta última pouco solúvel.

Suas propriedades químicas se assemelham com as do carbono. É um elemento relativamente inerte e resistente à ação da maioria dos ácidos, sendo encontrado em todos os grupos minerais silicatados. Também para esse elemento não existe referência na Resolução CONAMA 357/05, uma vez que é encontrado com certa abundância em ambientes marinhos.

Cobre

O cobre é um elemento de transição pertencente ao Grupo 1B da Tabela Periódica, cujo número atômico é 29. Na natureza, o estado de oxidação mais comum é I e II.

Os exemplos principais de minerais que apresentam cobre na sua composição são: bornita, cuprita e calcopirita. A mais importante combinação de cobre são sulfetos, óxidos e carbonatos (ADRIANO, 1986).

As atividades humanas responsáveis pela introdução de cobre na água são: corrosão de tubos de cobre e de latão por águas ácidas, algicidas, fungicidas usados na preservação da madeira e indústria de mineração, fundição, galvanoplastia e refino. O metal é amplamente usado em sistemas de distribuição de água.

Segundo a Resolução 357/05 do CONAMA, o teor máximo permitido em águas salinas de Classe 1 é de 0,005 mg/l.

Zinco

O zinco é um elemento de transição, situado no Grupo 2B da Tabela Periódica. Apresenta número atômico 30 e é divalente em todos os seus compostos, sendo constituído de cinco isótopos.

O íon Zn^{2+} existe na forma hidratada em soluções aquosas neutras e alcalinas, no entanto, o hidróxido é precipitado em solução alcalina. O Zinco forma muitos íons

complexos em solução aquosa, como $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ e $\text{Zn}(\text{CN})_4^{-2}$ sendo seu estado de oxidação principal o II em ambientes naturais (ADRIANO, 1986).

Este elemento é pouco abundante na crosta terrestre, porém pode ser obtido com facilidade. Apresenta semelhanças com o magnésio e o berílio.

O zinco está raramente presente em rochas ígneas e metamórficas como sulfeto (esfarelita), mas a sua maioria está distribuída como um constituinte menor de minerais formadores de rochas, principalmente os ricos em ferro, os piroxênios, os anfibólios e biotitas. A abundância de Zinco em diferentes minerais é influenciada pela concentração de Zinco do magma, rochas pré-metamórficas e a habilidade da estrutura cristalina do mineral hospedeiro em incorporar este elemento (ADRIANO, 1986). Em rochas sedimentares, os conteúdos mais altos de Zn são encontrados em xistos e sedimentos argilosos, enquanto em arenitos, calcário e dolomitas geralmente apresentam conteúdos menores (ALLOWAY, 1995). Considerando águas salinas da Classe 1, na Resolução Conama 357/2005, o limite permitido para Zn é de 0,09 mg/l.

Cromo

É um metal de transição, membro do Grupo 6B da Tabela Periódica. Apresenta número atômico 24 e quatro isótopos estáveis, podendo ocorrer entre os estados de oxidação II e VI, sendo a forma hexavalente considerada relativamente tóxica e a trivalente a mais estável e não tóxica (ADRIANO, 1986), sendo esta capaz de substituir o Fe^{3+} e o Al^{3+} em alguns minerais devido seu comportamento geoquímico (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984). O mineral de Cr mais importante é a cromita. Na Resolução Conama 357/2005, o limite permitido para Cromo total em águas salinas de Classe 1 também é de 0,05 mg/l.

Manganês

Manganês apresenta número atômico 25 e é membro do Grupo 7A da Tabela Periódica. Esse elemento é um metal de transição de coloração branco cinzento, sendo os íons Mn^{2+} semelhantes aos Fe^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} e Ca^{2+} em virtude de seu comportamento geoquímico (ADRIANO, 1986). É um metal duro e muito frágil, refratário e facilmente oxidável. Seus estados de oxidação são I, II, III, IV, VI e VII, porém os mais estáveis são os II, IV, VI e VII.

Os minerais de Manganês são amplamente distribuídos, mas os mais comuns são os óxidos, carbonatos e silicatos. Os principais minerais são a pirolusita e a manganita.

Também pode ser encontrado em sedimentos argilosos em fundos oceânicos e em leitos marinhos na forma de nódulos com teores entre 15 e 30% representando fonte potencial desse recurso nos fundos oceânicos, quase sempre associado a outros elementos e metais. De acordo com a CONAMA 357/2005, o limite aceitável para Mn em águas salinas de Classe 1 é de 0,1 mg/l.

Cobalto

Cobalto é um metal de transição situado no grupo 8B da Tabela Periódica. Apresenta número atômico 27 e é geoquimicamente semelhante ao Ni e exibe estado de oxidação II e III. É resistente à corrosão mas é solúvel em ácido (ADRIANO, 1986).

Esse metal não é encontrado em estado nativo, mas está presente em diversos minerais, razão pela qual é extraído normalmente como subproduto do níquel e do cobre. Os principais minerais são a cobaltita, esmaltita e eritrina.

Mais de 75% da produção mundial de cobalto é usado na produção aço de alta qualidade e manufatura de ligas. Na Resolução CONAMA 357/05 não existe referência quanto às restrições toxicológicas para esse elemento em ambientes marinhos.

Níquel

O Níquel se localiza no grupo 8B na Tabela Periódica e apresenta número atômico 28. Normalmente ocorre nos estados de oxidação 0 e II, podendo ainda ser encontrado nos estados I, III e IV. É insolúvel em água e em NH_4OH , porém se torna solúvel quando diluído em HNO_3 e levemente solúvel em HCl e H_2SO_4 (ADRIANO, 1986).

O níquel se assemelha ao Co em propriedades químicas e bioquímicas, podendo substituir outros metais. Como composto mineral pode ser encontrado como pentlandita, millerita e minerais verdes oxidados como garnierita e antigorita.

Segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA, o teor máximo permitido para águas salinas Classe 1 é de 0,025 mg/l. Concentrações superiores a 11,0 mg/l podem ser encontradas em áreas de mineração e, conseqüentemente, chegar aos corpos d'água por lixiviação.

Enxofre

É um não-metal pertencente ao Grupo 6A na Tabela Periódica e apresenta número atômico 16. É multivalente e apresenta como estados de oxidação mais comuns os valores II, IV e VI. É insolúvel em água, parcialmente solúvel em álcool etílico.

Está presente em combustíveis fósseis como carvão e petróleo, cuja combustão produz dióxido de enxofre que em contato com a água, resulta em ácidos. Permanecendo na atmosfera podem se condensar junto com a água da chuva e promover as chamadas chuvas ácidas. Com isso, a legislação dos países industrializados exigem a redução do conteúdo de enxofre nos combustíveis.

Pode ocorrer junto a fontes termais e zonas vulcânicas, como pode ser encontrado em formas minerais, como: pirita, galena, blenda, além de diversos sulfatos.

É usado em múltiplos processos industriais, na produção de ácido sulfúrico, fabricação de pólvora e vulcanização da borracha. O enxofre também tem usos como fungicida e na manufatura de fosfatos fertilizantes. Os sulfitos são usados para branquear papel e o sulfato de magnésio usado como laxante, esfoliante ou suplemento nutritivo para plantas. Segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA, o teor máximo permitido para águas salinas Classe 1 é de 0,002 mg/l.

Foram analisados outros elementos como o Rubídio, Estrôncio, Vanádio, Chumbo, Urânio porém, estes não apresentaram valores relevantes a serem abordados neste trabalhos. Quanto ao Sódio e o Silício, deve-se considerar os resultados encontrados com a devida cautela, uma vez que esses dois elementos são abundantes em ambiente marinho.

4.3. Características do Esgoto Sanitário

O esgoto sanitário é, praticamente, constituído por 99,92% de água, sendo os 0,08% restante constituído por substâncias sólidas, semi-sólidas e líquidas, podendo ser poluentes ou patogênicas. Tais substâncias acabam por alterar as características físicas químicas e biológicas dos efluentes (GONÇALVES e SOUZA, 1997). A tabela 01 exhibe a composição típica de esgotos domésticos não tratados.

Tabela 01 - Composição típica de esgoto não tratado (GONÇALVES e SOUZA, 1997)

Contaminante	Unidade	Concentração		
		Fraco	Médio	Forte
<i>Sólidos Totais (ST)</i>	mg/L	350	720	1.200
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	mg/L	250	500	850
Fixos	mg/L	145	300	525
Voláteis	mg/L	105	200	325
Sólidos suspensos (SS)	mg/L	100	220	350
Fixos	mg/L	20	55	75
Voláteis	mg/L	80	165	275
<i>Sólidos Sedimentáveis</i>	mg/L	5	10	20
<i>DBO_{5,20°C}</i>	mg/L	110	220	400
<i>Carbono Orgânico Total</i>	mg/L	80	160	290
<i>DQO</i>	mg/L	250	500	1.000
<i>Nitrogênio</i>	mg/L	20	40	85
Orgânico	mg/L	8	15	35
Amônia Livre	mg/L	12	25	50
Nitrito	mg/L	0	0	0
Nitrato	mg/L	0	0	0
<i>Fósforo</i>	mg/L	4	8	15
Orgânico	mg/L	1	3	5
Inorgânico	mg/L	3	5	10
<i>Cloretos</i>	mg/L	30	50	100
<i>Sulfetos</i>	mg/L	20	30	50
<i>Alcalinidade (CaCO₃)</i>	mg/L	50	100	200
<i>Óleos e Graxas</i>	mg/L	50	100	150
<i>Coliforme total</i>	NMP/100	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
<i>Compostos Orgânicos Voláteis</i>	mL	<100	100-400	>400

Para Gonçalves e Souza (1997), os principais poluentes que devem ser observados quando utilizado o sistema de disposição oceânica são: os sólidos em suspensão total, a matéria orgânica biodegradável, a matéria orgânica não biodegradável, os organismos patogênicos, os metais pesados e os sólidos inorgânicos dissolvidos, devendo ser verificado os nutrientes e a demanda bioquímica de oxigênio quando o corpo receptor for uma baía fechada.

O Sistema de captação de esgoto da Ilha de São Vicente atende ao município de Santos Zona Leste e Zona Noroeste e São Vicente e possui capacidade para uma vazão

máxima de 7,267 m³/s, sendo a cidade de Santos a que apresenta maior índice de tratamento em relação aos domicílios onde é realizada a coleta dos efluentes. (Tabela 02).

Tabela 02 - Quantidade de esgoto coletado versus tratado

Município	População*		Atendimento por domicílio (%)	
	Fixa	Flutuante	Coletado	Tratado
Santos	424.665	78.405	98	100
São Vicente	320.383	53.097	61	100
TOTAL	745.048	131.502		

Janeiro/2006

* Projeção 2005-SEADE

4.4. Emissário Submarino de Esgoto de Santos

O Emissário Submarino de Santos, localizado na Praia do José Menino (Figura 08), foi construído pela Sabesp em 1979, em tubos de aço com diâmetro interno de 1,75 m e revestido externamente de concreto, de modo a garantir um peso aderente de 150 kg/m na água do mar; sua extensão total é de 4.007 m.

A tubulação difusora — último subsistema componente do sistema de disposição oceânica — corresponde a um trecho com 200 m de extensão que está acoplado ao final do emissário submarino, mantendo o mesmo eixo longitudinal. Essa tubulação possui 40 orifícios com tubos verticais (*risers*) espaçados de 5,0 m, com diâmetro interno de 30 cm. Os tubos afloram a uma altura de 50 cm do assoalho submarino.

O ponto para lançamento dos efluentes da Baía de Santos foi determinado com base em critérios físicos, ecológicos, técnicos e econômicos, dos quais se pode citar:

- ✓ Ponto mais próximo para os efluentes alcançarem a corrente superficial que se desloca mar afora;
- ✓ Distância simétrica dos limites das áreas a preservar: praias de Santos, Barra de São Vicente, Barra de Santos e Ilha das Palmas.
- ✓ Declividade suficiente para se obter condições máximas de diluição inicial possível e garantir diluição total caso venha ocorrer correntes convergentes para a costa;
- ✓ Capacidade de prolongamento do Emissário, caso se torne necessário.

Em 1971, foi implantado o Interceptor Oceânico I que além de receber as contribuições dos coletores de esgotos, mais recentemente passou a receber água dos

canais de drenagem (1 ao 6), constituindo assim a solução adotada para melhoria das condições de balneabilidade das praias de Santos à época.

Figura 08 - Localização do Emissário Submarino de Santos na Baixada Santista

4.5. Estação de Pré-Condicionamento de Santos

A Estação de Pré-Condicionamento recebe efluentes da cidade de Santos e parte do esgoto da cidade de São Vicente, onde são submetidos a uma caixa de areia e à milipeneiras rotativas que servem para a retirada de sólidos mais grosseiros e areia (Figura 09).

Figura 09 - Estação de Pré-Condicionamento de Santos

Após este processo, o efluente sofre desinfecção com cloro (gás) com o objetivo de reduzir o potencial de transmissão de doenças causadas pelos microorganismos patogênicos presentes nos efluentes e é enviado ao emissário submarino. A taxa de cloro utilizada na pré e pós-cloração atinge um total de 15 ppm.

Em alta temporada é lançado ao mar, pelo emissário, em média, 192.670 m³/dia de esgoto e em baixa temporada este volume fica na casa dos 165.700 m³/dia, em média.

De acordo com Relatório Qualidade das águas litorâneas no estado de São Paulo apresentado pela Cetesb (2005), diversas análises foram realizadas em anos anteriores a

execução da coleta de sedimentos encetada por essa pesquisa, a fim de verificar a qualidade do efluente que chega à Estação de Pré-Condicionamento. Verificou-se que alguns parâmetros se encontravam em não conformidade com o exigido na Resolução Conama 357/2005 (Tabela 03).

Tabela 03 - Características físico-químicas do efluente da EPC de Santos (Cetesb, 2005)

Parâmetros	Art. 18 CONAMA 357/05	Nov/02	Fev/03	Ago/03	Jun/04 24 horas*
Temperatura do ar (°C)		20	30	20	22,5
Condutividade efetiva (mS/cm)		946,00	-	1559,00	-
pH	6 a 8,5	7,4	7,20	7,20	7,60
OD (mg/l)	> 5	5,1	5,40	6,90	-
Temperatura da água (°C)		25	30	22,5	23,5
Ortofosfato (mg/l)		2,8	3,07	4,32	-
Fósforo Total (mg/l)	0,062	5,07	6,28	-	5,24
N Amoniacal (mg/l)	< 3,7	43,00	0,48	32,50	40,60
N Kjeldahl total (mg/l)		51,20	-	64,80	56,20
Turbidez (UNIT)	-	70,00	65,00	73,50	-
Fenol (totais) (µg/l)	60	0,046	0,043	<0,003	<007
Sulfeto (mg/l)	0,002	3,2	3,54	3,67	1,67
Óleos e graxas (mg/l)	-	-	-	-	73,10
DBO (mg/l)	< 5	-	-	-	193
DQO (mg/l)		-	-	-	376
Coli Fecal (UFC/100ml)	1000	290.000	2.800.000	19.000	-
<i>Enterococos</i> (UFC/100ml)	100	-	-	-	-
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100ml)	800				

*efluente coletado antes da cloração

Resultados em discordância à CONAMA 357/05 para as águas salinas de Classe 1, destinadas à recreação de contato primário, proteção das comunidades aquáticas e criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

Os parâmetros que apresentaram desconformidade com os padrões exigidos foram Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, Sulfetos e Oxigênio Dissolvido. Isso tende a comprovar que o efluente que chega a EPC para ser condicionado, já exibe, para alguns compostos, valores limites de tolerância muito acima dos permitidos pela legislação vigente, e nessa condição acabam por adentrar na Baía de Santos através do emissário.

Vale ressaltar que as unidades de tratamento existentes (peneiras e caixas de areia), apenas realizam o pré-condicionamento dos esgotos, não tendo qualquer eficiência na remoção dos parâmetros citados (CETESB, 2005).

5. METODOLOGIA

5.1. Amostragem

A Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas (FUNDESPA) e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) realizaram duas viagens oceanográficas na Baía de Santos em dois períodos distintos – Abril de 2004 e Outubro de 2004. O primeiro período é considerado como o fim da estação de chuvas e se inicia logo após a alta temporada, com ocorrência de grande ocupação turística nas cidades litorâneas. O segundo retrata um período seco e considerado de baixa temporada.

Foram coletadas 18 amostras de água do mar em cada viagem, sendo apenas em 10 pontos amostrais coletados sedimentos na área de influência de lançamento de efluentes do Emissário Submarino de Esgoto da Santos, totalizando 20 amostras (CETESB, 2005). Essas amostras de sedimentos é que se constituem o objeto de investigação dessa dissertação. O posicionamento das estações foi obtido por meio de GPS (*Global Positioning System*).

As amostras foram coletadas obedecendo a uma malha amostral do tipo quadrado crescente, onde o material foi coletado respeitando um espaçamento de 50 ou 100 metros (ARASAKI, 2004) e o início dessa rede se deu exatamente na saída dos difusores do emissário submarino de esgoto (Figura 10).

As coletas foram realizadas com pegador tipo *Petersen*, sendo armazenadas em recipientes plásticos e mantidas resfriadas para evitar ataque bacteriano.

O material coletado foi encaminhado para os laboratórios de Sedimentologia e de Química do IGc-USP onde foram feitas análises granulométricas e químicas. Para serem analisadas, as amostras foram secas em estufa a 60 °C. Após secagem, foram pulverizadas em moinho de anéis.

Os parâmetros físico-químicos utilizados neste trabalho foram: temperatura, salinidade, turbidez, pH e para os parâmetros sedimentológicos: diâmetro médio, frações areia-silte-argila e razões C/N e C/S.

* Pontos com amostragem de água e sedimento.

Figura 10 - Distribuição dos pontos de coleta no Emissário de Santos em coordenadas UTM – 08/2002 (Ponto 1: Saída do Emissário)

5.2. Métodos de Análises Sedimentológicas

Os métodos e resultados sedimentológicos provenientes do material coletado foram descritos em Heitor (2002). Os dados sedimentológicos e os parâmetros físico-químicos obtidos foram tabulados e analisados sob a forma de mapas, por meio do Microsoft Office Excel 2003 (*Microsoft Corporation*). Já as curvas de dispersão do sedimento foram analisadas por meio do Programa Surfer, versão 8.0 (*Surface Mapping System, Golden Software Inc.*).

As análises granulométricas foram realizadas por meio de técnicas de peneiramento e pipetagem descritas em Suguio (1973). A classificação dos sedimentos foi baseada nos dados fornecidos por Shepard (1954), o qual determina a nomenclatura baseada nas razões de areia, silte e argila.

5.3. Métodos de Análises Químicas e Parâmetros Físico-químicos

Os parâmetros físicos e químicos fornecidos pela CETESB seguiram procedimentos segundo as Normas Técnicas CETESB L5.202 (1993) e L5.169 (1968) ou Norma Técnica Brasileira (ABNT) pertinentes, com revisão de procedimento operacional baseado em método similar descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th ed.* (1995).

5.3.1. Análises Químicas

As amostras foram analisadas para os elementos maiores e traço e, para enfoque dessa dissertação, foram estabelecidos os seguintes elementos: Al, Mg, K, Ca, Fe, Ti, Na, Si, Ba, Cu, Zn, Cr, Mn, Co, Ni e S. As determinações químicas foram realizadas no Laboratório de Fluorescência de Raio X e no Laboratório de Química e ICP-OES/MS do IGc-USP. O equipamento ICP-OES/MS foi utilizado para analisar os elementos traço da estação 03 da 1ª amostragem, devido a ausência ou pequena quantidade de material, ali residente, inviabilizando a análise pelo Espectrômetro de Fluorescência de Raio X. Os limites de detecção estão representados na tabela abaixo (Tabela 04), sendo que os elementos maiores estão representados em % e os menores em ppm.

Tabela 04 - Limite de detecção de equipamentos de análise utilizados

Elemento	Limite de Detecção	
	Espectrômetro de Fluorescência de Raio X	Espectrômetro ICP-OES
Al	0,01	
Mg	0,01	
K	0,01	
Ca	0,01	
Fe	0,01	
Ti	0,007	
Na	0,02	
Ba	37	733
Cu	550	29
Zn	2	107
Cr	13	54
Mn	0,002	*
Co	6	<15
Ni	5	<15
S	300	*

* não analisado

5.3.2. Parâmetros Físico-químicos

Para obtenção do parâmetro de turbidez, utilizou-se o padrão nefelométrico (quantificação da quantidade de luz refletida quando direcionada, formando um ângulo de 90° com as células sensoriais que captam luz) cuja unidade de medida de turbidez é o NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*).

A temperatura da água foi obtida por meio de termômetro de imersão total, sendo o termômetro reversível em intervalos de 1 metro, desde a superfície até 1 metro acima do fundo da área em questão.

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado mergulhando-se o eletrodo combinado de pH na amostra. Para salinidade foi utilizado o *CTD Seacat* (*Conductivity, Temperature, Depth*) que é um perfilador de temperatura e condutividade de alta precisão.

5.4. Razão C/N e C/S

Foi determinada a razão C/N, considerando os critérios propostos por Tyson (1995), como forma de tentar identificar a predominância da contribuição continental ou marinha na matéria orgânica (M.O.) presente nos sedimentos, onde altos teores de C e, conseqüentemente, valores altos para a razão C/N, caracteriza M.O. proveniente do continente. A razão C/S foi utilizada para inferir o potencial de oxi-redução do ambiente fundamentada nos critérios propostos por Stein (1991) e Borrego *et al.* (1998).

O Carbono Orgânico foi analisado no Laboratório de Química e ICP-OES/MS do IGc-USP e extraído os carbonatos de cálcio com ataque de HCl a 10% para eliminar essa interferência antes de sua determinação. Neste laboratório também foram feitas as análises de N total e S total, empregando para tanto o equipamento CHN-1000 para C org e N total e o aparelho SC-432 para S total, ambos da LECO.

6. RESULTADOS

6.1. Parâmetros físico-químicos (temperatura, salinidade, turbidez, pH)

6.1.1. Características gerais das colunas de água

Os dados a seguir apresentados, para os dois períodos de coletas, foram compilados de Teodoro (2006), sendo apresentados os dados considerados mais significativos para uma melhor visualização da complexidade dos valores obtidos para os sedimentos.

1ª Coleta

As amostras foram coletadas na coluna d'água da superfície até 10 metros. De modo geral, em águas mais profundas (entre 8 e 10 metros), as temperaturas não sofreram grande variação, oscilando entre 25,1°C e 25,2°C, o mesmo sendo observado para as águas do meio (entre 5 e 7 metros), onde as temperaturas permaneceram entre 24,9°C e 25,2°C, diminuindo no sentido sul para norte. Por outro lado, em águas superficiais (entre 0 e 4 metros), a oscilação foi maior: entre 25°C e 25,8°C sendo as mais baixas verificadas nas estações 1, 2, 3 e 10 (região centro-oeste) e 5 (sudoeste).

Em considerando a coluna d'água, houve um aumento no gradiente salino em direção ao fundo, principalmente nas estações 1, 4, 6, 7, 8, 9 e 10 (29,80-33,70 UPS).

Quanto à turbidez, é possível afirmar que os maiores valores são encontrados no meio da coluna d'água, entre 3,4 e 27 UNT. Os altos valores da estação 01 são resultados da proximidade da desembocadura do emissário submarino.

Não foram observadas grandes variações em relação ao pH na coluna d'água, permanecendo entre 8 e 8,2 (tabela 05).

Tabela 05 - Resultados de qualidade da água do mar (Campanha de Abril 2004 – área de influência do Emissário de Santos) (CETESB, 2004)

Emissário de Santos) (CETESB, 2004)					
Pontos Amostrais	Profundidade (m)	Turbidez (UNT)	Temp. da água (°C)	Salinidade (UPS)	pH
1	0	27,00	25,1	30,70	8,10
	1		25,2	32,50	8,10
	2		25,2	32,60	8,10
	3		25,2	32,80	8,10
	4		25,2	32,90	8,10
	5	27,00	25,2	33,00	8,10
	6		25,2	33,20	8,10
	7		25,2	33,00	8,10
	8		25,2	33,20	8,10
	9		25,2	33,20	8,10
	10	13,00	25,2	32,80	8,10
2	0	5,70	25,0	-	8,10
	1		25,0	32,80	8,10
	2		25,0	32,90	8,10
	3		25,0	33,10	8,10
	4	3,40	25,1	33,20	8,10
	5		25,2	33,40	8,10
	6		25,2	33,50	8,10
	7		25,2	33,60	8,10
	8	4,60	25,2	33,70	8,10
3	0	3,20	25,1	32,60	8,10
	1		25,1	32,80	8,10
	2		25,0	32,80	8,10
	3		25,0	32,90	8,10
	4	3,80	25,1	33,00	8,10
	5		25,2	33,30	8,10
	6		25,2	33,50	8,10
	7		25,3	33,60	8,10
	8	4,20	25,2	33,60	8,10
4	0	5,00	25,4	30,70	8,00
	1		25,3	31,90	8,00
	2		25,2	32,80	8,10
	3		25,1	32,80	8,10
	4		25,1	33,20	8,10
	5	8,00	25,2	33,50	8,10
	6		25,2	33,60	8,10
	7		25,3	33,60	8,10
	8		25,2	33,60	8,10
	9	4,60	25,2	33,70	8,10
5	0	5,00	25,0	32,80	8,10
	1		25,0	33,90	8,10
	2		25,1	33,10	8,10
	3		25,0	33,10	8,10
	4	4,50	25,0	33,10	8,10
	5		25,1	33,20	8,10
	6		25,1	33,40	8,10
	7		25,2	33,60	8,10
	8	4,40	25,2	33,60	8,10

Turbidez (UNT)	Ausente
Salinidade (UPS)	≥ 30
pH	6,5 a 8,5

Limite de detecção estabelecido pela CONAMA 35705

Pontos Amostrais	Profundidade (m)	Turbidez (UNT)	Temp. da água (°C)	Salinidade (UPS)	pH
6	0	6,80	25,7	29,80	8,00
	1		25,7	30,00	8,00
	2		25,2	30,70	8,10
	3		25,0	32,40	8,10
	4	7,80	25,0	32,80	8,10
	5		25,0	33,10	8,10
	6		25,0	33,30	8,10
	7		25,1	33,10	8,10
	8	3,30	25,2	33,60	8,10
7	0	3,70	25,8	30,00	8,10
	1		25,8	30,00	8,10
	2		24,9	32,20	8,20
	3		24,9	32,80	8,10
	4		24,9	32,80	8,10
	5	7,00	24,9	32,90	8,10
	6		24,9	32,80	8,10
	7		25,0	32,80	8,10
	8		25,1	33,40	8,10
	9		25,2	33,40	8,10
	10	2,80	25,2	33,70	8,10
8	0	5,00	25,7	30,30	8,10
	1		25,7	30,40	8,10
	2		25,5	31,30	8,10
	3		25,1	31,60	8,10
	4	6,50	25,0	33,00	8,10
	5		25,0	33,00	8,10
	6		25,0	33,00	8,10
	7		25,1	33,20	8,10
	8	3,80	25,1	33,20	8,10
9	0	3,00	25,7	30,20	8,10
	1		25,7	30,20	8,10
	2		25,4	30,50	8,10
	3		25,0	32,40	8,10
	4	5,80	24,9	32,60	8,10
	5		24,9	32,80	8,10
	6		24,9	32,90	8,10
	7		25,0	33,10	8,10
	8	4,30	25,1	33,20	8,10
10	0	5,00	25,1	31,70	8,10
	1		25,6	30,80	8,10
	2		25,4	31,30	8,10
	3		25,1	32,00	8,10
	4		24,9	32,80	8,10
	5	6,00	24,9	32,80	8,10
	6		24,9	32,90	8,10
	7		25,0	32,90	8,10
	8		25,0	33,10	8,10
	9		25,2	33,60	8,10
	10	5,00	25,2	33,60	8,10

Resultados que não se enquadram nos padrões estabelecidos pela CONAMA 357/05 para as águas salinas de Classe

1, destinadas à recreação de contato primário, proteção das comunidades aquáticas e criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

2ª Coleta

Em linhas gerais, não foi verificada estratificação na coluna d'água para o parâmetro temperatura. Em águas superficiais (0 e 3 metros), do meio (entre 4 e 6 metros) e profundas (entre 7 e 10 metros) na coluna d'água, as temperaturas oscilaram entre 21 e 24,5°C, sendo a mais baixas registradas nas estações 8, 9 e 10 e a mais alta na estação 6.

Quanto à salinidade, os valores não sofreram grandes oscilações na coluna d'água (entre 32,40 e 33,80 UPS), divergindo da 1ª coleta, cuja variação atingiu quase 4 UPS. É possível constatar que o aumento no gradiente salino em direção ao fundo também não foi significativo.

Baseado nos resultados das amostras é possível afirmar que houve uma diminuição na quantidade do material particulado suspenso em relação à 1ª coleta, variando entre 0,15 e 1,60 UNT, sendo na superfície verificado os maiores valores, entre 0,80 e 1,60 UNT. Quanto ao material coletado no fundo, foram encontrados valores que variaram entre 0,15 e 0,40 UNT. Não foi verificada a mesma influência da descarga de esgoto na estação 01, relatada na coleta do mês de Abril, sendo os valores mais altos nas estações 5, 6 e 7.

A variação do pH na coluna d'água nesta época do ano também não foi significativa, permanecendo entre 8,03 e 8,19 (tabela 06).

Tabela 06 - Resultados de qualidade da água do mar (Campanha de Outubro 2004 – área de influência do Emissário de Santos) (CETESB, 2004)

Pontos Amostrais	Profundidade (m)	Turbidez (UNT)	Temperatura (°C)	Salinidade (UPS)	pH
1	0	0,80	21,5	32,40	8,09
	1		21,5	32,40	8,09
	2		21,5	32,40	8,09
	3		21,5	32,40	8,09
	4		21,5	33,40	8,11
	5	0,25	21,5	33,60	8,14
	6		21,5	33,60	8,15
	7		21,5	33,70	8,19
	8		21,5	33,80	8,14
	9	0,40	21,5	33,80	8,13
2	0	1,00	22,5	32,80	8,07
	1		22,5	32,80	8,07
	2		22,5	32,80	8,08
	3		22,5	32,80	8,08
	4	0,60	22,5	33,00	8,08
	5		22,5	33,40	8,09
	6		22,5	33,60	8,15
	7		22,5	33,70	8,15
	8		22,5	33,70	8,14
	9	0,15	22,5	33,80	8,14
3	0	0,35	23,0	32,80	8,03
	1		23,0	32,80	8,10
	2		23,0	32,80	8,09
	3		23,0	32,80	8,11
	4	0,15	23,0	33,00	8,11
	5		23,0	33,00	8,11
	6		23,0	33,10	8,11
	7		23,0	33,20	8,12
	8		23,0	33,40	8,12
	9		23,0	33,70	8,14
	10	0,30	23,0	33,60	8,14
4	0	0,15	23,0	32,80	8,11
	1		23,0	32,80	8,11
	2		23,0	32,80	8,11
	3		23,0	32,80	8,11
	4		23,0	33,20	8,11
	5	0,25	23,0	33,50	8,11
	6		23,0	33,60	8,11
	7		23,0	33,60	8,13
	8		23,0	33,60	8,14
	9	0,20	23,0	33,70	8,14
5	0	1,20	23,0	32,70	8,07
	1		23,0	32,70	8,07
	2		23,0	32,80	8,07
	3		23,0	33,00	8,08
	4	1,00	23,0	33,00	8,10
	5		23,0	33,20	8,11
	6		23,0	33,60	8,13
	7		23,0	33,60	8,15
	8		23,0	33,70	8,15
	9	0,25	23,0	33,70	8,14

Turbidez (UNT)

Ausente

Salinidade (UPS)

≥ 30

pH

6,5 a 8,5

Limite de detecção estabelecido pela CONAMA 35705

Pontos Amostrais	Profundidade (m)	Turbidez (UNT)	Temperatura (°C)	Salinidade (UPS)	pH
6	0	1,60	24,5	32,70	8,08
	1		24,5	32,80	8,09
	2		24,5	32,80	8,09
	3		24,5	32,80	8,11
	4	0,75	24,5	33,00	8,11
	5		24,5	33,20	8,11
	6		24,5	33,20	8,11
	7		24,5	33,60	8,15
	8		24,5	33,70	8,16
	9	0,40	24,5	33,70	8,16
7	0	1,10	22,5	32,80	8,09
	1		22,5	32,80	8,09
	2		22,5	32,80	8,09
	3		22,5	32,90	8,10
	4		22,5	33,00	8,11
	4,5	0,45	22,5	33,10	8,12
	5		22,5	33,20	8,12
	6		22,5	33,30	8,11
	7	0,35	22,5	33,60	8,14
8	0	0,20	21,0	33,10	8,14
	1		21,0	33,10	8,14
	2		21,0	33,10	8,14
	3		21,0	33,20	8,13
	4	0,30	21,0	33,20	8,13
	5		21,0	33,20	8,13
	6		21,0	33,30	8,13
	7		21,0	33,30	8,13
	8		21,0	33,60	8,14
	9	0,25	21,0	33,70	8,15
9	0	0,20	21,0	33,10	8,13
	1		21,0	33,10	8,13
	2		21,0	33,10	8,13
	3		21,0	33,10	8,14
	4	0,25	21,0	33,10	8,13
	5		21,0	33,20	8,13
	6		21,0	33,40	8,13
	7		21,0	33,50	8,14
	8		21,0	33,60	8,14
	9	0,20	21,0	33,60	8,15
10	0	0,35	21,0	33,20	8,14
	1		21,0	33,20	8,14
	2		21,0	33,20	8,14
	3		21,0	33,30	8,14
	4		21,0	33,30	8,14
	4,5	0,30	21,0	33,30	8,13
	5		21,0	33,40	8,13
	6		21,0	33,50	8,13
	7		21,0	33,40	8,14
	8	0,25	21,0	33,70	8,15

Resultados que não se enquadram nos padrões estabelecidos pela CONAMA 357/05 para as águas salinas de Classe 1, destinadas à recreação de contato primário, proteção das comunidades aquáticas e criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

6.2. Condições Pluviométricas

1ª Coleta

Os dados pluviométricos referentes ao ano de 2004, obtidos no Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 2005), indicaram que nos meses de verão antecessores à 1ª coleta (Janeiro, Fevereiro e Março), o total de chuva acumulada foi de 1162,20 mm perfazendo uma média de 387,40 mm/mês. Na semana precedente à coleta, realizada no dia 27 de Abril, houve um acúmulo de chuva de 181,40 mm, como pode ser observado na tabela abaixo (Tabela 07).

Tabela 07 – Dados Pluviométricos de Santos/SP – Abril de 2004

DADOS PLUVIOMÉTRICOS - SANTOS/SP		
ABRIL 2004		
DIA	LEITURA DO DIA	ACUMULADO DO MÊS, INCLUSIVE LEITURA DO DIA
21	8,9	166,9
22	26,9	193,8
23	0,0	193,8
24	0,0	193,8
25	94,9	288,7
26	50,2	338,9
27 (dia da coleta)	0,5	339,4
TOTAL DO MÊS	181,4	339,4

No mês anterior, foi registrada a passagem de um ciclone pelo litoral do Brasil, denominado Ciclone Catarina (figura 11), provocando grandes ressacas em regiões costeiras do sul e sudeste brasileiro, ocasionando aumento no tamanho das ondas, aceleração na velocidade dos ventos. Tal evento, muito provavelmente, deve ter promovido remobilização dos sedimentos no fundo da Baía de Santos e alterado algumas de suas condições originais.

Figura 11 – Imagem de satélites meteorológicos, no canal infravermelho, para o dia 26/03/2004, quando o Ciclone Catarina mais se aproximou da costa do Sudeste. Fonte: *Geocities*, 2008

2ª Coleta

Nos meses que antecederam a 2ª coleta (Julho, Agosto e Setembro), o total acumulado de chuva foi de 711,60 mm, perfazendo uma média de 237,20 mm, o que caracteriza um período de estiagem. Dos meses acima, o mês de julho foi um mês atípico, registrando uma média de 336,10 mm. Nos dias que antecederam a coleta, houve um acúmulo de chuva de 33,80 mm, inclusive com chuva fraca no dia da coleta, 05 de Outubro, onde se registrou precipitação em torno de 5,2 mm, como exposto na tabela 08 abaixo.

Tabela 08 – Dados Pluviométricos de Santos/SP – Outubro de 2004

DADOS PLUVIOMÉTRICOS - SANTOS/SP		
OUTUBRO 2004		
DIA	LEITURA DO DIA	ACUMULADO DO MÊS, INCLUSIVE LEITURA DO DIA
1	0,0	0,0
2	0,0	0,0
3	28,6	28,6
4	0,0	28,6
5 (dia da coleta)	5,2	33,8
TOTAL DO MÊS	114,2	

6.3. Granulometria

1ª Coleta

Os sedimentos coletados apresentaram granulometria entre os campos areia e areia siltosa, não sendo possível determinar uma predominância de uma das frações para esses sedimentos, conforme estabelecido pelo método que se baseia a tabela de Shepard (1954), demonstrado pela figura 12.

Figura 12 – Classificação granulométrica dos sedimentos da 1ª coleta, segundo a classificação de Shepard (1954)

2ª Coleta

Nesta 2ª amostragem foi possível constatar uma tendência dos sedimentos migrando do campo areia em direção ao campo silte arenoso com predomínio pelo campo areia siltosa. (Figura 13).

2ª Coleta

Para as amostras analisadas nesta coleta, foram verificados valores muito semelhante a coleta de Abril, estes permanecendo entre 8,38 e 13,98.

Quanto a razão C/S, apenas as estações 3 e 5 permaneceram abaixo de 3 (1,80 e 2,52, respectivamente). As demais variaram num intervalo entre 3,26 e 11,78 (Tabela 10).

Tabela 10 – Dados geoquímicos, razões C/N e C/S obtidos em Outubro de 2004

Estação	% Carbono Orgânico	%Nitrogênio Total	% Enxofre Total	Razão C/N	Razão C/S
1	0,94	0,070	0,186	13,43	5,05
2	1,65	0,118	0,299	13,98	5,51
3	0,67	0,080	0,372	8,38	1,80
4	1,93	0,220	0,278	8,77	6,94
5	1,11	0,090	0,440	12,33	2,52
6	0,92	0,100	0,165	9,20	5,57
7	1,60	0,160	0,491	10,00	3,26
8	0,65	0,050	0,153	13,00	4,25
9	0,83	0,080	0,124	10,37	6,69
10	0,86	0,090	0,073	9,55	11,78

Ambiente semi-anóxico

6.5. Dispersão dos Sedimentos

1ª Coleta

Com os dados obtidos para as diversas granulometrias nas duas coletas, construíram-se diagramas *Surfer* de dispersão correspondentes as três granulometrias principais de sedimentos quais sejam *sedimentos em suspensão de fundo*, *sedimentos finos* e *areias*.

É possível verificar que há um sentido predominante na dispersão dos *sedimentos em suspensão de fundo*, sofrendo uma ação centrífuga, onde os sedimentos divergem do ponto 01, local de difusão do emissário. O mesmo ocorre para os *sedimentos finos*, porém estes divergem do ponto 03 (Figuras 14 e 15).

Para as *areias* observamos um movimento inverso dos sedimentos finos e em suspensão, visivelmente centrípeto, convergindo para o ponto 03 (Figura 16).

Figura 14 - Dispersão dos sedimentos em suspensão de fundo

Figura 15 - Dispersão dos Sedimentos Finos

Figura 16 - Dispersão de Areia

2ª Coleta

Nesta amostragem, verifica-se que os *sedimentos em suspensão de fundo* e as *areias* apresentam um mesmo sentido de deslocamento, divergente da 1ª amostragem. Ambos os sedimentos partem da estação 01 (desembocadura do emissário) (Figuras 17 e 19).

Os *sedimentos finos* apresentam deslocamento em direção ao ponto 08, ou seja, sentido sudeste-norte, sendo possível afirmar que a tubulação do emissário (ponto 01) esteja agindo como uma barreira antes de ocorrer a dispersão, como demonstra a figura 18.

Figura 17 - Dispersão dos sedimentos em suspensão de fundo

Figura 18 - Dispersão dos Sedimentos Finos

Figura 19 - Dispersão de Areia

6.6. Análises Químicas

As análises foram realizadas nos Laboratório de Fluorescência de Raios X e no Laboratório de Química do Instituto de Geociências da USP. Os elementos analisados foram Alumínio, Magnésio, Potássio, Cálcio, Ferro, Titânio, Sódio, Bário, Silício, Cobre, Zinco, Cromo, Manganês, Cobalto, Níquel e Enxofre (gráficos 02 e 03).

Tendo como base a tabela encontrada no anexo dessa dissertação foram construídos diagramas em forma de bolha para análise da concentração dos elementos citados acima.

Os números descritos abaixo de cada bolha correspondem à porcentagem (%) para os elementos maiores (Al, Mg, K, Ca, Fe, Ti, Na e Si) e a ppm para os elementos traço (Ba, Cu, Zn, Cr, Mn, Co, Ni e S). A interpretação dos resultados obtidos com a confecção desses diagramas está contida no Capítulo 07.

Vale ressaltar que os gráficos que representam a 1ª coleta não apresentam dados para elementos traço na estação 02 em sua totalidade e na estação 03 para os elementos Mn e S, devido a ausência ou pequena quantidade de amostra de sedimentos que não permitiram uma análise segura.

1ª Coleta **Gráfico 02** – Análises químicas dos elementos – 1ª Coleta

Gráfico 02 – Análises químicas dos elementos – 1ª Coleta (Cont.)

Gráfico 02 – Análises químicas dos elementos – 1ª Coleta (Cont.)

2ª Coleta

Gráfico 03 – Análises químicas dos elementos – 2ª Coleta

Gráfico 03 – Análises químicas dos elementos – 2ª Coleta (Cont.)

Nesta dissertação, utilizou-se como valor de referência os listados em estudo de Lynch (1990), em função da ausência na tabela PEL/TEL de valores de referência para alguns elementos aqui estudados e analisados em sedimentos marinhos.

Os valores usados nesse trabalho encontram-se listados como STSD-4 (Tabela 11) e tem a finalidade de estabelecer comparações com os dados obtidos para os sedimentos da malha amostral. Embora a listagem de Lynch (1990) trate de sedimentos fluviais, esses foram empregados na completa ausência de indicadores que permitissem uma mínima comparação nesse caso. O gráfico 4 representam o comportamento dos elementos nas duas coletas distintas em comparação com o limite estabelecido por Lynch.

Tabela 11 - Valores Referência STSD-4 (LYNCH, 1990)

Elementos Maiores	%	Elementos Traço	µg/g
Al ₂ O ₃	12,1	Ba	2000
MgO	2,1	Cu	65
K ₂ O	1,6	Zn	107
CaO	4,0	Cr	93
Fe ₂ O ₃	5,7	Co	13
TiO ₂	0,8	Ni	30
Na ₂ O	2,7	S	0,09
SiO ₂	58,9		
MnO	0,2		

Nos diagramas de correlação de concentração de elementos nas duas coletas versus os valores de referência (STSD) abaixo, a legenda indica que o nº 1 corresponde a 1ª coleta e o nº 02, a segunda coleta. Quanto à linha vermelha, esta corresponde ao limite de referência STSD-4 para cada elemento analisado.

Gráfico 04 – Comportamento dos elementos versus valores limites de referência

Gráfico 04 – Comportamento dos elementos versus valores limites de referência (Cont.)

Comparando-se os valores encontrados nas análises realizadas nos sedimentos com os valores propostos no trabalho de Lynch (1990), verificou-se que apenas os elementos Co e K (em todas as estações e coletas), o Si (com exceção da 4ª estação da 2ª coleta) e o S (com exceção da 5ª estação da 1ª coleta) estavam acima do recomendado. Para o elemento Na apenas as estações 02 e 04 da 2ª coleta ultrapassaram os valores de referência.

Deve-se ainda ter em consideração que os valores comparados pertencem a ambientes distintos. Lynch (1990) estabelece esses limites para ambientes fluviais e as amostras analisadas provêm de ambientes marinhos. Assim, essas correlações são indicativas e não restritivas.

7. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS OBTIDOS

7.1. Parâmetros Físico-químicos

7.1.1. Características Gerais das Colunas de Água

Considerando que as coletas foram realizadas no término das estações de verão e inverno, era presumível que a temperatura detectada na 1ª amostragem seria mais elevada que na 2ª amostragem, o que foi verificado.

Porém, de acordo com SILVA et al (2005), ambos os meses sofreram influência da Água Costeira (AC), massa de água com alto valor de temperatura e baixo valor de salinidade. Tal massa de água durante os dois períodos de coleta manteve as temperaturas superiores a $>20^{\circ}\text{C}$. Na primeira coleta a máxima encontrada foi $24,5^{\circ}\text{C}$ e, no mês de outubro, a máxima observada ficou na casa dos 21°C . Afirmção semelhante pode ser utilizada quanto à salinidade, onde na 1ª coleta os valores máximos encontrados foram 33,70 UPS e na 2ª coleta, 33,80 UPS, permanecendo abaixo dos 35 UPS, valor influenciado pela massa de Água Costeira.

Quanto à turbidez verificada nos pontos analisados, é possível afirmar que, devido às quantidades de chuvas ocorridas na estação de verão, os sedimentos são mais facilmente remobilizados e ressuspensos, provocando o aumento dos sólidos em suspensão nesta época do ano, não sendo verificado o mesmo comportamento na segunda coleta.

7.2. Condições Pluviométricas

Os meses que correspondem ao verão são os meses mais chuvosos, com isso, a quantidade de chuva está diretamente relacionada aos resultados obtidos para turbidez, granulometria e dispersão dos sedimentos.

É possível afirmar que o ano de 2004 foi atípico para o continente sul-americano, principalmente para as regiões sul e sudeste do Brasil, por sofrer influência de fenômenos climáticos, por exemplo, o Ciclone Catarina. Este se aproximou da costa brasileira no final do mês de março, provocando estragos de grandes proporções como o aumento no tamanho das ondulações e aceleração dos ventos, remobilizando, com elevada probabilidade, os sedimentos da baía de Santos.

7.3. Granulometria

Também a granulometria sofre a influência da pluviometria. Comparando as duas coletas, verifica-se que as estações da 1ª coleta são compostas por areia e areia siltosa e na 2ª, foi identificado, além da areia siltosa, o silte arenoso. Esse quadro de migração para uma granulometria mais fina se dá pela remobilização do material particulado na 1ª coleta, segundo classificação de Shepard (1954).

Acredita-se que o aumento da entrada de água no sistema proveniente das chuvas ocorridas no período e a passagem do ciclone pela costa litorânea tenham provocado tal remobilização.

7.4. Razões C/N e C/S

Para determinar se há predominância de contribuição continental ou marinha na matéria orgânica presente nos sedimentos foi empregada a razão C/N que também é indicativa do grau de alteração diagenética e biológica da matéria orgânica (TYSON, 1995). Para esse autor a matéria orgânica proveniente do continente pode ser identificada pelo alto teor de carbono e baixos conteúdos de proteína (<10%), resultando em um valor alto para a razão C/N. O fitoplâncton possui massa corporal rica em proteína e representa grande parte da matéria orgânica de origem marinha presente nos oceanos.

Mahiques *et al.* (1999) afirmam que a razão C/N poderia ser facilmente utilizada como parâmetro para a avaliação da influência de matéria orgânica de origem marinha ou terrígena.

De acordo com Bader (1955), a razão C/N para matéria orgânica com valores abaixo de 6 indica origem marinha e acima de 15, de origem continental. Os valores intermediários indicam mistura de fontes marinhas e continentais. Já Saito et al (1989) afirmam que valores de razão C/N acima de 20 indicam M.O. de origem continental e entre 5 e 7 como proveniente de organismos marinhos. De acordo com Maglioca & Kutner (1964) valores para razão C/N acima de 10, indicam aumento de detritos vegetais, com elevado conteúdo de lignina e celulose.

Utilizando como referência os valores demonstrados por Bader (1955), os resultados encontrados na matéria orgânica para a razão C/N, tanto para a 1ª coleta como na 2ª, nessa dissertação, são predominantemente de origem mista, com exceção

das estações 1 e 4 das amostras coletadas em Abril, os quais apresentaram uma tendência para origem continental. Os resultados apresentados permitem afirmar que a influência dos materiais provindos do emissário predomina sobre a influência exercida pela matéria orgânica na delimitação da razão C/N de origem marinha.

Os valores das razões C/S são utilizados para inferir o potencial de oxi-redução do ambiente, onde valores de razão inferiores a 3 indicam ambiente redutor e acima de 3, ambiente oxidante (STEIN, 1991; BORREGO et al., 1998).

Comparando as duas coletas, apenas em três estações na 1ª amostragem e em duas, na 2ª amostragem, apresentaram valores para razão C/S menores que 3, onde é possível considerar que somente os referidos pontos tendem a um ambiente com pouco oxigênio, portanto, semi-anóxico. As demais estações tendem a um ambiente oxidante, pois a razão C/S permaneceu acima do indicado pela literatura.

7.5. Dispersão dos Sedimentos

Nesta dissertação os sedimentos de fundo coletados demonstram se encontrar entre areia e areia siltosa (1ª coleta) e areia siltosa e silte arenoso na 2ª coleta, como foi apresentado no item 7.3.

Os sedimentos em suspensão obtidos no momento da amostragem podem representar material que acabou de ser introduzido no meio marinho ou pela descarga do emissário ou trazido pelas correntes locais. Já o sedimento que foi coletado nos pontos de amostragem no fundo da baía, é um material que representa um momento não atual, podendo tratar-se de sedimentos de períodos diferentes de descarga e de pluviosidade, no entanto, também trazidos pelo emissário ou pelas correntes marinhas.

As correntes representam fator importante de influência sobre a dispersão dos sedimentos, seja os sedimentos de fundo como os em suspensão.

7.6. Análises Químicas

No decorrer das investigações nessa dissertação foram realizadas análises químicas dos sedimentos de fundo, não tendo sido analisados os sedimentos em suspensão.

Para determinar os elementos químicos a serem analisados, foram considerados os encontrados em ambientes terrestres e/ou marinhos e os presentes nos minerais formadores de rochas, que acabam por ser transportados em direção aos oceanos pelas chuvas, após terem sido fragilizados por processos de intemperismo e/ou erosão (SOARES, 1992). Como a estação de tratamento de esgoto recebe a carga de esgoto e também uma parcela da carga de sedimentos provindas das chuvas, esses dois produtos acabam por atingir a saída no emissário e, uma vez em ambiente aquático, esses produtos, com seus respectivos elementos constituintes, são incorporados ao ciclo biogeoquímico, tornando-se importantes indicadores das condições ambientais.

Tais elementos estão presentes nos seguintes minerais e apresentam as seguintes fórmulas gerais (HURLBUT, 1985):

- ✓ Feldspatos Potássicos - $K(AlSi_3O_8)$, podendo haver substituição do K por Na;
- ✓ Piroxênios - descrito como XYZ_2O_6 , onde X representa Na^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} e Li; Y representa Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} e Ti^{4+} e Z representa Si^{4+} e Al^{3+} ;
- ✓ Anfibólios - $W_{0-1}X_2Y_5Z_8O_{22}(OH, F)_2$, onde W representa Na e K, X significa Ca^{2+} , Na^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} e Li^+ , Y representa Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} e Ti^{4+} e Z se refere a Si^{4+} e Al^{3+} ;
- ✓ Biotitas - com fórmula $(AlSi_3O_{10})K(Mg, Fe)_3(OH)_2$, onde o Mg pode ser substituído pelo Fe^{2+} ou Fe^{3+} e o Al por Si e também o Na, Ca, Ba, Rb e Cs podem substituir o K;
- ✓ Olivinas - descrita por $K(Mg, Fe)_3(OH, F)_2(Al, Fe)Si_3O_{10}$;
- ✓ Plagioclásios – apresenta como fórmula geral $(Ca, Na)Al(Al, Si)Si_2O_8$, onde Ca e Na podem se substituir na estrutura cristalina dos minerais.

Analisando os gráficos 02 e 03, Capítulo 6, item 6.6, pode ser observado uma orientação no sentido da dispersão dos elementos maiores, de sudeste para leste, na 1ª coleta, onde as concentrações mais altas estão nas estações 2, 3 e 7, com exceção do Silício e Potássio. Para os elementos traços não foi observada tal orientação, exceto para o Manganês.

Para 2ª coleta, os diagramas demonstraram que as concentrações mais altas dos elementos maiores apresentam um sentido sudeste-noroeste (estações 2, 4 e 7), sendo observado comportamento semelhante para os elementos traços apenas para Zn e Ni.

Tal comportamento dos elementos sugere que produtos das alterações por intemperismo dos minerais formadores de rochas do entorno da baía, principalmente os piroxênios, anfibólios e plagioclásios, podem estar sendo carregados para o interior da baía pela erosão e transporte provocada pelas chuvas.

A análise dos *diagramas de correlação de concentração de elementos nas duas coletas versus os valores de referência (STSD)* corrobora, em parte, com o observado nos gráficos 02 e 03, demonstrando que os elementos analisados são fortemente influenciados pela carga de material provindo do continente no período das chuvas, já mencionado e publicado em Mandaji & Sígolo (2006). Tal fato é demonstrado pelos diagramas dos elementos Fe, Ti, Al, Na, Mg e Ca. Os mesmos exibem a mesma assinatura de distribuição onde, nos pontos de coleta 2 e 3, os valores são quase sempre maiores dos observado nos restantes pontos de coleta. Por se tratarem de elementos maiores e associados diretamente a produtos de alteração de minerais formadores de rocha, esses não se dispersam em demasia, razão pela qual se encontram depositados nas proximidades do difusor do emissário.

Por outro lado, quando se analisa a distribuição dos elementos Ba, Cu, Zn, Cr, Mn, Ni e Co, verifica-se que também para as concentrações desses elementos no período correspondente a maior pluviosidade, há uma maior concentração desses nos pontos próximos do ponto de coleta 1 (saída do emissário). Alguns detalhes podem ser considerados, como o elemento Bário que, embora as duas curvas sejam bastante próximas e não haja amostra analisada no ponto 3, a totalidade dos valores obtidos na 1ª amostragem se encontra acima da linha dos valores obtidos na 2ª e as maiores concentrações se encontram proximais ao difusor do emissário para o período de maior pluviosidade.

Considerando o Bário um mineral secundário e que esse elemento possui elevado peso atômico, pressupõe-se que o mesmo não possa ser facilmente transportado por longas distâncias nesse ambiente, a não ser que haja fluxo suficiente para isso, ou seja, período de intensas chuvas transportando-o até a saída do emissário e aí permanece.

Em uma análise detalhada para os elementos restantes, observa-se o mesmo comportamento para o Cu, ou seja, nos pontos de coleta 1 e, provavelmente nos pontos 2, 3 e 4, exibem valores maiores de concentração para o período de maior pluviosidade.

Para o Cr o mesmo se repete para as amostras coletadas nos pontos 3 e 4. Para o Mn, no ponto 3, para o Ni, no 2 e para o Co, no 1 e 2, provavelmente também no 3. A única exceção se reporta ao enxofre.

Quanto aos valores de referência adotados para essa dissertação, é possível afirmar que o emissário esteja influenciando nas concentrações de alguns elementos de origem antropogênica, como o Cobalto e Enxofre, visto que esses foram encontrados em valores acima do limite aceitável. O fato de o enxofre ser empregado com frequência na composição de desinfectantes e em detergentes, e o cobalto, em tintas, vernizes e pigmentos, fica clara sua origem a partir do continente e comprova ser o emissário o caminho natural para atingir os sedimentos coletados e analisados nessa dissertação. Em relação ao Potássio e o Silício, estes são encontrados em abundância em ambientes marinhos, não sendo possível usá-los como referência.

8. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. A pluviosidade influencia no aporte de sedimentos que adentra na região da Baía de Santos pelo emissário submarino de esgoto, interferindo no comportamento dos sedimentos amostrados e analisados. Fica evidente que em períodos de maior intensidade de chuvas, as partículas menores de rochas intemperizadas são mais facilmente remobilizadas, enquanto que as partículas maiores acabam permanecendo no local dos processos de alteração dessas rochas.
2. As frações granulométricas predominantes observadas nas amostras coletas no entorno do emissário compõe-se essencialmente de sedimentos em suspensão e areias, não sendo encontradas frações mais finas (argila) nessas amostras.
3. A dispersão das diferentes granulometria de sedimentos na área estudada sofre influência do fluxo dos materiais descartados no difusor do emissário. Essa correlação poderia ser melhor delimitada se houvesse sobreposição e comparação com os dias de bombeamento versus os dias das coletas de amostras de sedimentos realizadas. Porém tais dados não foram obtidos o que não permite afirmar com segurança que o fluxo oriundo da descarga do emissário provocasse comportamentos distintos na dispersão dos sedimentos.
4. Com base nos valores obtidos para a razão C/N é possível afirmar que a matéria orgânica que adentra no sistema seja de origem mista. Com isso, a M.O. pode apresentar tanto origem continental como marinha como foi demonstrado no capítulo 7 dessa dissertação. Também os valores encontrados para a razão C/S impossibilitam afirmar a influência do efluente de esgoto, uma vez que apenas em dois pontos foi verificado um ambiente semi-anóxico.
5. Fica evidente o aporte dos elementos maiores, Fe, Ti, Al, Na, Mg e Ca, presentes nos minerais formadores rochas para o local de coleta dos sedimentos do entorno do difusor do emissário. Tal entrada nesse ambiente é facilitada e potencializada pela ação das chuvas. Essas aceleram não só o intemperismo das rochas na área continental como favorecem o carreamento desses materiais intemperizados.
6. Do elenco de elementos analisados nota-se que apenas o Cobalto, elemento considerado micronutriente dentro de valores limites toleráveis, e o Enxofre, cuja

origem é estritamente antropogênica, estão acima dos limites de referência considerados nessa dissertação.

7. Considerando esses valores anômalos para enxofre e cobalto pode-se afirmar que o tratamento dispensado aos efluentes domésticos que adentram a Estação de Pré-Condicionamento de esgoto não está sendo eficiente para o controle e eliminação desses elevados valores (considerando os limites aqui empregados para comparação) desses dois elementos. Para tratar efluentes que contenham enxofre acima de limites de referência deve ser empregado tratamento secundário com utilização de filtro anaeróbio e ou filtro biológico.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABESSA, D.M.S. (2002). Avaliação da qualidade de sedimentos do sistema estuarino de Santos, SP, Brasil. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo – USP. 209p.
- ADRIANO, D.C. (1986). Trace Elements in the Terrestrial Environment. Ed. Springer-Verlag. New York, USA. 533p.
- ALLOWAY, B.J & AYRES, D.C. (1997). Chemical Principles of Environmental Pollution. Ed. Blackie Academic & Professional. London, UK. 395p.
- ALLOWAY, B.J. (1995). Heavy Metals in Soils. Ed. Blackie Academic & Professional. London, UK. 368p. 2ª Ed.
- ARASAKI, E. (2004). Sistemas predominantes de tratamento de esgoto na costa paulista – metodologia para tomada de decisão. Tese de Doutorado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo – USP. 252p.
- AZEVEDO, A. (1965). A Baixada Santista. Aspectos Geográficos. EDUSP, SP. 4 vol.
- 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 processo sedimentar atual no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo – USP.
- 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.
- BUSCAIL, R.; POCKLINGTON, R & GERMAIN, C. (1995). Seasonal Variability of the Organic Matter in a Sedimentary Coastal Environment: Sources, Degradation and Accumulation (continental shelf of the Gulf of Lions-NW Mediterranean Sea) *Continental Shelf Research*, vol. 15 nº 7, 843-869.
- CENSO DEMOGRÁFICO – IBGE (2000). Rio de Janeiro
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (2005). Qualidade das águas litorâneas no estado de São Paulo. Balneabilidade das praias 2004/CETESB. São Paulo, SP. 331p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (2003). Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br/Noticias/003/12/01_emissarios.asp. Acesso em: 05 de março de 2007.

- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1999). Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 1998. SP, Série Relatórios, 112p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1993). Norma Técnica CETESB L5.202 – Coliformes totais e fecais – Determinação pela técnica de tubos múltiplos: Método de ensaio.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1978). Poluição das águas no Estuário e Baía de Santos. Vol. 1.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1968). Norma Técnica CETESB L5.169 – Determinação de oxigênio dissolvido em águas – Método de Winkler modificado pela ázida sódica: Método de ensaio.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. SIGRH - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo. Banco de Dados Pluviométricos 2005. Disponível em: www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu. Acesso em: 16 de agosto de 2007.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação Solos (1999). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos 412p.
- FORTIS, R.M. (2005). Modelagem computacional da dispersão das plumas dos emissários submarinos do TEBAR – Petrobrás. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo – USP. 181p.
- FÚLFARO, V. J. & PONÇANO, W.L. (1976). Sedimentação atual do estuário e Baía de Santos: um modelo aplicado a projetos de expansão da zona portuária. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia (1):67-90.
- FUNDESPA, (1999). Levantamento oceanográfico da área diretamente afetada por efluentes de emissários submarinos de esgotos da SABESP, entre os municípios de São Sebastião e Mongaguá, Estado de São Paulo. Relatório Final. Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas. São Paulo. 182p.
- GEOCITIES (2004). Imagem de satélite meteorológico do Ciclone Catarina próximo à costa Sudeste Brasileira. Disponível em: www.geocities.com/agbcg/hcec.pdf. Acesso em: 25 de outubro de 2007.
- GONÇALVES, F. B. & SOUZA, A.P., (1997). Disposição oceânica de esgotos sanitários: história, teoria e prática. ABES, Rios de Janeiro, 325p.

- GRAY, L.A. (1996). Metal Contamination of Sediments Associated with Deepwater Ocean Sewage Outfalls, Sydney, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 33, Nos 7-12, 182-189.
- HAINES, R.C; HARRIS, M.R. (1987). Main types of contaminants. Reclaiming contaminated land. Ed. Black & Son Ltd., p. 39-30.
- 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. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo – USP. 245p.
- HURLBUT, C. S.; KLEIN, C. (1985). Manual de Mineralogia de Dana. Ed. Reverté. 19ª edição. Barcelona, Espanha. 564p.
- IRWIN, R. A.; BRIGNAL, W. J.; BISS, M. A. (1989). Experiences with the Deep-shaft Process at Tilbury. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*. Vol. 3, No. 3, p. 280-287.
- ISRAEL MINISTRY OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION (2007). Wastewater. Disponível em: www.sviva.gov.il. Acesso em: 15 de agosto de 2007.
- KABATA-PENDIAS & PENDIAS. (1984). Trace elements in soils and plants. Boca Raton. Ed. CRC. 315p.
- LAMPARELLI, C. C.; ORTIZ, J. P. (2006). Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento. São Paulo: SMA, 2006. 240p.
- LIMA, M. R. B. L. M. A. (2000). Natureza e origem da matéria orgânica depositada sobre os sedimentos superficiais ao longo da plataforma continental entre as cidades do Rio de Janeiro (RJ) e São Francisco do Sul (SC). Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico – USP – São Paulo. 115p.
- LYNCH, J. (1990). Provisional elemental values for eight new geochemical Lake sediment and stream sediment reference materials LKSD-1, LKSD-2, LKSD-3, LKSD-4, STSD-1, STSD-2, STSD-3 and STSD-4. *Geostandards Newsletter*, Vol. 14, nº 01, 153-167.
- MAGLIOCCA, A. & KUTNER, A. S. (1964). Conteúdo orgânico do sedimento de fundo da região de Cananéia. Publicação especial do Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. Nº. 195.

- MAHIQUES, M. M; MISHIMA & M. RODRIGUES. (1999). Characteristics of the Sedimentary Organic Matter on the Inner and Middle Continental Shelf between Guanabara Bay and São Francisco do Sul, Southesatern Brazilian margin. *Continental Shelf Research*, 19, 775-798.
- MAHIQUES, M. M. (1992). Variações temporais na sedimentação quartenária dos embaimentos da região de Ubatuba, Estado de São Paulo. Teses de Doutorado. Instituto de Oceanografia. Universidade de São Paulo – USP. 352p.
- MANDAJI, D. & SÍGOLO, J. B. (2006). Conteúdo de Mn, Mg, Na, K, Ti e Fe em sedimentos marinhos. Aporte do Emissário de Santos. Congresso Brasileiro de Geologia (43): p. 67.
- MARCELLINO, E. B. (2000). Sistematização dos projetos de emissários submarinos da SABESP e avaliação de desempenho através do modelo computacional CORMIX. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica. Universidade São Paulo – USP. 272p.
- MARTINS, C. C. (2005). Marcadores Orgânicos Geoquímicos em testemunhos de sedimento do Sistema Estuarino de Santos e São Vicente, SP: um registro histórico da introdução de hidrocarbonetos no ambiente marinho. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo – USP. 215p.
- MASSACHUSETTS WATER RESOURCES AUTHORITY (2007). The Sewer System. Disponível em: www.mwra.state.ma.us. Acesso em: 30 de outubro de 2007.
- McDOWELL, D.M AND O’CONNOR, B.A. (1977) Hydraulic Behaviour of Estuaries. London. Ed. Macmillan. 292p.
- MENEZES, M. A. S. (1992). Ferro-bactérias em água subterrânea: estudo de casos no Ceará. Dissertação de Mestrado. São Paulo. 82p.
- MEYERS, P.A. (1997). Organic Geochemical Proxies of Paleoceanography, Paleoliminologic and Paleoclimatic Processes. *Organic Geochemistry*. Vol. 27, 213-250.
- MÜLLER, P.J. (1977). C/N Ratios in Pacific Deep-Sea Sediments: Effect of Inorganic Ammonium and Organic Nitrogen Compounds Sorbed by clays. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41, 765-776.
- PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L. and MCMAHON, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. Volume 11, n° 5: 1633-1644

- PETTIJOHN, F. J. (1975) Sedimentary Rocks. New York. Ed. Harper & Row. 3ª Edição. 628p.
- PONÇANO, W. L. (1985). Sedimentação Atual Aplicada a Portos no Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo – USP. 278p.
- RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, 17 de março de 2005.
- SAITO, Y; NISHIMURA, A. & MATSUMOTO, E. (1989). Transgressive and sheet covering the Shelf and upper slope off Sendai, Northeastern Kapan. *Marine Geology*, 89 (3/4), p. 245-258.
- SHEPARD, F. P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*. Vol. 24, nº 3: 151-158.
- SIEGEL, F.R. (Ed.) (1979). Review of research on modern problems in geochemistry. Earth Sciences, Vol. 16. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. N.Y.
- SILVA, A.C.; ARAÚJO, M.; BOURLÈS, B. (2005). Variação sazonal da estrutura de massas de água na plataforma continental do Amazonas e área oceânica adjacente. *Revista Brasileira de Geofísica* 23(2): 145-157.
- SOARES, J.A. (1992). Uma contribuição ao estudo do ciclo geoquímico dos metais pesados no ambiente marinho: determinação das concentrações de cromo total em sedimentos marinhos, provenientes da enseada do Flamengo (SP) e Saco de Mamanguá (RJ), por meio de ICP-AES e AAS. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo – USP. 139p.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER (1995) Washington DC: *American Public Health Association*, 19th ed. 1268p.
- STEIN, R. (1991). Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments. Results from the Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program. In: BHATTACHARJI, S; FRIEDMAN, G.M.; NEUGEBAUER, H. J.; SEILACHER, A. (Eds), *Lecture Notes in Earth Sciences*, vol. Springer, Berlin. 271p.
- SUGUIO, K. (1973). Introdução à Sedimentologia. São Paulo, Ed. Edgard Blücher/EDUSP. 317p.
- SUGUIO, K. & MARTIN, L. (1978). Formações quaternárias Marinhas do Litoral Paulista e Sul Fluminense. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary. IGUSP/SBG, SP. Publicação nº 02, São Paulo.

- SYDNEY WATER WEB SITE (2007). Wastewater Treatment Plants of Sydney.
Disponível em: www.sydneywater.com.au. Acesso: 23 de outubro de 2007.
- TEODORO, A.C. (2006). Estudo Hidrogeoquímico, sedimentológico e de foraminíferos em áreas da Baixada Santista, SP, submetidas à disposição oceânica de esgotos. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo – USP. 172p.
- TOMMASI, L.R. (1987). Impacto de disposição oceânica de esgotos municipais no ambiente costeiro: uma síntese. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, 4: 412-418.
- TYSON, R. V. (1995). Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies. *Chapman and Hall*, London. .615p.
- ZERI, C.; VOUTSINOUS-TALIADOURI, F. (2003). Processes affecting the distribution of dissolved trace metals in the North Aegean Sea (Eastern Mediterranean). *Continental Shelf Research* 23, 919–934.

ANEXOS

Dados para análise da concentração dos elementos

1ª Coleta

Amostras	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	Ba	Co	Ni	Cr	Cu	S	Zn
1	0,232	5,54	0,75	2,06	84,00	1,01	1,39	2,06	0,026	458	157	9	22	24	1293	50
2	0,52	10,8	1,68	4,31	65,67	2,5	2,67	2,19	0,075	449	120	21				
3	0,561	10,91	1,69	4,37	65,13	2,62	2,75	2,21	0,104				75	<15		67
4	0,330	7,53	1,10	2,90	76,74	1,84	1,80	2,32	0,044	520	115	10	23	32	3754	73
5	0,220	5,34	0,71	2,05	85,01	0,72	1,36	2,01	0,025	474	56	7	24	6	810	31
6	0,355	7,77	1,11	3,04	75,10	1,57	1,98	2,22	0,049	491	88	12	32	13	3418	59
7	0,458	9,26	1,45	3,77	68,97	1,89	2,63	2,12	0,072	443	93	11	40	16	3529	49
8	0,389	8,18	1,25	3,16	74,37	1,62	2,34	2,23	0,057	468	72	10	30	11	3230	54
9	0,338	6,88	1,01	2,67	78,55	1,36	2,04	2,11	0,043	438	96	9	32	7	2422	42
10	0,321	7,45	1,07	2,84	75,95	1,88	1,80	2,24	0,047	519	79	13	28	19	2791	65

2ª Coleta

Amostras	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	Ba	Co	Ni	Cr	Cu	S	Zn
1	0,419	8,29	1,19	2,92	74,31	1,64	2,11	2,41	0,081	467	91	12	34	16	2558	54
2	0,586	10,33	1,63	4,16	64,34	2,22	2,91	2,23	0,130	376	65	16	43	25	3789	70
3	0,422	8,58	1,29	3,20	72,75	1,73	2,25	2,43	0,058	423	95	11	29	8	3759	40
4	0,597	11,44	1,86	4,89	56,76	2,37	3,57	2,13	0,137	360	140	21	8	16	4580	73
5	0,480	9,04	1,32	3,21	70,71	2,06	2,36	2,49	0,085	435	67	13	31	14	5288	55
6	0,461	8,79	1,30	3,20	71,46	1,76	2,32	2,31	0,091	425	182	13	36	13	2500	52
7	0,583	10,64	1,63	4,26	63,52	2,63	2,71	2,39	0,127	419	84	16	48	17	6313	72
8	0,405	8,25	1,17	2,86	75,62	1,51	2,11	2,37	0,070	413	56	8	25	7	1816	35
9	0,450	8,70	1,28	3,23	72,47	1,68	2,19	2,42	0,071	442	78	13	35	10	2417	47
10	0,337	7,18	0,98	2,39	78,72	1,21	1,80	2,34	0,058	426	101	7	26	5	1300	32