

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DINÂMICA DE SEDIMENTAÇÃO ATUAL  
ASSOCIADA À CONTAMINAÇÃO POR METAIS NOS  
SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO SANTISTA E DO  
CANAL DA BERTIOGA, SP.**

Shanty Navarro Hurtado

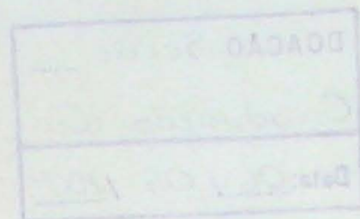
Orientador: Prof. Dr. Moysés Gonzalez Tessler

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2003/49)

SÃO PAULO  
2003



**Universidade de São Paulo  
Instituto de Geociência**



**DINÂMICA DE SEDIMENTAÇÃO ATUAL  
ASSOCIADA À CONTAMINAÇÃO POR METAIS  
NOS SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO SANTISTA E  
DO CANAL DA BERTIOGA SP.**

**Shanty Navarro Hurtado**



**Orientador: Prof. Dr. Moysés Gonsalez Tessler**

**Trabalho de Formatura**

**TF Nº 49/2003**

**São Paulo  
2003**

Instituto de Geociências  
Universidade de São Paulo

DOAÇÃO Seção.....

Graduação: IGc

Data: 06/05/2004

DINÂMICA DE SEDIMENTAÇÃO ATUAL  
ASSOCIADA À CONTAMINAÇÃO POR METAIS  
NOS SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO SANTISTA E  
DO CANAL DA BERTIOGA SP.



Shanty Navarro Hurtado

Orientador: Prof. Dr. Moisés González Tessler

Trabalho de Formatura

TF nº 49/2003

São Paulo  
2003



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014578

**DINÂMICA DE SEDIMENTAÇÃO ATUAL ASSOCIADA  
À CONTAMINAÇÃO POR METAIS NOS  
SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO SANTISTA E DO  
CANAL DE BERTIOGA, SP**

**SHANTY NAVARRO HURTADO**



Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Moyses Tessler

Profa. Dra. Sonia Maria Barros de Oliveira

Profa. Dra. Maria Cristina Motta de Toledo

São Paulo

2003



TF  
H967  
SN.2

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOLOGIA

DINÂMICA DE SEDIMENTAÇÃO ATUAL ASSOCIADA  
A CORTA-MATÃO POR METAS NOS  
SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO SANTOS/ATLÂNTICO  
CANAL DE BERTHOFF, SP



SHANTY NAVARRO RIBEIRO

Monografia de Trabalho de Formatura

Banco Examinador

Prof. Dr. Roberto Feres  
Prof. Dr. Roberto Mota  
Prof. Dr. Roberto Mota

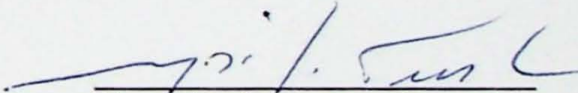
**DINÂMICA DE SEDIMENTAÇÃO ATUAL ASSOCIADA À  
CONTAMINAÇÃO POR METAIS NOS SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO  
SANTISTA E DO CANAL DA BERTIOGA SP.**

**Relatório Final do Trabalho de Formatura**

**TF N° 49/2003**

**São Paulo, 12 de novembro de 2003**

  
**Shanty Navarro Hurtado**

  
**Moysés Gonzalez Tessler**



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, pelo apoio e carinho.

A Juliana M. Ferreira, pelo amor e companheirismo (te amo Ju).

Não tenho nem como agradecer ao “Moysa”... melhor... Ao Jedi Master Professor Dr. Moysés G. Tessler, pela orientação e dedicação dada a este trabalho, e pela amizade e confiança de toda uma vida acadêmica.

A minha Família... vovós e vovôs, tias e tios, primas e primos... fisicamente presentes ou não...

Ao meus amigos geológicos do coração: Sergio Rodrigues, o urso mais gente boa que eu conheci; Douglas Komati@yahoo.com, o japa mais sexy do Brasil; e ao Pedro Timon, o cara que é gente que conhece gente (é gay! mais irmão agente não escolhe).

Aos Amigos e Amigas que fiz na geologia.

As boas almas do IO-USP: Rubens, Daniel (o caboclo que tem coragem), Clodoaldo, Edilson, Marina, Fabiola, Raquel, Andréia e Cristina, a santa Sâmara e ao professor Dr. Michel M. Mahiques. Por me ajudarem de alguma forma (melhor! De todas as formas) na elaboração deste trabalho.



## RESUMO

Atualmente, os despejos de resíduos industriais, na região da baixada santista, são as principais fontes de contaminação das águas dos rios com metais pesados. Sendo assim fica clara a importância de colaborar no equacionamento das questões ambientais relativas à área, em especial quanto ao grau de contaminação dos sedimentos.

O principal objetivo deste trabalho está centrado em associar à dinâmica sedimentar atual do estuário à origem e dispersão atual dos metais contidos nos sedimentos de superfície de fundo destas áreas.

Os materiais em suspensão transportados pelo fluxo das águas a partir das áreas com alto teor de metais contido nos sedimentos (alto estuário) se depositam principalmente em quatro pontos do sistema, três deles na Baía de Santos e um no Canal da Bertioga. Estes pontos representam zonas de baixa energia, onde predominam sedimentos finos (argilosos) ricos em matéria orgânica.

A dinâmica estuarina acaba por ser a grande responsável pela redistribuição dos sedimentos finos com elevadas concentrações de metais e matéria orgânica originados e dispersos a partir do alto estuário.

Esta dispersão implica que o atual sistema da baixada santista, na sua porção mais a leste, corresponde a uma área com elevados teores de metais contidos nos sedimentos de superfície de fundo, não apenas junto à fonte de contaminação (alto estuário) mas também no segmento do canal da Bertioga correspondente à confluência com o Canal do Porto até o largo do Candinho e as áreas de deposição de finos na baía de Santos.



## ABSTRACT

Nowadays the main sources of heavy metals contamination in the Baixada Santista area are the spills of industrial residues. Hence, the importance of environmental studies relating to this area, and especially to the degree of sediment contamination, becomes evident.

The main objective of the present work was to associate the current estuarine sedimentary dynamics to the origin and to the current dispersion of metals contained in the bottom's surface sediments of these areas.

The materials in suspension transported by the water flow from the areas with high metal concentration in the sediment (high estuary) are deposited mainly on four points of the system – three in the Santos Bay and one in the Bertioga Canal. These are low energy points, with predominance of fine sediment (loamy) rich in organic matter.

The estuarine dynamics is, therefore, the main responsible for the redistribution of the fine sediment (with high concentration of metals and organic matter) which is originated and dispersed from the high estuary area.

This dispersion pattern implies that the current Baixada Santista system, especially the eastern portion, corresponds to an area with high metal concentration in the bottom's surface sediment. This high metal concentration occurs not only near the contamination source (high estuary), but also in the part of the Bertioga Canal from the confluence of the Porto Canal until the Largo do Candinho, and to the fine sediment deposition areas in the Santos Bay.



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. METAS E OBJETIVOS .....	2
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO .....	3
3.1. Dinâmica de sedimentação no Estuário e Baía de Santos .....	3
3.2. Dinâmica de sedimentação no Canal da Bertioga .....	5
3.3. Características geológicas e geomorfológicas da área .....	5
4. TRABALHOS PRÉVIOS .....	9
4.1. Considerações gerais sobre os metais estudados .....	9
4.2. Descrição das Rochas da Serra do Mar .....	14
4.3. Trabalhos pré-existentes .....	17
4.3.1. Estudos executados no âmbito da CETESB .....	17
4.3.1.1. Estudo dos Manguezais da Baixada Santista – Março/1998 – CETESB .....	17
4.3.1.2. Avaliação do Grau de Contaminação do Sedimento ao Longo do Canal de Navegação do Porto de Santos – Dezembro/1998 – CETESB .....	19
4.3.2. Estudos Executados no Âmbito do I.O – USP .....	24
4.3.2.1. Alto Estuário Santista .....	24
4.3.2.1.1. Ilha Barnabé .....	24
4.3.2.1.2. Largo da Santa Rita .....	24
4.3.2.2. Baía de Santos .....	27
4.3.3. Padrões de Referência .....	29
5. MATERIAL E MÉTODOS .....	31
5.1. Amostragem .....	31
5.2. Análise granulométrica .....	31
5.3. Análise dos metais .....	32
5.4. Tratamento dos dados .....	32
6. DESENVOLVIMENTO .....	33
7. RESULTADOS OBTIDOS .....	34
7.1. Resultados Analíticos dos metais na baía de Santos .....	34
7.1.2. Análise de Agrupamento .....	50
7.2. Resultados Analíticos do Canal da Bertioga .....	52
7.2.1. Análise dos sedimentos superficiais do Canal da Bertioga .....	53
7.2.2. Distribuição dos Metais no Canal da Bertioga .....	57
7.2.3. Análise de Agrupamento .....	64
8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	66
8.1. Origem da Contaminação .....	66
8.2. Distribuição dos Sedimentos .....	68



8.2.1. Baía de Santos.....	68
8.2.2. Canal da Bertioga .....	69
9. CONCLUSÕES .....	70
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

3.1. Localização da área de estudo.

3.3.1. Mapa Geológico da área:

4.3.1.1 Localização dos pontos de amostragem dos trabalhos da CETESB

4.3.2.2.1. Teor de carbonato biodetrítico (%) no sedimento de superfície.

4.3.2.2.2. Distribuição de silte (%) no sedimento de superfície.

4.3.2.2.3. Distribuição de argila (%) no sedimento de superfície.

7.1.1. Localização das estações de amostragem.

7.1.1. Distribuição do Cromo na Baía de Santos

7.1.2. Distribuição do Zinco na Baía de Santos

7.1.3. Distribuição do Ferro na Baía de Santos

7.1.4. Distribuição do Mercúrio na Baía de Santos

7.1.5. Distribuição do Manganês na Baía de Santos

7.1.6. Distribuição do Níquel na Baía de Santos

7.1.7. Distribuição do Vanádio na Baía de Santos

7.1.8. Distribuição do Chumbo na Baía de Santos

7.1.9. Distribuição do Rubídio na Baía de Santos

7.1.10. Distribuição do Escândio na Baía de Santos

7.1.11. Distribuição do Titânio na Baía de Santos

7.1.12. Distribuição do Cobre na Baía de Santos

7.1.2.1. Dendrograma gerado a partir de análise classificatória por Distância Euclidiana das amostras de Superfície.

7.1.2.2. Distribuição das concentrações dos metais pesados, determinados por meio de análise de agrupamento, com Distância Euclidean igual a 10.

7.2.1. Localização dos pontos amostrados no Canal da Bertioga.

7.2.1.1. Teor de carbonato biodetrítico (%) nos sedimentos de superfície.

7.2.1.2. Teor de areia (%) nos sedimentos de superfície.

7.2.1.2. Teor de finos (argila + silte) (%) nos sedimentos de superfície.

7.2.2.1. Teor de Alumínio (ppm) no sedimento de superfície.

7.2.2.2. Teor de Cobre (ppm) no sedimento de superfície.

7.2.2.3. Teor de Manganês (ppm) no sedimento de superfície.

7.2.2.4. Teor de Chumbo (ppm) no sedimento de superfície.

7.2.2.5. Teor de Escândio (ppm) no sedimento de superfície.



7.2.2.6. Teor de Zinco (ppm) no sedimento de superfície.

7.2.3.1. Dendrograma gerado a partir de análise classificatória por Distância Euclidiana das amostras de Superfície.

7.2.3.2. Distribuição das concentrações dos metais pesados, determinados por meio de análise de agrupamento, com Distância Euclidean igual a 8.

## ÍNDICE DE TABELAS

4.2.1. Teores médios de metais pesados (em ppm) nos principais tipos de rochas.

4.3.1.1.1. Nomenclatura e Localização dos Pontos Amostrados

4.3.1.1.2. Resultados obtidos nas estações da área de Bertioga

4.3.1.1.3. Resultados obtidos nas estações da área de Santos

4.3.1.1.4. Resultados obtidos nas estações da área de São Vicente

4.3.1.2.1. Concentrações de Metais (mg/Kg) – CETESB – Dez./1998

4.3.2.1.1.1. Resultados Analíticos da Amostragem na Ilha Barnabé (mg/Kg)

4.3.2.1.2.1. Resultados Analíticos das Amostras no Largo Santa Rita (mg/Kg)

4.3.3.1. Valores Orientadores para o Estado de São Paulo – CETESB (2001)

7.1.1. Dados das Análises de Metais na Baía de Santos (mg/Kg)

7.2.1.1. Localização e Granulometria dos Pontos Amostrados

7.2.2.1. Resultados das Análises de Metais no Canal da Bertioga (mg/Kg)



## 1. INTRODUÇÃO

O ambiente costeiro paulista foi, desde o primórdio de sua história, um dos locais mais amplamente explorados e ocupados do Estado. No início da colonização, sobretudo no trecho conhecido como Baixada Santista (englobando desde Bertioga até Peruíbe), a costa exerceu o papel de receptora de imigrantes colonizadores e de comerciantes atrás de todo o tipo de mercadorias. O poderio das vilas de Santos, São Vicente e Itanhaém abarcavam grandes distâncias como, por exemplo, Angra dos Reis (RJ) e Paranaguá (Pr).

O século XX trouxe grandes modificações para a Baixada Santista. Ocorreram melhorias como as verificadas na estrutura portuária de Santos, a implantação do pólo petroquímico em Cubatão e a construção de modernas rodovias como as vias Anchieta, Pedro Taques, Padre Manoel da Nóbrega (todas na década de 50) além da Imigrantes e Rio – Santos (na década de 70). Politicamente, houve o desmembramento das grandes vilas, com a criação de municípios novos como foram os casos dos municípios de Peruíbe, Mongaguá, Praia Grande, Guarujá e mais recentemente Bertioga.

Aterros em manguezais, retificações em rios, extração de areia de praia e de dunas e a descargas de efluentes industriais no meio trouxeram grandes alterações no balanço sedimentar desta linha de costa, e do sistema fluvio marinho como um todo.

A tendência do crescimento da ocupação, do já saturado pólo industrial do litoral paulista, aliada à falta de informações sobre os ecossistemas costeiros, destacando-se os canais e estuários, permite o vislumbre de uma ampla necessidade de estudos que possam equacionar os problemas já existentes bem como minimizar os que eventualmente possam surgir.

Atualmente, os despejos de resíduos industriais, na região da baixada santista, são as principais fontes de contaminação das águas dos rios com metais pesados. Indústrias metalúrgicas, petroquímicas, de cloro, entre outras, utilizam diversos metais em suas linhas de produção e acabam lançando parte deles nos cursos de água.

Os metais pesados não podem ser destruídos e são altamente reativos do ponto de vista químico, o que explica a dificuldade de encontrá-los em estado puro na natureza. Normalmente apresentam-se em concentrações muito pequenas, associados a outros elementos químicos, formando minerais em rochas.

Uma vez que os rios deságuam no mar, estes poluentes alcançam as águas salgadas e, em parte, deposita-se nos sedimentos do estuário ou no leito oceânico.



Sendo assim fica clara a importância de colaborar no equacionamento das questões ambientais relativas à área, em especial quanto ao grau de contaminação dos sedimentos, visando com isso, conhecer o grau dos problemas que virão quando da necessidade de futuras ações humanas nestes sedimentos (como futuras dragagens da área portuária e da baía de Santos) ou das condições do meio no que diz respeito à fauna e flora.

## **2. METAS E OBJETIVOS**

O principal objetivo deste trabalho está centrado em associar à dinâmica sedimentar atual do estuário santista (canais do Porto e da Bertioga e a baía de Santos) à origem e dispersão dos metais (Al, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sc, Ti, V e Zn) contidos nos sedimentos de superfície de fundo atual destas áreas.

Partindo do pressuposto de que os mais elevados teores de metais, contidos nos sedimentos depositados nos canais, estuários e na baía de Santos estão diretamente vinculados ao período de expansão industrial e humana na baixada santista, pode-se associar os níveis de contaminação e distribuição espacial dos sedimentos de fundo à dinâmica atual do sistema.

Secundariamente, este estudo permitirá a obtenção do nível de contaminação dos sedimentos por metais pesados na região do estuário e da baía de Santos.



### 3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à Baía de Santos e os canais do Porto e da Bertioga, situada no Estado de São Paulo, entre as latitudes de 23°58' e 24°04'S e as longitudes de 46°20' e 46°40'W (Figura 3.1.).

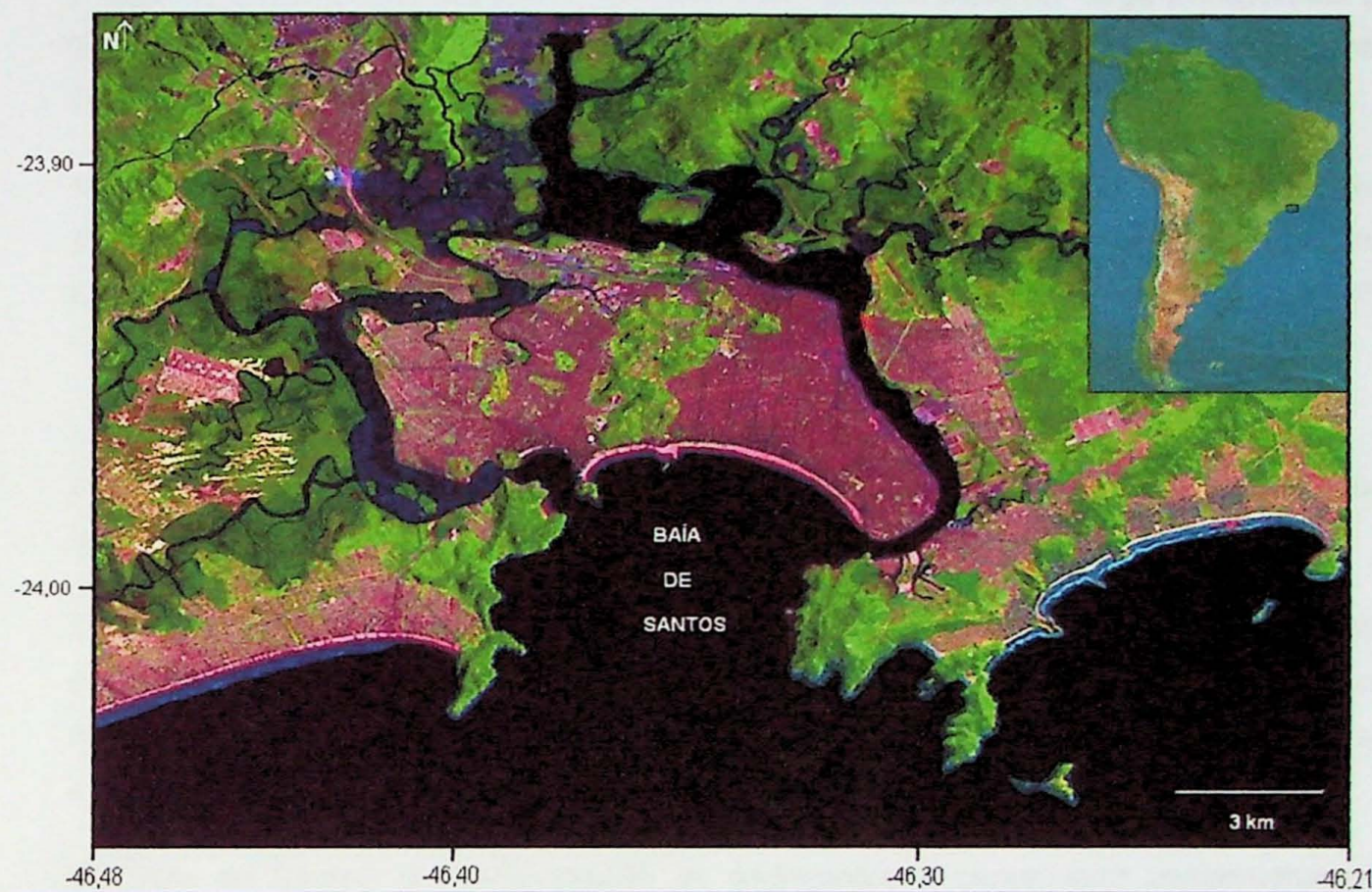


Figura 3.1. Localização da área de estudo.

#### 3.1. Dinâmica de sedimentação no Estuário e Baía de Santos

O atual modelo de circulação e sedimentação no estuário e Baía de Santos foi proposto por Fúlfaro & Ponçano (1976), que aí realizaram estudos sedimentológicos, objetivando a determinação da faciologia do fundo, bem como as principais tendências de movimentação desses sedimentos.

No alto estuário santista, as águas dos rios provenientes da Serra do Mar adentram o estuário, em especial na região do Canal do Porto, originando um predomínio de fluxo unidirecional que se propaga em direção à baía.

Esta descarga líquida e de sólidos em suspensão ocorre, principalmente, pelos rios Cubatão, Perequê, Mogi, Quilombo e Jurubatuba, sendo que medidas de vazão registradas



nos anos de 1975 e 1976 indicaram volumes entre 86 m<sup>3</sup>/s (set./1975) e 260 m<sup>3</sup>/s (jan./1976) (Yassuda, 1991).

Fúlfaro & Ponçano (1976), ao descreverem as características dos fluxos fluviais do alto estuário, formadas pelos rios que têm suas nascentes na Serra do Mar, demonstraram que a faixa de mangue que circunda o estuário retém grande parte da carga transportada por tração, liberando para os canais apenas a carga transportada em suspensão, de natureza siltico-argilosa.

A área do médio estuário é palco da influência de correntes de maré sofrendo a movimentação provocada por ação marinha a partir da Baía de Santos. Yassuda (1991), destaca que o contato entre o fluxo unidirecional e o fluxo marinho é vertical, correspondendo a uma zona de quebra de energia de transporte do sistema.

Este quadro, do alto e médio estuário santista, configura um processo geral de sedimentação, em ambiente de baixa energia, com predomínio de sedimentação siltico-argilosa.

De acordo com Fúlfaro & Ponçano (1976), o estuário santista é uma região de grande equilíbrio no que se refere à sedimentação, onde taxas elevadas ocorrem apenas localmente, destacando-se as extremidades sul dos canais de São Vicente e do Porto, junto à desembocadura da baía, o Canal de Bertioga e o Largo do Canéu.

Na Baía de Santos, a movimentação de sedimentos é comandada basicamente pela movimentação horária das correntes, resultado da interferência das águas oceânicas com as águas provenientes do estuário sendo, portanto, o mecanismo hidrodinâmico determinante na sua compartimentação sedimentar (Fúlfaro & Ponçano, 1976).

A área localizada a oeste da baía é dominada por correntes de maré e correntes costeiras, dirigidas de SW para NE, sendo que os ramos destas correntes que penetram na baía junto à Ponta de Itaipu atingem a porção mais interna da baía ao longo das praias de São Vicente e Santos.

Ao largo da Ponta de Itaipu são encontrados sedimentos predominantemente arenosos, dispostos em faixas aproximadamente paralelas ao sentido predominante das correntes costeiras, que os transportam e depositam ao longo das praias de São Vicente e Santos.

A leste, a baía é caracterizada por movimentação predominantemente unidirecional, resultante da interação das correntes que se propagam ao longo das praias da baía e das correntes, originalmente fluviais, canalizadas através do estuário (Fúlfaro & Ponçano, 1976).



Nas porções central e leste da baía ocorre o predomínio de sedimentos siltosos e argilosos, transportados pelos fluxos em suspensão, provenientes do estuário, sendo que o fluxo que os transporta associa-se às correntes provenientes da porção mais a oeste, ocasionando a deposição de parte desta carga de sedimentos finos. Este fluxo ainda é direcionado para a Ponta Manduba onde é defletido para a Ilha da Moela, afastando-se então da linha de costa (Fúlfaro & Ponçano, 1976).

### **3.2. Dinâmica de sedimentação no Canal da Bertioga**

A dinâmica de sedimentação do Canal da Bertioga, segundo Fúlfaro e Ponçano (1976), mostra um efeito mínimo de fluxo fluvial residual, devendo-se creditar às correntes de maré o aporte de sedimentos. Isso se deve ao fato dessas áreas estarem sujeitas à ação de encontros de marés, formando zonas de baixa energia, pouco susceptíveis à erosão. Estas áreas de correntes de marés podem ser observadas claramente junto a cidade de Bertioga, mas de pouca penetração em direção à desembocadura do rio Sândi, local em que a existência de barras mais arenosas que dificulta o transporte de fundo no sentido Bertioga – Canal do Porto.

Os rios que desembocam no canal de Bertioga parecem ter a sua carga sedimentar depositada pela ação das correntes de maré que, ao se propagar pelas duas embocaduras do Canal de Bertioga tendem a anular-se. Isto faz com que as águas movimentem-se com velocidade inferiores à velocidade crítica de transporte eliminando o transporte de fundo, e caracterizando o canal de Bertioga como um corredor de sedimentos transportados em suspensão. Estes sedimentos têm seu tombo aproximadamente no largo do Candinho, que corresponde a uma das raras áreas do estuário santista em que se depositam predominantemente sedimentos argilosos e com alta porcentagem de matéria orgânica.

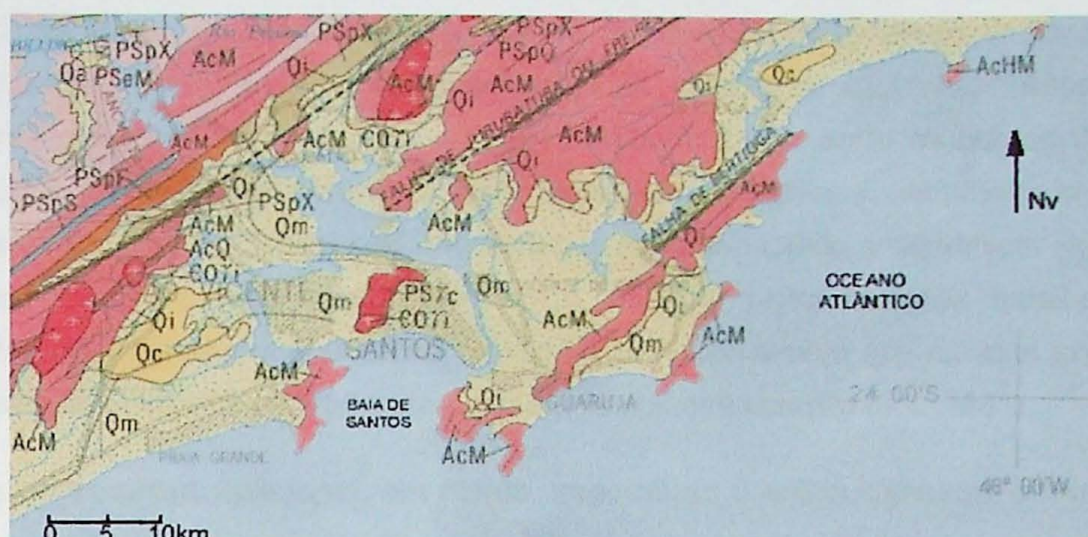
### **3.3. Características geológicas e geomorfológicas da área**

Na caracterização geomorfológica do Estado de São Paulo (IPT, 1981), a Baixada Santista e a Baía de Santos estão inseridas no domínio da Província Costeira (Almeida, 1964; IPT, 1981), correspondente à província fisiográfica denominada de Litoral por Ab'Saber & Bernardes (1958, *apud* IPT, 1981). Esta província corresponde à área drenada diretamente para o mar, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico, onde se destaca uma região serrana contínua que, à beira-mar, cede lugar a uma seqüência de planícies de várias origens (Almeida, 1964; IPT, 1981).

No seu contexto geológico regional a área está inserida no compartimento geológico litorâneo, limitada a oeste pela Falha de Cubatão, e a leste pela Falha de Santos,



compondo-se de rochas do Complexo Costeiro e da Suíte Granítica Indiferenciada (Almeida & Carneiro, 1998) e melhor detalhadas e ilustradas na Figura 3.3.1.



### LEGENDA

#### CENOZÓICO

- Qa (Sedimentos Aluvionares):** Aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraços.
- Qm (Sedimentos Marinhos e Mistos):** Sedimentos atuais e subatuais, incluindo terrenos arenosos praias, depósitos marinhos localmente retrabalhados por ação fluvial e/ou eólica, termos areno-siltico-argilosos de deposição flúvio-marinho-lacustre e depósitos de mangue.
- Qi (Sedimentos Continentais Indiferenciados):** Depósitos continentais incluindo sedimentos elúvio-coluvionares de natureza areno-argilosa e depósitos de caráter variado associados a encostas.
- Qc (Formação Cananéia):** Areias marinhas finas inconsolidadas freqüentemente limonitizadas, com presença de esparsos leitos argilosos.

#### PALEOZÓICO

- COyi (Suíte Granítica Pós-tectônica – Facies Itu):** Corpos graníticos e granodioríticos alóctones, isotropos, granulação fina a grossa, com textura sub-hipidiomórfica e hipidiomórfica granular.

#### PRÉ-CAMBRIANO

- PSyc (Suíte Granítica Sintectônica – Facies Cantareira):** Corpos para-autóctones e alóctones, foliados, granulação fina a média, textura porfirítica freqüente, contatos parcialmente concordantes e composição granodiorítica a granítica.
- PSpX (Gr. Açungui – Complexo Pilar):** Quartzito-mica xistos, biotita-quartzo xistos, muscovita-quartzo xistos, granada-biotita xistos, xistos grafitosos, clorita xistos, sericita-biotita xistos, magnetita xistos e calcoxistos com intercalações subordinadas de filitos, quartzitos, mármore, calcossilicáticas e metassiltitos.
- PSpF (Gr. Açungui – Complexo Pilar):** Filitos, quartzito filitos e metassiltitos com intercalações subordinadas de micaxistos e quartzitos.
- PSeM (Gr. Açungui – Complexo Embu):** Migmatitos heterogêneos de estruturas variadas, predominando estromatitos de paleossoma xistoso, gnáissico ou anfibolítico, migmatitos homogêneos variados predominando os de natureza homofânica, oftalmítica e facoidal.
- AcM (Gr. Canastra – Complexo Costeiro):** Migmatitos metatexiticos de estruturas variadas predominantemente estromatíticas e oftálmicas; diatexitos, incluindo termos facoidais, oftálmicos e homofânicos de paleossomas variados e migmatitos policíclicos complexos de paleossoma xistoso e/ou gnáissico.
- AcHM (Complexo Costeiro):** chamoquitos, kinzigitos e rochas granito-gnáissicas a hiperstênio com migmatização e feldspatização sobrepostas.
- AcQ (Gr. Canastra – Complexo Costeiro):** Quartzitos, magnetita-quartzitos e quartzitos calcossilicáticos.
- == -** Falhamentos transcorrentes com zona de cataclase espessa quando
- Contatos geológicos

Fonte: IPT, 1981

Figura 3.3.1. Mapa Geológico da área:



O domínio da Província Costeira subdivide-se nas subzonas Serra do Mar e Baixada Litorânea (IPT, 1981).

A subzona Serra do Mar apresenta relevo abrupto, formado predominantemente por escarpas festonadas, desenvolvidas ao longo de anfiteatros sucessivos, separados por espigões, com desníveis totais da ordem de 800 a 1200 m entre as bordas do Planalto Atlântico e as baixadas litorâneas. Este relevo em desnível acentuado apresenta alta densidade de drenagem com padrões variando de sub-paralelo a dendrítico. Nesta região serrana estão presentes vales em forma de "V", profundamente entalhados, que condicionam a drenagem que escoar na região, e se constituem nos núcleos exportadores dos materiais terrígenos que adentram a planície costeira santista (IPT, 1981).

A faixa de escarpas apresenta, em planta, larguras de 3 a 5 quilômetros, em média (IPT, 1981).

A subzona das Baixadas Litorâneas apresenta relevo de terrenos baixos, predominantemente planos, com baixa densidade de drenagem, de padrão meandrante, e com altitudes pouco elevadas em relação ao nível do mar atual (IPT, 1981).

Suguio & Martin (1978) dividiram o litoral paulista em quatro grandes unidades (Cananéia-Iguape, Itanhaém-Santos, Bertioga-Ilha de São Sebastião e Ilha de São Sebastião-Serra de Parati), cujos limites naturais são dados pela presença de pontões do embasamento pré-cambriano. Segundo os autores, esta subdivisão contempla, ainda, uma individualização do litoral paulista em dois grandes compartimentos, com características geomorfológicas bem diferenciadas entre as planícies costeiras desenvolvidas ao longo dos eventos de variação relativa do nível do mar no Quaternário.

A planície costeira de Santos, por sua vez, tem a forma de um crescente de 40 km de extensão por 15 km de largura máxima, sendo delimitada, nas suas extremidades, pela Serra de Mongaguá ao sul, e pela parte rochosa da Ilha de Santo Amaro ao norte. Nas partes central e nordeste, a planície é drenada por uma rede de lagoas e canais de maré que delimitam as ilhas de São Vicente e Santo Amaro.

De acordo com Suguio & Martin (1978), a gênese desta planície está diretamente vinculada aos mecanismos de variação do nível marinho ocorrido ao longo do Quaternário superior quando, nos máximos transgressivos do Pleistoceno superior (Transgressão Cananéia - 120.000 anos A.P.), e do Holoceno (Transgressão Santos - 5.100 anos A.P.), a área foi recoberta pelas águas marinhas que atingiram, respectivamente, cotas entre 8 e 10 m e entre 4 e 5 m acima do nível atual. Na planície costeira Itanhaém-Santos, por ocasião da Transgressão Cananéia, o mar atingiu o sopé da Serra do Mar (Suguio & Martin, 1978).



No intervalo entre esses máximos transgressivos, com o recuo pronunciado do nível marinho durante o Último Máximo Glacial (aproximadamente -130 metros), que expôs totalmente as atuais planícies costeiras e quase toda a plataforma continental paulista, foram depositados cordões arenosos sobre o conjunto de sedimentos argilo-arenosos transicionais e de areias litorâneas transgressivas (Suguio & Martin, 1978).

Na planície costeira de Santos, é possível que as areias regressivas dos cordões litorâneos tenham recoberto apenas parte da planície atual (Suguio & Martin, 1978).

Neste evento regressivo que teve seu máximo há cerca de 20.000 anos, os sedimentos expostos sofreram erosão, originando os vales que, durante o evento transgressivo subsequente, foram afogados, formando-se extensas lagunas onde se depositaram sedimentos argilo-arenosos, ricos em matéria orgânica. Suguio & Martin (1978) indicam, a partir de numerosas sondagens que, em certas partes da planície costeira de Santos, esses depósitos lagunares podem atingir até cerca de 50 m de espessura.

Ainda ao longo desse evento, ocorreu também a erosão das partes mais elevadas dos cordões arenosos pleistocênicos, possibilitando a resedimentação holocênica desses materiais erodidos.

Após o máximo transgressivo holocênico de 5100 anos A.P., quando a linha de costa recuou para seu nível atual, originou-se um segundo conjunto de cordões arenosos. Na planície costeira de Santos, à medida que o nível do mar atingia sua posição atual, foi formada, por trás desses depósitos arenosos, uma vasta laguna que foi parcialmente colmatada e colonizada pela vegetação de mangue.



## 4. TRABALHOS PRÉVIOS

### 4.1. Considerações gerais sobre os metais estudados

Algumas considerações sobre os diferentes metais estudados serão descritas a seguir com a intenção de servir de subsídio para o entendimento das questões que serão colocadas ao longo deste trabalho.

Os metais aqui tratados são denominados “metais pesados”, na maioria dos trabalhos que versam sobre o assunto. Um outro termo que vem sendo muito utilizado é o de “metais potencialmente tóxicos”, abordando de forma mais coerente o uso e a implicação de metais pesados que geram e produzem contaminação em diferentes meios.

Segundo Malavolta (1994), o termo “metal pesado” refere-se a todos os elementos com peso específico maior que  $5\text{g/cm}^3$ . Incluem-se entre outros: Essenciais: Cu, Fe, Mn, Mo, Zn; Benéficos: Co, Ni, V; Não essenciais, sem função ou tóxicos: Cd, Cr, Hg, Pb, Ag, etc. Alterações antropogênicas vêm aumentando os níveis de íons metálicos em muitos dos nossos ecossistemas aquáticos naturais,.

#### Alumínio

As principais formas minerais do alumínio na crosta inserem-se no campo dos aluminossilicatos e dos óxidos e hidróxidos. Embora os feldspatóides possuam elevado teor de alumínio (RIBEIRO FILHO, 1972), os feldspatos são, de longe, entre os minerais formadores de rocha, os principais portadores de alumínio na crosta. Por outro lado, em rochas ígneas, alumínio varia de 2% em rochas ultrabásicas a 8,8% em sienitos (SIEGEL, 1979). Em rochas sedimentares o conteúdo de alumínio é mais expressivo em argilitos (8%) e bastante baixo em carbonatos (0,42%).

Em climas de condições tropicais a subtropicais, com elevadas precipitações pluviais, alumínio se libera de forma quase sempre fácil tanto para o solo, em virtude do intemperismo das rochas, como para o lençol freático, na forma de soluções.

#### Cromo

Elemento bastante freqüente em rochas ígneas ultrabásicas (mais de 0,16%), se comparado com rochas ígneas ácidas e sedimentares (média entre 5 e 120mg/kg), (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984). As principais concentrações minerais de cromo associam-se a suites ultramáficas, ocorrendo como lentes nas zonas basais de assembléias ofiolíticas. Importantes depósitos de cromo são do tipo estratiforme em diferentes camadas não contínuas, ou como diques radiais a complexos máfico-ultramáficos.



Cromo é elemento predominantemente oxifílico na crosta superior; por essa razão ocorre somente como óxido e na estrutura de diferentes silicatos. Seu mineral mais importante é a cromita, que chega a conter entre 42 a 56% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  em peso. A fuxita, mica de cromo, é bastante comum em áreas de intensa ativação tectônica (zonas de cisalhamento), em áreas de metamorfismo de contato e em alguns corpos pegmatíticos diferenciados provindos de intrusões graníticas ou de evento metamórfico regional.

No solo, o cromo varia principalmente em função do tipo de rocha encaixante. Como as ígneas básicas e ultrabásicas são mais ricas do que as rochas ígneas ácidas e rochas sedimentares, os solos derivados das primeiras são mais ricos em cromo.

### Chumbo

O chumbo metálico é raramente encontrado na natureza. É, no entanto, detectado em muitos minerais que contêm K, Ba, Sr e Ca, visto poder substituí-los em diferentes estruturas cristalinas de diversos minerais. Essa propriedade é frequentemente detectada no grupo dos feldspatos. Por outro lado, esse metal pode ser adsorvido por argilas e óxidos e hidróxidos (ADRIANO, 1986). Na natureza, cerca de duas centenas de minerais de chumbo são conhecidos, sendo os mais expressivos e comuns, a galena, cerussita e anglesita. O principal estado de oxidação do chumbo restringe-se ao  $\text{Pb}^{2+}$ , embora ocorra também como  $\text{Pb}^{4+}$ .

As rochas ígneas ácidas exibem valores de chumbo sempre maiores que 10mg/kg, consideradas enriquecidas se comparadas com rochas máficas e ultramáficas, nas quais a média cai para 1-5mg/kg. Em rochas sedimentares, os maiores valores aparecem em folhelhos, com média de 20mg/kg (SIEGEL, 1979), enquanto que em rochas carbonáticas os valores médios detectados estão na casa dos 9 mg/kg.

Em solos sem mineralizações ou contaminações, é possível encontrar-se de 2 a 200mg/kg de Pb; a maioria, no entanto, ficando na média de 5 a 30mg/kg. Níveis maiores do que estes indicam poluição ou contaminação (USGS, 1976).

### Cobre

O cobre, por suas características tipicamente caucófilas, não se insere no grupo dos minerais silicatados durante o processo de fracionamento magmático, distribuindo-se como sulfetos entre os quais bornita e calcopirita são os exemplos principais, e mais comuns. Ocorre ainda como elemento nativo, em combinação com outros metais, em particular com ouro e prata, e ainda em associação com óxidos (cuprita) e carbonatos (azurita e malaquita). Em situação especial de combinação pode vincular-se à sílica (crisocola). Na natureza, o cobre ocorre com estado de oxidação I e II e substitui  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  limitado pela



estrutura do silicato em que um desses metais é substituído (SIEGEL,1979; ADRIANO,1986).

O cobre é, entre os metais pesados, um dos menos móveis devido ao fato de ser fixado pela matéria orgânica e por óxidos de ferro, alumínio e manganês, e ainda por argilominerais (ADRIANO, 1986). Pode se encontrar disposto no solo nas seguintes formas: em solução do solo, tanto na forma iônica de íons cúpricos, quanto complexado, podendo seu grau de complexação atingir 99,8%; adsorvido a sítios de troca iônica, sítios normais ou específicos; na matéria orgânica e em organismos vivos; em óxidos; na rede estrutural de minerais primários e secundários.

### Escândio

O escândio encontra-se na crosta terrestre numa concentração de cerca de 5 ppm sendo por isso tão abundante como o berílio, ou algumas terras-raras. Apesar disto, está muito disperso, ocorrendo em pequenas concentrações em minerais como a volframita, a wiikita e cassiterita, podendo ser detectado na maior parte dos solos.

Aparentemente, o escândio é mais abundante no Sol e em outras estrelas do que na Terra, onde ocupa o 50º lugar. A sua distribuição é muito diluída, estando presente em concentrações mínimas em cerca de 800 espécies minerais. Supostamente, a cor azul da água-marinha (variedade de berilo) é devida ao escândio. Ocorre como principal componente no silicato de escândio e ítrio, um mineral raro encontrado na Escandinávia e na Malásia. É também encontrado em resíduos provenientes da extração do tungstênio a partir da volframita (tungstato de ferro e manganês).

Atualmente, a maior parte é obtida a partir do silicato de escândio e ítrio ou como subproduto da mineração do urânio.

### Ferro

O ferro, como elemento nativo, é raro. É, no entanto, elemento comum em centenas de minerais, incluindo as principais fases minerais ferromagnesianas silicatadas. Ocorre abundantemente como óxidos (hematita, magnetita, martita, etc), como sulfetos (pirita, pirrotita, marcassita, calcopirita etc.), além de hidróxidos, carbonatos, sulfatos e fosfatos. Em rochas ígneas básicas e ultrabásicas, ocorre sempre em teores superiores a 9,4%, predominantemente nos silicatos ferromagnesianos. Em rochas sedimentares e, em especial, em sedimentos argilosos, é freqüente, atingindo em média 4,7%. Rochas quartzosas e carbonáticas são mais pobres (SIEGEL, 1979).



De um modo geral, as concentrações de ferro nos solos variam de 0,7 a 4,2%, sendo raras concentrações menores que 1%. Para BEAR (1964), altas concentrações de ferro em solos indicam relativa estabilidade dos agregados do solo e elevada porosidade. Em ambientes de clima tropical, com formação de solos lateríticos e latossolos, são comuns concentrações elevadas com valores entre 14 a 56% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

### Manganês

Os íons  $\text{Mn}^{2+}$  são semelhantes quimicamente aos íons  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , e  $\text{Ca}^{2+}$  em minerais dos grupos dos silicatos e óxidos. Os dois mais importantes estados de oxidação nos sistemas biológicos são  $2^+$  e  $3^+$ .

Nos minerais formadores de rochas, manganês ocupa espaço como substituto do  $\text{Fe}^{2+}$  na estrutura cristalina dos silicatos ferromagnesianos.

O manganês distribui-se amplamente em muitas rochas crustais com média de 0,095% (ADRIANO, 1986;). As maiores concentrações de manganês em rochas não mineralizadas, associam-se a rochas ígneas ultrabásicas, com 0,16%, em média. Em rochas sedimentares, os valores de concentração mais baixos são observados em arenitos e calcários (menor que 0,2%) e em alguns casos, com a presença de carbonatos (rodocrosita), pode haver enriquecimento.

Altas concentrações de manganês podem ocorrer em sedimentos argilosos de fundo oceânico (até 0,67% de Mn). Nódulos de manganês são continuamente formados na plataforma continental e em algumas bacias lacustrinas (WILLIAMS & OWEN, 1992), parte destes nódulos de manganês são formados pela lixiviação de basaltos toleíticos das cordilheiras oceânicas ativas, ou pela precipitação em processos hidrotermais em salmouras quentes.

### Mercúrio

O mercúrio é encontrado na natureza (solos e atmosfera) em sua forma inorgânica. Apesar de apresentar um certo nível de toxicidade, a substância pode causar maiores danos quando metilada e transformada em metilmercúrio (orgânico). O processo de metilação ocorre no ambiente aquático e é mediado por microorganismos. A metilação é favorecida nos ambientes alagados, onde existem zonas anóxicas, ricas em matéria orgânica. O metilmercúrio tem a capacidade de se bioacumular nos organismos dos peixes, que ao serem ingeridos pelos humanos, causam contaminação.

O mercúrio natural vem da atividade dos vulcões, é transportado na atmosfera por grandes distâncias e se depositam nos solos (Daher 1999).



## Níquel

O níquel não ocorre como metal nativo. Os seus principais minérios são os sulfetos, os silicatos e os arsenatos.

Os jazimentos de níquel descobertos no Brasil são representados por minérios silicatados, que provêm da alteração de rochas muito básicas como peridotitos. O intemperismo mobiliza o níquel sob a forma de silicato hidratado, e o concentra em fissuras da rocha em processo de alteração, trazendo-o para a superfície. Nas jazidas deste tipo encontra-se na parte superior uma camada de laterita niquelífera e mais abaixo, geralmente, há uma zona enriquecida à custa da rocha subjacente que vai depois empobrecendo a medida que o níquel se desloca para a superfície. Nas jazidas são encontradas calcedônias que indicam ações hidrotermais provavelmente relacionadas com os pegmatitos também freqüentes. O processo de alteração dos peridotitos pode ser atribuído a ações hidrotermais além do intemperismo.

## Rubídio

O rubídio está muito distribuído por toda a crosta terrestre. É um elemento relativamente abundante quando comparado com o chumbo, o cobre, o zinco ou o cézio. Não existem minerais em que o rubídio seja o principal constituinte. No entanto, alguns minérios de potássio contêm compostos do elemento ( $Rb_2O$ ), também se encontra rubídio em rochas comuns como o granito, basaltos e diversas argilas, ou ainda na água do mar e em nascentes de água mineral. Por estar tão disperso na Natureza, a sua extração é complexa e dispendiosa.

## Titânio

O titânio não aparece livre na natureza. no entanto, combinado com outros elementos é bastante abundante, aparecendo em pequenas quantidades na maioria das rochas eruptivas, sedimentares e metamórficas, o principal mineral onde é encontrado o Ti é o rutilo.

O dióxido de titânio é um dos mais importantes pigmentos brancos produzidos, sendo sua produção mundial em torno de 2,5 milhões de ton/ano. Apresenta ampla faixa de aplicação incluindo tintas arquitetônicas, industriais e de impressão, plásticos, borrachas, papel, produtos têxteis, alimentícios e fármacos Wiley (1982).



## Vanádio

O vanádio encontra-se bastante disperso na natureza, inclusive em carvões e em petróleos brutos. Encontra-se também em alguns minérios, sendo mais importantes os sulfuretos de vanádio.

O vanádio é utilizado na siderurgia do aço, serve para facilitar a eliminação de impurezas e no aumento da resistência ao desgaste

A concentração na crosta terrestre é de cerca de 150 mg/kg. Ele é encontrado nas águas de fonte e na água do mar.

## Zinco

O zinco ocorre em mais de oitenta variedades de minerais, apenas alguns poucos, no entanto, têm importância comercial. Os principais minerais deste elemento são sulfetos, sendo esfalerita o mais importante.

O nível de concentração de zinco em rochas ígneas é sempre menor nas rochas ácidas do que nas básicas, como nos granitos com 50mg/kg e basaltos, com 130mg/kg (SIEGEL, 1979). Em rochas sedimentares, os valores encontram-se entre 16 a 95mg/kg, os mais baixos em rochas quartzosas e carbonáticas e os mais elevados em rochas argilosas. Alguns folhelhos ricos em matéria orgânica exibem valores maiores que 100mg/kg.

O conteúdo de zinco nos solos é determinado por diferentes fatores, quando os minerais primários de zinco são intemperizados (sulfetos, silicatos e óxidos), os íons livres de zinco  $Zn^{2+}$  podem tornar-se móveis (PENDIAS, 1984) tanto em ambientes ácidos, mais comuns, como em ambientes oxidantes. Nesse último caso, há tendência de formação de fase relativamente insolúvel de  $ZnCO_3$ ; quando o solo exibe abundância de argilominerais, hidróxidos de ferro e manganês e de matéria orgânica o zinco pode ser fortemente adsorvido por estes diferentes materiais.

### 4.2. Descrição das Rochas da Serra do Mar

Na Serra do Mar a litologia predominante de acordo com HASUI & SADOWSKI (1976) e HASUI & OLIVEIRA (1984) é composta por rochas metamórficas com um grau variável, desde alto grau nas rochas do Complexo Costeiro, até as consideradas de grau médio do bloco Juquitiba. Separando-as, nitidamente, está o alinhamento da Falha de Cubatão, associada a metassedimentos de baixo grau.

A distribuição das litologias predominantes (HASUI & SADOWSKI 1976 e HASUI & OLIVEIRA 1984), cronologicamente do mais antigo para o mais recente:



Rochas da Sub zona Serra do Mar:

Calco-silicatadas;

Granada-silimanita-micaxistos, cloritados e migmatizados;

Muscovita-biotita-xistos e quartzo-xistos, alterados com silimanita, localmete migmatizados;

Granito-gnaisses granatíferos;

Milonito-gnaisses bandados, com intercalações quartzíticas e calco silicatadas.

Rochas associadas ao Falhamento do Cubatão:

Quartzitos sacaróides;

Granada-clorita-biotita-xisto, mármore e filonitos cataclasados, com faixas milonitizadas.

Rochas do Complexo Costeiro:

Gnaisses bandados com horblenda, biotita, plagioclásio e quartzo;

Granito-gnaisses com porfiróides de microclinio;

Milonito-gnaisses.

As rochas descritas apresentam diferentes estágios de alteração, que variam conforme a litologia. Entretanto os estágios de alteração, de maneira geral são mais intensos junto ao Planalto Paulista e vão decrescendo à medida que se desce em cota. Sabe-se que na região do planalto essa alteração atinge mais de uma centena de metros de profundidade (GEOTÉCNICA, 1968).

Ao longo da faixa serrana, recobrimdo as rochas precambrianas, ocorrem sedimentos holocênicos delgados (solos coluviais), os quais sustentam a vegetação das encostas (RODRIGUES, 1992). Esses solos são constituídos basicamente de materiais areno-silte-argilosos ou silte-argilos, com coloração variando do marrom médio ao marrom-acinzentado possuindo espessura geralmente inferior a 1,5m.

Nos vales locais, ocorrem aluviões holocênicos continentais. Estes aluviões apresentam sedimentos grosseiros, formados por seixos e matacões que representam bem a litologia da região. Seus diâmetros variam de centimétricos até 2,0m, entremeados por areia grossa. As frações mais finas (silte e argila) são carregadas em suspensão pelos fluxos d'água (SUGUIO, 1978).



Na porção correspondente a planície costeira, se fazem presentes os sedimentos quaternários marinhos, representados por sucessões de areia clara e argila escuras orgânica, com espessuras variáveis.

Como o intemperismo é a fonte dos níveis de base “background” ou teores médios em determinadas áreas, é de grande importância a distinção entre o intemperismo geológico natural e o enriquecimento do metal devido às atividades humanas (MESTRINHO, 1998). A Tabela 4.2.1. apresenta os teores médios de metais pesados nos principais tipos de rochas.

Tabela 4.2.1. Teores médios de metais pesados (em ppm) nos principais tipos de rochas.							
				Rochas ígneas		Rochas Sedimentares	
	Crosta terrestre	Ultramáfica	Máfica	Granito	Argilito	Arenito	Folhelho
Cd	0,1	0,12	0,13	0,09	0,028	0,05	0,22
Cr	100	2980	200	4	11	35	90
Cu	50	42	90	13	5,5	30	39
Mn	950	1040	1500	400	620	460	850
Pb	14	14	3	24	5,7	10	23
Zn	75	58	100	52	20	30	120

ALLOWAY, 1990, adaptado por MESTRINHO, 1998.



### 4.3. Trabalhos pré-existent

#### 4.3.1. Estudos executados no âmbito da CETESB

As localizações dos pontos de amostragem, dos estudos realizadas pela CETESB, se encontram na Figura 4.3.1.1.

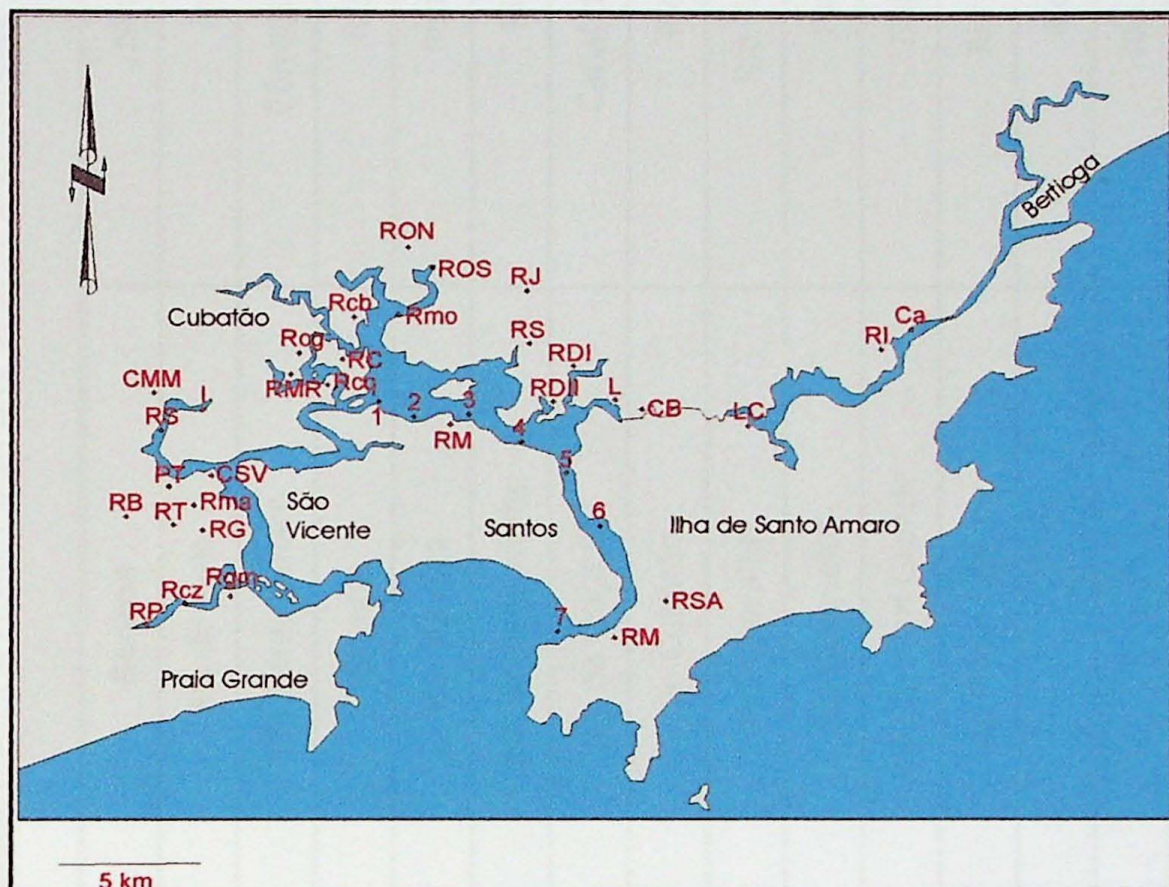


Figura 4.3.1.1 Localização dos pontos de amostragem dos trabalhos da CETESB

**4.3.1.1. Estudo dos Manguezais da Baixada Santista – Relatório Final – Março/1998 – CETESB.**

Este trabalho visou a amostragem e determinação da extensão da contaminação por metais pesados nos mangues do estuário santista. O trabalho foi concluído em março de 1998.

Os locais de amostragem foram divididos em três partes: área de Bertioga com 09 estações, área do Estuário de Santos com 11 estações e a área de São Vicente com 13 estações.

A Tabela 4.3.1.1.1. mostra a nomenclatura dos pontos de amostragem e a Figura 4.3.1.1. mostra suas localizações



**Tabela 4.3.1.1.1.1. Nomenclatura e Localização dos Pontos Amostrados**

<b>Bertioga</b>	<b>Santos</b>	<b>São Vicente</b>
Caiubura	Rio do Meio	Imigrantes
Rio Iriri	Rio Santo Amaro	Córrego da Mãe Maria
Largo do Candinho	Alamoia	Rio Santana
Canal da Bertioga	Rio Mourão	Pedro Taques
Lixão	Rio da Onça Norte	Rio Branco
Rio Diana I	Rio da Onça Sul	Canal de São Vicente
Rio Diana II	Rio Cubatão	Rio Mariana
Rio Sandi	Rio Cascalho	Rio Taquimboque
Rio Jurubatuba	Rio Casqueiro	Rio Gragaú
	Rio Capivari Grande	Ilha Araçanã
	Rio Maria Ribeira	Rio Guaramar
		Rio da Cruz
		Rio Piaçabuçu



As amostras de sedimentos para determinação dos teores de metais pesados foram coletadas conforme Souza & Derísio (1977) e as análises químicas foram efetuadas segundo metodologia descritas em CETESB (1994).

Os metais analisados foram: cádmio, chumbo, cobre, cromo total, mercúrio e zinco. As Tabelas 4.3.1.1.2., 4.3.1.1.3. e 4.3.1.1.4. mostram os valores obtidos nas análises.

#### **4.3.1.2. Avaliação do Grau de Contaminação do Sedimento ao Longo do Canal de Navegação do Porto de Santos – Projeto:47.2.03.C.00 – Atendimento ao Ministério Público Estadual – Dezembro/1998 – CETESB.**

A coleta de amostras de sedimentos foi realizada nos dias 29 e 30 de dezembro de 1997, por técnicos da CETESB, na presença de um assistente técnico do Ministério Público Estadual e representante da Procuradoria do Estado.

As áreas de amostragem, apresentadas na Figura 7.3.1.1., foram demarcadas com auxílio de um GPS e tentam cobrir a extensão total do canal do porto e foram assim descritas:

- Ponto 01: Alemoa (46°22'/23°54');
- Ponto 02: Alemoa – píer (46°22'2"/23°55');
- Ponto 03: Saboo/Valongo (46°20'05"/23°20'05");
- Ponto 04: Ilha Barnabé (46°16'09"/23°55'06");
- Ponto 05: TEFER (46°18'50"/23°57'20");
- Ponto 06: Armazéns 31/32/33 (46°17'37"/23°58'27");
- Ponto 07: Saída do Canal (46°19'30"/23°59'60").

A Coleta do material foi realizada de acordo com os procedimentos rotineiros de dragagem, da CODESP, amostrando assim sedimentos de diferentes profundidades (até dois metros) e sua conseqüente homogeneização.

As análises granulométricas foram realizadas segundo norma técnica L6.160 (CETESB, 1995). Quanto a química, realizou-se análise na massa bruta, lixiviado e solubilizado, de acordo com CETESB (1994), respectivamente, dos parâmetros cádmio, chumbo, cromo, mercúrio, níquel e zinco.

Os resultados estão apresentados na Tabela 4.3.1.2.1.



**Tabela 4.3.1.1.2. Resultados obtidos nas estações da área de Bertiooga**

<b>Pontos</b>	<b>Cádmio</b>	<b>Chumbo</b>	<b>Cobre</b>	<b>Cromo T.</b>	<b>Mercúrio</b>	<b>Zinco</b>
Caiubura	<0,12	<2,45	4,15	24,4	0,2	41,8
Rio Iriri	<0,12	29,8	6,08	26,2	0,24	32,8
Largo do Candinho	<0,12	16,6	1,53	9,67	0,27	52,4
Canal da Bertiooga	<0,13	21	7,89	2,77	0,75	46,3
Lixão	0,5	1,04	12,9	4,43	0,67	55,8
Rio Diana I	<0,12	14	5,16	2,22	0,22	20,4
Rio Diana II	0,24	5,17	1,65	1,68	0,12	5,41
Rio Sandi	<0,13	19	9,73	4,72	0,78	45,2
Rio Jurubatuba	<0,12	12,1	4,54	12,3	0,49	28,6



**Tabela 4.3.1.1.3. Resultados obtidos nas estações da área de Santos**

<b>Pontos</b>	<b>Cádmio</b>	<b>Chumbo</b>	<b>Cobre</b>	<b>Cromo T.</b>	<b>Mercúrio</b>	<b>Zinco</b>
Rio do Meio	0,25	3,75	2,93	<1,19	0,11	10,8
Rio Santo Amaro	<0,13	14,8	14,2	4,32	0,32	61,6
Alamoia	<0,12	12,8	4,66	1,35	0,15	14,5
Rio Mourão	1,96	76,2	6,86	20	1,15	188
Rio da Onça Norte	0,49	25	4,72	3,38	0,35	68,9
Rio da Onça Sul	2,09	67,5	29,6	40,6	1,03	24
Rio Cubatão	<0,12	14	9,96	11,5	0,98	40,1
Rio Cascalho	<0,12	14,9	10,8	5,2	1,6	42,1
Rio Casqueiro	<0,12	9,94	6,64	4,92	0,8	27,1
Rio Capivari Grande	<0,12	23,4	4,6	11,2	1,22	44,8
Rio Maria Ribeira	<0,12	9,7	3,11	1,49	0,25	13,7



**Tabela 4.3.1.1.4. Resultados obtidos nas estações da área de São Vicente**

<b>Pontos</b>	<b>Cádmio</b>	<b>Chumbo</b>	<b>Cobre</b>	<b>Cromo T.</b>	<b>Mercúrio</b>	<b>Zinco</b>
Imigrantes	<0,12	23	2,19	2,84	0,3	20,9
Córrego da Mãe Maria	<0,12	27,2	9,08	9,96	0,12	53,5
Rio Santana	<0,12	23,4	5,68	9,1	0,26	55
Pedro Taques	<0,12	32,8	6,76	5,4	0,46	22,7
Rio Branco	0,49	22,6	6,17	5,35	0,37	37,5
Canal de São Vicente	<0,13	40,5	7	8,75	0,44	60
Rio Mariana	<0,11	16,8	3,85	2,26	0,22	27,8
Rio Taquimboque	<0,12	9,72	1,99	0,62	0,17	9,58
Rio Gragaú	<0,12	26,6	6,59	3,73	0,22	36,1
Ilha Araçanã	<0,13	22,8	9,38	9,25	0,31	56,3
Rio Guamarar	<0,12	28,2	7,12	4,25	0,29	13,7
Rio da Cruz	<0,12	7,3	2,68	3,04	0,1	13,6
Rio Piaçabuçu	<0,12	<2,48	8,56	0,74	<0,10	9,82



**Tabela 4.3.1.2.1. Concentrações de Metais (mg/Kg) – CETESB – Dez./1998**

<b>Pontos</b>	<b>Cádmio</b>	<b>Chumbo</b>	<b>Cromo</b>	<b>Mercúrio</b>	<b>Níquel</b>	<b>Zinco</b>
<b>1</b>	<0,5	51	68,9	0,2	-	136
<b>2</b>	<0,5	53	71,6	0,16	34	154
<b>3</b>	<0,5	66	60,9	0,11	31	200
<b>4</b>	<0,5	66	170	0,11	34	148
<b>5</b>	<0,5	58	63,6	-	-	10
<b>6</b>	<0,5	57	71,6	<0,03	-	110
<b>7</b>	<0,5	<25	<30	<0,04	15	58
<b>08*</b>	<0,5	<25	<30	<0,09	9,96	52

\* Ilha da Moela , dados retirados do levantamento preliminar (CETESB, 1997) - região atual de descarte do material dragado.



#### **4.3.2. Estudos Executados no Âmbito do I.O – USP.**

O Instituto Oceanográfico realizou três trabalhos na área, no alto estuário Santista foram dois, um junto ao largo da Santa Rita e o outro nas proximidades da Ilha Barnabé, o terceiro trabalho foi realizado na baía de Santos.

##### **4.3.2.1. Alto Estuário Santista**

As amostras foram analisadas pelo laboratório Analytical Solutions em São Paulo e os procedimentos utilizados para a análise de metais foram a digestão em meio ácido sob aquecimento, e a solução resultante foi analisada utilizando-se as técnicas de Espectrometria de Absorção Atômica – AAS e Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma de Argônio Induzido – ICP-OES. Os equipamentos utilizados para as análises foram o Espectrômetro de Absorção Atômica marca GBC, modelo Avanta PMC e Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma de Argônio Induzido, marca Perkin Elmer, modelo Optima 2000. Os métodos estão descritos pelo APHA-AWWA-WPCF- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 th edition (1998)

###### **4.3.2.1.1. Ilha Barnabé**

O levantamento realizado analisou os compostos Cd; Pb; Cr; Cu; Mn; Hg; Ni; Zn e As em 12 pontos.

A Localização destes pontos assim como os resultados Obtidos estão apresentados na Tabela 4.3.2.1.1.1.

###### **4.3.2.1.2. Largo da Santa Rita**

O levantamento realizado analisou os compostos Cd; Pb; Cr; Co; Mn; Hg; Ni; Zn e As em 21 pontos.

A Localização destes pontos assim como os resultados Obtidos estão apresentados na Tabela 4.3.2.1.2.1.



TABELA 4.3.2.1.1.1. Resultados Analíticos da Amostragem na Ilha Barnabé (mg/Kg)											
Pontos	Cordenadas (UTM)	Parâmetro									
	Limite de Detecção	arsênio	cádmio	chumbo	cromo	cobalto	manganês	mercúrio	níquel	zinco	
		0,5	0,2	1	1	2,5	1	0,3	1	0,1	
001	365463/7353499-23k	1,41	nd	16,80	38,40	4,64	424,00	nd	14,60	71,50	
002	365908/7353465-23k	2,18	nd	16,30	35,40	4,76	438,00	nd	15,10	64,80	
003	366344/7353457-23k	1,89	nd	23,80	46,20	6,02	1180,00	nd	18,20	122,00	
004	366261/7353715-23k	2,85	nd	27,40	42,80	5,71	1220,00	nd	17,00	111,00	
005	365852/7353662-23k	3,89	nd	24,30	35,90	5,10	731,00	nd	15,40	112,00	
006	365591/7353577-23k	4,66	nd	29,20	41,80	5,43	996,00	nd	16,30	147,00	
007	365672/7353708-23k	2,44	nd	28,80	42,10	5,07	559,00	nd	17,20	110,00	
008	365910/7353766-23k	1,36	nd	23,10	37,50	4,34	431,00	nd	14,40	83,70	
009	366601/7353826-23k	5,71	nd	27,30	38,90	4,35	419,00	nd	16,00	93,90	
010	365856/353219-23k	1,89	nd	22,90	36,20	4,46	834,00	nd	15,30	175,00	
011	366711/7355066-23k	2,23	nd	19,90	36,40	4,46	743,00	nd	14,40	78,90	
012	365872/7353475-23k	4,89	nd	20,30	40,50	5,37	574,00	nd	15,90	91,70	
Mediana		2,34	-	23,45	38,65	4,92	652,50	-	15,65	101,95	
Máximo		5,71	-	29,20	46,20	6,02	1220,00	-	18,20	175,00	
Mínimo		1,36	-	16,30	35,40	4,34	419,00	-	14,40	64,80	

ND - valor não detectado pelo método analítico



TABELA 4.3.2.1.2.1. Resultados Analíticos das Amostragem no Largo Santa Rita (mg/Kg)										
parâmetro			cádmio	chumbo	cromo	cobre	manganês	mercúrio	níquel	zinco
Pontos	Latitude	Longitude	Resultados Analíticos							
Limite de Detecção			0,2	1	1	0,5	1	0,2	1	0,1
001	24°01',02	26°20',06	nd	15,3	13,9	13,7	156	0,541	4,95	56,2
002	24°01',04	46°21',98	nd	11,6	16,4	14,4	269	0,485	6,08	76,3
003	24°02',26	46°21',55	nd	4,06	4,19	5,07	27,5	nd	1,38	16,2
004	24°00',26	46°20',48	nd	5,4	12,4	7,72	187	0,323	3,71	59,4
005	23°59',82	46°20',48	nd	8,18	10,9	15,4	116	0,464	4	43,3
006	23°59',31	46°21',50	nd	299	34,1	15,1	270	0,729	6,09	141
007	23°59',30	46°20',01	nd	4,53	4,67	6,79	29,5	nd	1,57	15,2
008	23°59',83	46°18',82	nd	5,34	4,88	5,27	30,5	nd	1,77	20,3
009	23°59',00	46°17',20	nd	4,47	4,16	3,55	10,9	nd	1,35	5,53
010	23°57',32	46°18',08	nd	3,42	3,96	4,64	12,2	nd	1,4	15,9
011	23°55',37	46°18',79	nd	7,71	2,21	4,7	7,39	nd	1,12	10,2
012	23°54',90	46°20',18	nd	3,67	3,99	4,65	13,1	nd	1,33	7,71
013	23°54',92	46°22',87	nd	85,3	4,8	28,9	8,82	nd	1,58	11,7
Limite de Detecção			0,004	0,01	0,016	0,01	0,012	0,001	0,02	0,001
018	23°53',62	46°22',76	nd	nd	0,29	0,013	0,04	nd	0,141	0,01
019	23°52',97	46°22',42	nd	nd	0,258	nd	0,021	nd	0,124	nd
020	23°52',62	46°21',60	nd	nd	0,273	nd	0,024	nd	0,128	nd
021	23°52',10	46°21',40	nd	nd	0,276	nd	0,029	nd	0,138	nd
Mediana			-	5,4	4,19	6,03	13,1	0,485	1,4	16,05
Máximo			-	299	34,1	28,9	270	0,729	6,09	141
Mínimo			-	3,42	0,258	0,013	0,021	0,323	0,124	0,01

ND - valor não detectado pelo método analítico



#### 4.3.2.2. Baía de Santos

Fukumoto (2003) analisou a granulometria dos sedimento de superfície de fundo da baía de Santos. Os resultados obtidos estão apresentados a baixo.

A distribuição de carbonato biodetrítico ( $\text{CaCO}_3$ ) nos sedimentos de superfície está apresentada na Figura 4.3.2.2.1., o teor de carbonato biodetrítico varia, na área de estudo, de 2,88% a 28%.

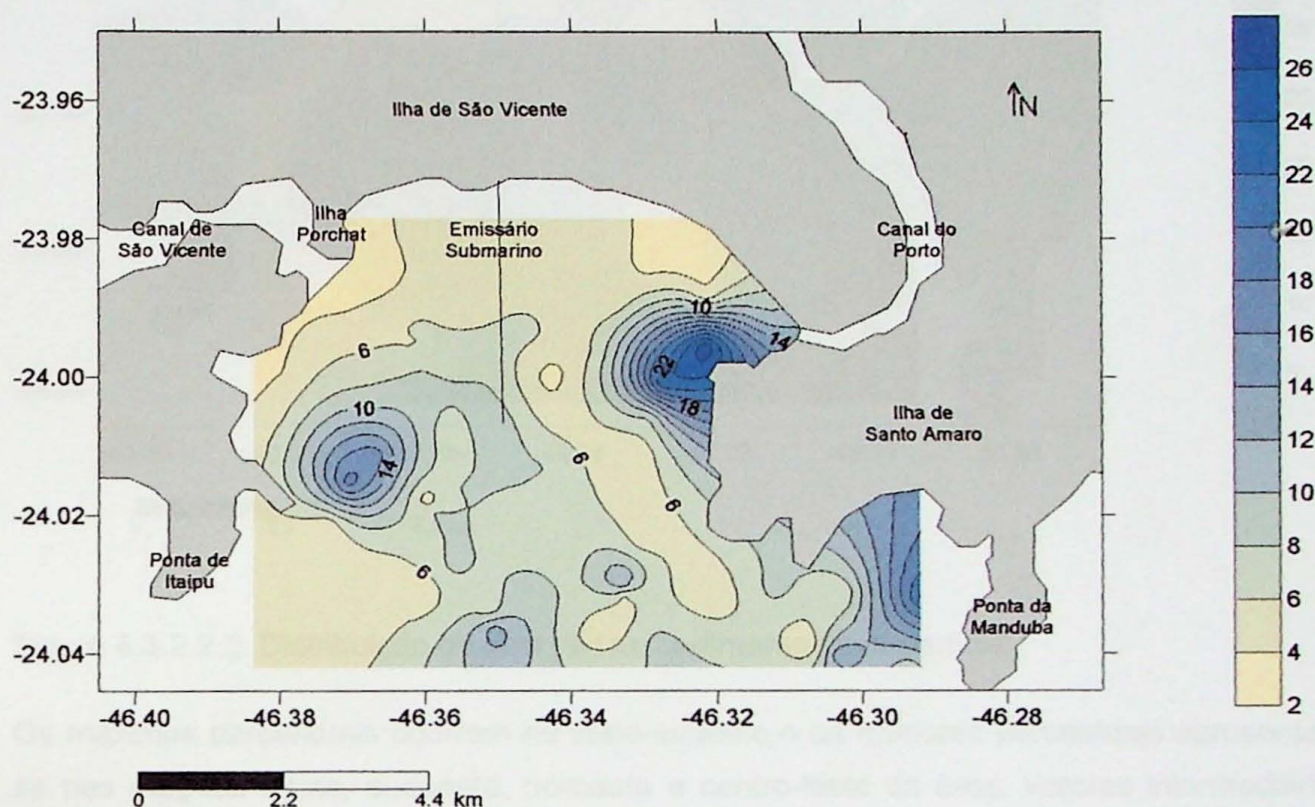


Figura 4.3.2.2.1. Teor de carbonato biodetrítico (%) no sedimento de superfície.

Os teores máximos são encontrados em núcleos localizados no centro-oeste, nordeste (próximo à desembocadura do Canal do Porto) e leste-sudeste, próximo à Ponta da Manduba.

Os menores valores são encontrados no norte, no noroeste e em alguns pontos no sul da área.



A distribuição de silte no sedimento superficial pode ser observada na Figura 4.3.2.2.2., a proporção de silte no sedimento de superfície varia de 0,06% a 51,34%

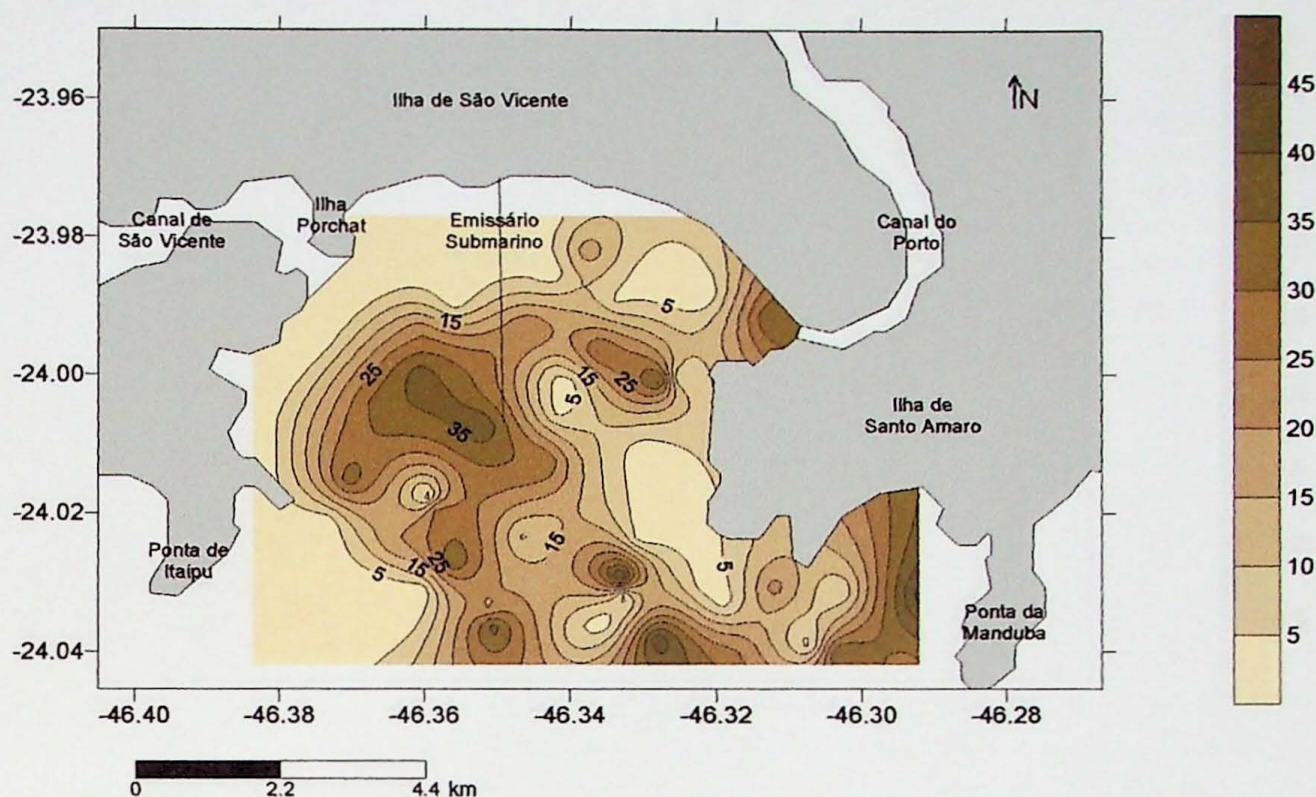


Figura 4.3.2.2.2. Distribuição de silte (%) no sedimento de superfície.

Os máximos percentuais ocorrem no leste-sudeste e os menores percentuais apresentam-se nas porções oeste, sudoeste, noroeste e centro-leste da área. Valores intermediários, entre 10% e 40%, são encontrados em pontos distribuídos nas porções central (em frente ao Emissário Submarino), sul, e na desembocadura do Canal do Porto.



A distribuição de argila no sedimento superficial esta apresentada na Figura 4.3.2.2.3., a argila é encontrada nos sedimentos superficiais em pequena proporção, entre 0% e 4,42%.

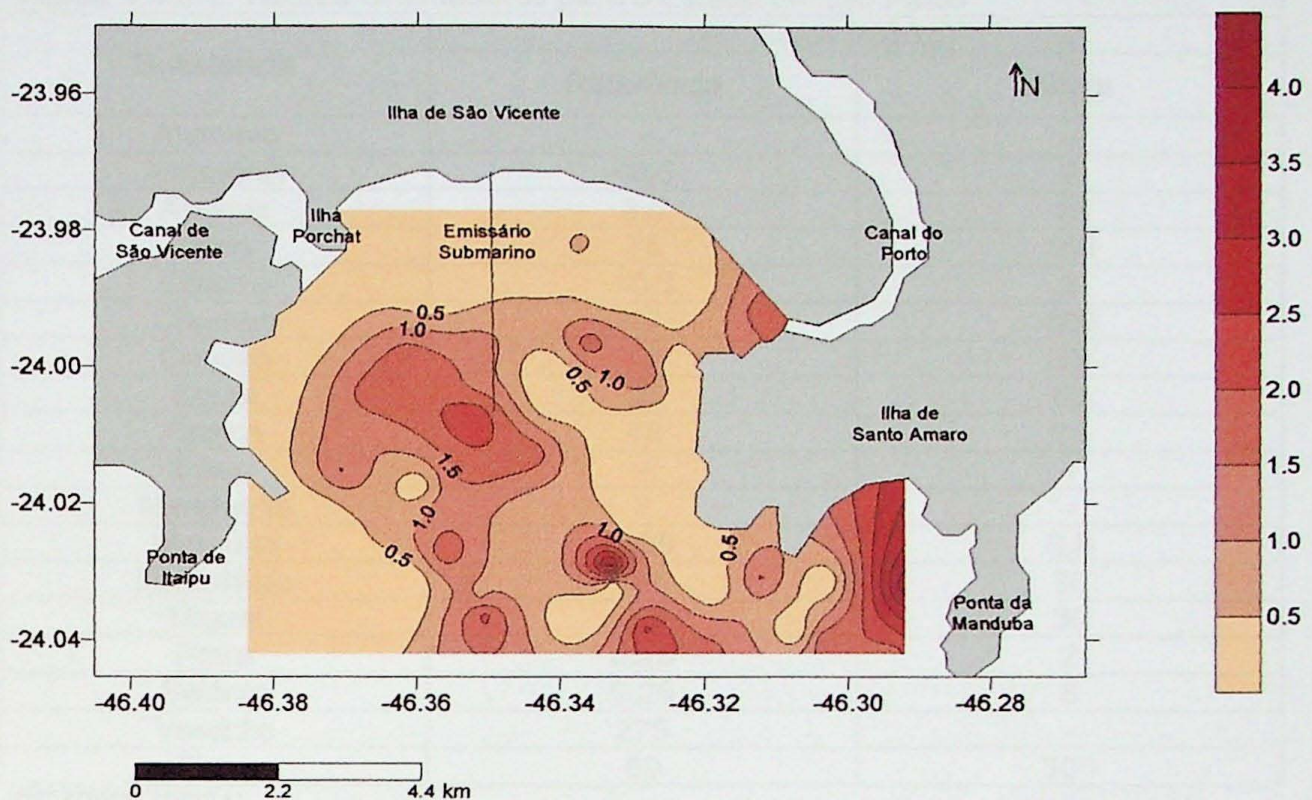


Figura 4.3.2.2.3. Distribuição de argila (%) no sedimento de superfície.

Os máximos percentuais ocorrem no leste-sudeste e em um núcleo na porção centro-sul da área.

Valores situados entre 1% e 3% podem ser encontrados na desembocadura do Canal do Porto e em pontos no centro-oeste e sul da área.

Os mais baixos valores são encontrados nas porções norte, oeste e centro-leste da área.

#### 4.3.3. Padrões de Referência

A legislação brasileira não apresenta valores de referência para sedimentos depositados em zonas estuarinas, por isso neste trabalho será utilizado o "Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo" da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental CETESB, publicado em 2001.



Relatório este que determina valores de referência e alerta para os solos, os valores referentes aos metais estão apresentados na Tabela 4.3.3.1.

Tabela 4.3.3.1. Valores Orientadores para o Estado de São Paulo		
Substância	Solos (mg/kg)	
	Referência	Alerta
Alumínio	-	-
Antimônio	<0,5	2
Arsênio	3,5	15
Bário	75	150
Cádmio	<0,5	3
Chumbo	17	100
Cobalto	13	25
Cobre	35	60
Cromo	40	75
Ferro	-	-
Manganês	-	-
Mercúrio	0,05	0,5
Molibdênio	<25	30
Níquel	13	30
Prata	0,25	2
Selênio	0,25	5
Vanádio	275	-
Zinco	60	300

CETESB (2001)

Os valores de referência de qualidade foram estabelecidos com base em análises de amostras ambientais para, de forma preventiva, efetuar a proteção da qualidade dos solos. Constitui a base para a elaboração de um banco de dados de qualidade, ferramenta fundamental no gerenciamento destes bens a proteger.

Os valores de alerta têm caráter preventivo, evitando que o solo em estudo torne-se uma área contaminada. Estes valores representam um limite para a adição de metais no solo, seja a fonte qual for.



## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

Para a execução dos objetivos propostos foram realizadas três campanhas para coleta de 71 amostras no âmbito do projeto FAPESP Nº 2000/10977-1, sendo a primeira efetuada em abr./2001, a segunda, em fev./2002, e a terceira, em mar./2002, nos canais e baía de Santos. Posteriormente foi realizada uma campanha de amostragem para a coleta de mais 22 amostras no Canal da Bertioga. Essas amostras foram analisadas em laboratório para determinar as concentrações dos elementos: Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sc, Ti, V e Zn (na Baía de Santos) e Al, Cu, Mn, Pb, Sc e Zn (no Canal da Bertioga).

A escolha destes 13 elementos se justifica, pois trabalhos prévios, entre eles os próprios mapeamentos da CETESB, indicam que a maioria destes metais está ligada à contaminação antrópica das “indústrias” da região de Cubatão e o Al, Fe e Sc ajudam a análise da sedimentação.

### **5.1. Amostragem**

A amostragem realizada no Canal da Bertioga visou a coleta de sedimentos de superfície de fundo (0 – 5 cm), a amostragem foi realizada com auxílio de amostrador *Van Veen*, pertencente ao IO-USP, visando a coleta de 22. A campanha foi realizada a bordo de uma pequena embarcação pesqueira, e o posicionamento foi feito com um GPS Garmin Plus III. As amostras coletadas foram descritas quanto a cor, granulometria e composição, identificadas, acondicionadas em potes plásticos e congeladas.

No canal da Bertioga foi amostrado junto à confluência com canal do porto (entroncamento das águas), o largo do Candinho (encontro de marés) e junto a desembocadura do canal com o mar, visando assim uma representatividade do canal como um todo.

A amostragem realizada na baía de Santos foi extensiva e aproximadamente geométrica, visando delimitar uma grade. No alto estuário a amostragem foi realizada no entorno da Ilha do Barnabé onde estudos prévios definiram a região como área de deposição intensa, maior taxa de sedimentação.

### **5.2. Análise granulométrica**

A determinação das características granulométricas das amostras já coletadas foi feita por meio de análise em sedimentômetro Malvern 2000, adquirido com auxílio da FAPESP (Processo 99/00646-9). A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Sedimentologia do IO-USP, após a eliminação do carbonato biodetrítico com uma solução de HCl a 10%.



A escala granulométrica utilizada foi a de Wentworth (apud Suguio, 1973) correspondentes valores de  $\phi$  ( $-\log_2$  (mm)). A escala  $\phi$  apresenta vantagem quando, durante a análise granulométrica, os intervalos escolhidos são regulares (Suguio, 1973) e permitem a identificação de variações na energia deposicional.

A análise da granulometria do sedimento forneceu informações sobre fonte e dispersão dos sedimentos, podendo ser inferidas as relações com o regime de maré e com processos fluviais e de ondas na distribuição sedimentar (Bryce *et al.*, 1998).

### **5.3. Análise dos metais**

As análises químicas dos metais contidos na fração granulométrica argila dos sedimentos de fundo da baía de Santos foram realizadas no laboratório Actilab (Canadá), Utilizando-se a técnica da digestão total (HF) da amostra, para leitura em espectrofotometro.

As amostras do alto e médio estuário foram analisadas nos laboratórios do CNRIC Hiroshima – (Japão), com técnicas de digestão similar à empregada no laboratório Actilab.

As amostras coletadas no canal da Bertioga foram analisadas em laboratório nacional (CEMIG/SP), com técnicas de digestão equivalente.

### **5.4. Tratamento dos dados**

Os resultados obtidos foram tratados no *software*, Excel© (versão 2000), para a análise granulométrica foi utilizado o *software* Labsed, elaborado pelo Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto, a distribuição das anomalias metálicas nos sedimentos foi tratada no *software* Surfer (versão 8), e o agrupamento das amostras foi realizada com *software* SPSS®.



## 6. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste estudo não apresentou grandes mudanças do que o planejado inicialmente. A única alteração foi que o campo no Canal da Bertiooga, previsto para abril/maio, só pode ser realizado em setembro. O atraso não acarretou grandes problemas, porque o volume de dados já existentes era grande e o tempo foi utilizado para copila-los e interpreta-los.

No período de abril a junho foi realizado um levantamento bibliográfico, para um maior e melhor conhecimento da área e dos processos locais. Paralelamente ao levantamento, os dados gerados com as coletas realizadas em 2002, no âmbito do projeto FAPESP (Processo 99/00646-9) foram sendo tratados e interpretados.

No período de julho a agosto continuou-se o tratamento dos dados e pode-se iniciar a geração dos mapas de localização e distribuição dos metais nos sedimentos.

Em Setembro foi realizada a campanha de campo para coleta de amostras do canal da Bertiooga, as quais foram enviadas para análises em laboratório terceirizado.

Em outubro, os dados dos sedimentos no canal da Bertiooga foram tratados e interpretados.

Por fim, em novembro foram integrados, comparados e associados todos os dados e pode-se concluir o trabalho.

O cronograma com as atividades realizadas esta apresentado a baixo.

	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Levant. bibliográfico	S	S	S					
Tratamento dos dados	S	S	S	S	S	S	S	
Coleta das amostras						S		
Análise Laboratorial						S	S	
Redação do Relatório					S	S	S	S

As maiores dificuldades encontradas foram em relação aos prazos e verbas:

Os prazos: Foram dois os problemas encontrados, o primeiro em relação ao atraso da liberação de verba para realização do campo no Canal da Bertiooga. O segundo foi o atraso na divulgação dos resultados analíticos pela CEMIC (laboratório que analisou os dados) em



10 dias. Estes fatos fizeram com que os meses de outubro e novembro ficassem sobrecarregados, exigindo uma dedicação integral para a conclusão do trabalho.

As verbas: Como esse trabalho não tem verba própria às análises laboratoriais foram realizadas junto há outros projetos existentes no departamento, sendo assim, não foi possível analisar todos os parâmetros desejados na segunda etapa de campo (canal da Bertioga).

## 7. RESULTADOS OBTIDOS

### 7.1. Resultados Analíticos dos metais na baía de Santos

Na Baía de Santos foram coletas 71 amostras, a amostragem foi extensiva e aproximadamente geométrica, visando delimitar uma grade. A Figura 7.1.1. mostra a localização dos pontos de coleta das amostras de sedimentos de fundo.

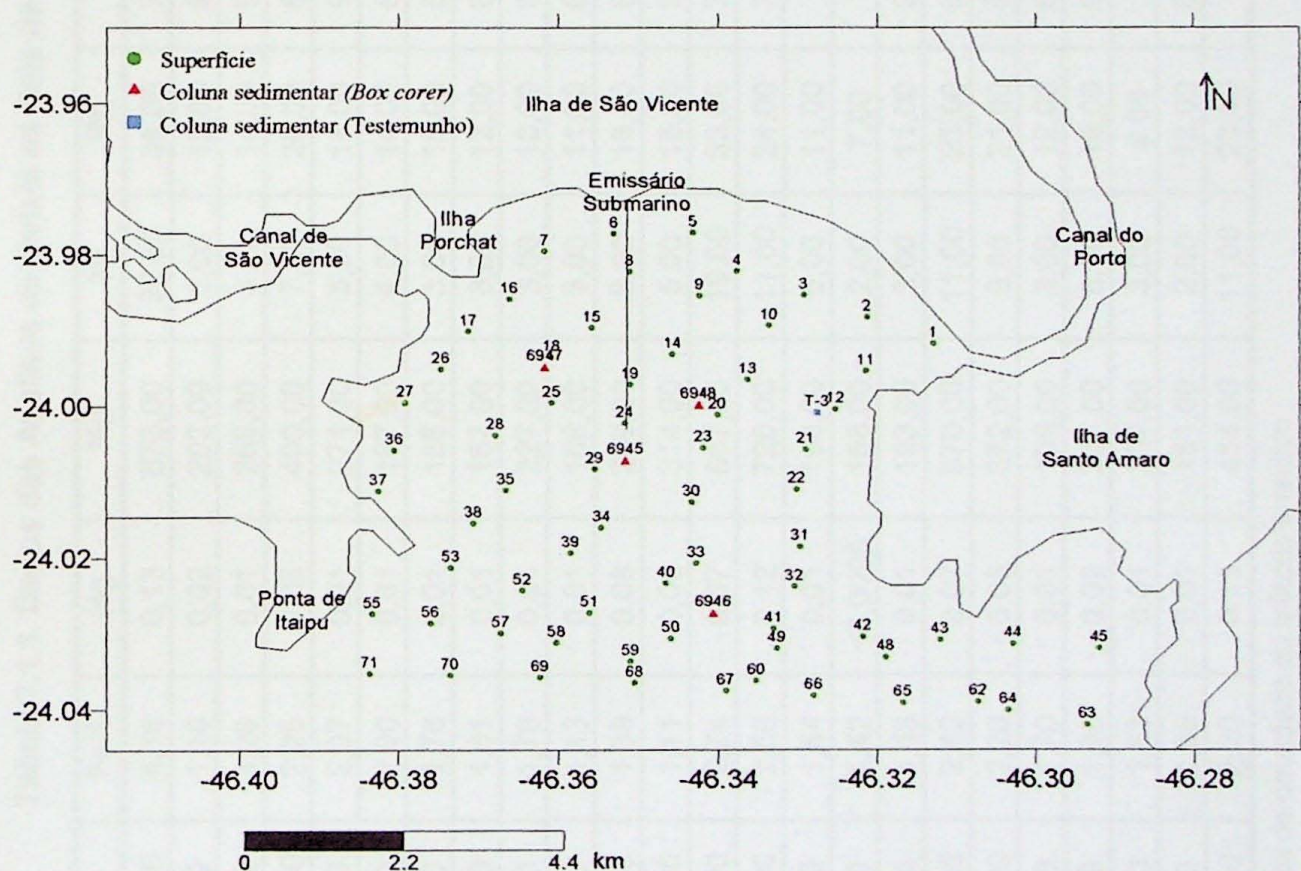


Figura 7.1.1. Localização das estações de amostragem.

A Tabela 7.1.1. mostra os resultados analíticos dos sedimentos coletados na baía de Santos.

As Figuras 7.1.1. a 7.1.12. mostram os mapas com a distribuição dos metais analisados na Baía de Santos.



**Tabela 7.1.1. Dados das Análises de Metais na Baía de Santos (mg/Kg)**

	Cr	Cu	Fe%	Hg	Mn	Ni	Pb	Rb	Ti%	Sc	V	Zn
B5-5 01	68,00	27,00	4,16	0,13	873,00	22,00	38,00	78,00	0,47	12,00	80,30	100,00
B5-5 02	17,00	6,00	1,19	0,02	202,00	3,00	12,00	60,00	0,16	2,50	15,50	36,00
B5-5 03	24,00	7,00	1,29	0,01	269,00	3,00	14,00	55,00	0,27	2,90	18,60	35,00
B5-5 04	36,00	12,00	2,25	0,05	400,00	7,00	20,00	61,00	0,30	5,30	34,90	55,00
B5-5 05	25,00	6,00	2,07	0,01	271,00	3,00	18,00	93,00	0,15	3,40	21,60	41,00
B5-5 06	25,00	6,00	2,00	0,01	197,00	4,00	14,00	69,00	0,12	3,10	20,00	36,00
B5-5 07	19,00	6,00	1,76	0,01	188,00	3,00	15,00	54,00	0,11	2,60	17,40	32,00
B5-5 08	21,00	8,00	1,81	0,01	187,00	3,00	12,00	86,00	0,15	2,90	17,80	32,00
B5-5 09	20,00	6,00	1,76	0,01	227,00	3,00	10,00	97,00	0,14	3,00	17,10	34,00
B5-5 10	23,00	6,00	1,13	0,01	189,00	3,00	11,00	64,00	0,19	2,80	15,50	27,00
B5-5 11	18,00	10,00	1,38	0,08	299,00	8,00	16,00	84,00	0,21	3,50	22,00	36,00
B5-5 12	18,00	38,00	1,11	0,08	314,00	5,00	16,00	53,00	0,22	3,00	18,60	37,00
B5-5 13	45,00	19,00	2,74	0,07	667,00	19,00	33,00	73,00	0,40	7,40	65,60	80,00
B5-5 14	39,00	14,00	2,56	0,12	720,00	11,00	24,00	74,00	0,31	6,50	48,70	63,00
B5-5 15	18,00	6,00	1,64	0,01	196,00	5,00	11,00	<15	0,16	3,20	19,40	32,00
B5-5 16	20,00	7,00	1,42	<0,0005	168,00	2,00	7,00	<15	0,15	2,30	15,40	24,00
B5-5 17	14,00	5,00	1,43	0,01	193,00	3,00	11,00	27,00	0,09	2,10	15,40	25,00
B5-5 18	35,00	17,00	2,42	0,07	570,00	11,00	23,00	60,00	0,24	5,80	42,40	57,00
B5-5 19	33,00	10,00	2,20	0,05	372,00	9,00	21,00	69,00	0,23	5,40	32,50	48,00
B5-5 20	20,00	6,00	1,70	0,01	199,00	3,00	12,00	67,00	0,15	3,40	18,70	31,00
B5-5 21	23,00	8,00	1,95	0,02	287,00	6,00	16,00	63,00	0,19	4,20	25,70	38,00
B5-5 22	20,00	8,00	1,63	0,01	207,00	3,00	9,00	<15	0,15	3,20	16,70	29,00
B5-5 23	17,00	8,00	1,39	0,01	181,00	2,00	12,00	60,00	0,14	3,20	16,70	39,00
B5-5 24	32,00	15,00	2,20	0,13	454,00	11,00	23,00	<15	0,30	6,50	41,40	66,00

< valor - valor menor que o limite de detectado do método analítico



**Tabela 7.1.1. Dados das Análises de Metais na Baía de Santos (mg/Kg)**

	Cr	Cu	Fe%	Hg	Mn	Ni	Pb	Rb	Ti%	Sc	V	Zn
B5-5 25	47,00	18,00	3,34	0,13	776,00	17,00	32,00	100,00	0,39	10,20	62,80	83,00
B5-5 26	11,00	7,00	1,46	0,01	168,00	3,00	7,00	<15	0,12	2,60	16,50	29,00
B5-5 27	21,00	5,00	1,52	0,01	184,00	3,00	10,00	<15	0,13	2,60	16,40	27,00
B5-5 28	54,00	17,00	3,56	0,27	651,00	15,00	27,00	<15	0,39	9,90	58,50	75,00
B5-5 29	55,00	20,00	3,25	0,12	729,00	18,00	33,00	<15	0,39	9,90	67,60	78,00
B5-5 30	32,00	12,00	2,27	0,03	546,00	12,00	22,00	<15	0,28	6,30	43,70	54,00
B5-5 31	22,00	7,00	1,68	0,01	223,00	2,00	15,00	65,00	0,20	3,30	18,80	30,00
B5-5 32	19,00	7,00	1,57	0,01	187,00	2,00	13,00	60,00	0,16	3,30	17,20	30,00
B5-5 33	30,00	19,00	2,18	0,02	298,00	8,00	17,00	52,00	0,24	5,10	32,10	45,00
B5-5 34	34,00	12,00	2,31	0,04	390,00	8,00	20,00	56,00	0,23	5,70	34,70	47,00
B5-5 35	73,00	22,00	4,10	0,12	1085,00	21,00	33,00	75,00	0,44	13,00	80,10	92,00
B5-5 36	17,00	8,00	1,67	0,01	276,00	5,00	13,00	<15	0,13	3,20	22,60	31,00
B5-5 37	16,00	7,00	1,72	0,01	255,00	3,00	11,00	85,00	0,11	2,90	19,60	28,00
B5-5 38	71,00	40,00	4,16	0,14	1019,00	21,00	40,00	<15	0,44	13,10	81,40	85,00
B5-5 39	35,00	42,00	2,39	0,04	372,00	9,00	18,00	50,00	0,22	6,00	33,80	49,00
B5-5 40	12,00	10,00	1,75	0,01	232,00	5,00	11,00	30,00	0,15	4,00	20,90	31,00
B5-5 41	55,00	25,00	2,97	0,01	454,00	12,00	22,00	<15	0,27	9,30	44,90	52,00
B5-5 42	20,00	10,00	1,64	0,06	187,00	3,00	11,00	51,00	0,12	3,20	14,00	24,00
B5-5 43	26,00	25,00	2,05	0,01	242,00	5,00	11,00	56,00	0,16	4,80	22,30	35,00
B5-5 44	18,00	15,00	1,91	0,02	188,00	3,00	9,00	42,00	0,12	4,00	14,90	28,00
B5-5 45	42,00	26,00	3,15	0,01	350,00	8,00	17,00	88,00	0,22	9,20	27,50	37,00
B5-5 48		28,00		0,01	83,00	1,00	<3		0,06	3,20	6,10	13,00

< valor - valor menor que o limite de detectado do método analítico



Tabela 7.1.1. Dados das Análises de Metais na Baía de Santos (mg/Kg)

	Cr	Cu	Fe%	Hg	Mn	Ni	Pb	Rb	Ti%	Sc	V	Zn
B5-5 48	12,00	16,00	1,36	0,01	85,00	2,00	4,00	58,00	0,05	3,20	6,00	20,00
B5-5 49	19,00	8,00	1,61	0,01	78,00	3,00	5,00	<15	0,05	3,30	7,10	21,00
B5-5 50	25,00	11,00	2,35	0,04	67,00	3,00	<3	117,00	0,04	5,40	6,60	17,00
B5-5 51	44,00	8,00	2,39	0,04	64,00	2,00	4,00	<15	0,04	7,30	4,60	15,00
B5-5 52	27,00	6,00	1,66	0,03	65,00	1,00	<3	51,00	0,04	4,10	2,40	14,00
B5-5 53	16,00	14,00	1,45	0,01	29,00	1,00	<3	38,00	0,02	3,00	2,50	13,00
B5-5 55	20,00	4,00	1,42	0,01	34,00	<1	<3	59,00	0,03	2,50	0,10	9,00
B5-5 56	19,00	6,00	1,40	0,01	28,00	1,00	<3	58,00	0,02	3,00	0,10	9,00
B5-5 57	18,00	11,00	1,50	0,01	17,00	<1	3,00	50,00	0,01	3,10	0,10	12,00
B5-5 58	16,00	13,00	1,47	0,01	31,00	2,00	<3	63,00	0,02	3,20	2,80	12,00
B5-5 59	21,00	20,00	1,77	0,01	27,00	2,00	<3	51,00	<0,01	4,20	0,10	16,00
B5-5 60	17,00	20,00	1,56	0,02	11,00	2,00	<3	57,00	<0,01	3,30	38,40	15,00
B5-5 61	25,00	9,00	2,02	0,01	301,00	6,00	21,00	50,00	0,23	5,00	18,60	58,00
B5-5 62	22,00	5,00	1,69	0,01	206,00	<1	11,00	31,00	0,16	3,40	52,60	32,00
B5-5 63	29,00	12,00	2,57	0,03	378,00	11,00	30,00	<15	0,31	7,30	91,90	63,00
B5-5 64	70,00	20,00	3,94	0,08	962,00	23,00	41,00	86,00	0,47	12,90	46,80	93,00
B5-5 65	25,00	10,00	1,95	0,04	336,00	10,00	19,00	84,00	0,26	4,70	55,30	55,00
B5-5 66	46,00	12,00	2,61	0,05	430,00	12,00	27,00	<15	0,31	8,30	24,30	65,00
B5-5 67	17,00	6,00	1,75	0,01	226,00	2,00	16,00	87,00	0,15	3,60	47,30	37,00
B5-5 68	34,00	9,00	2,58	0,05	321,00	9,00	19,00	82,00	0,27	7,50	1,00	56,00
B5-5 69	22,00	22,00	1,51	0,02	73,00	<1	<3	94,00	<0,01	3,00	1,00	238,00
B5-5 70	15,00	29,00	1,52	0,01	54,00	<1	<3	67,00	<0,01	2,60	1,00	274,00
B5-5 71	14,00	4,00	1,57	<0,0005	289,00	4,00	12,00	41,00	0,14	2,60	22,30	26,00
mediana	24,33	11,67	1,87	14,67	202,67	4,17	15,83	59,83	0,15	3,85	19,40	31,00
máximo	73,00	42,00	4,16	267,00	1085,00	23,00	41,00	117,00	0,47	13,10	91,90	274,00
mínimo	11,00	4,00	1,11	5,00	11,00	1,00	3,00	27,00	0,01	2,10	0,10	9,00

&lt; valor - valor menor que o limite de detectado do método analítico



A Figura 7.1.1. mostra a distribuição do Cromo (ppm) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

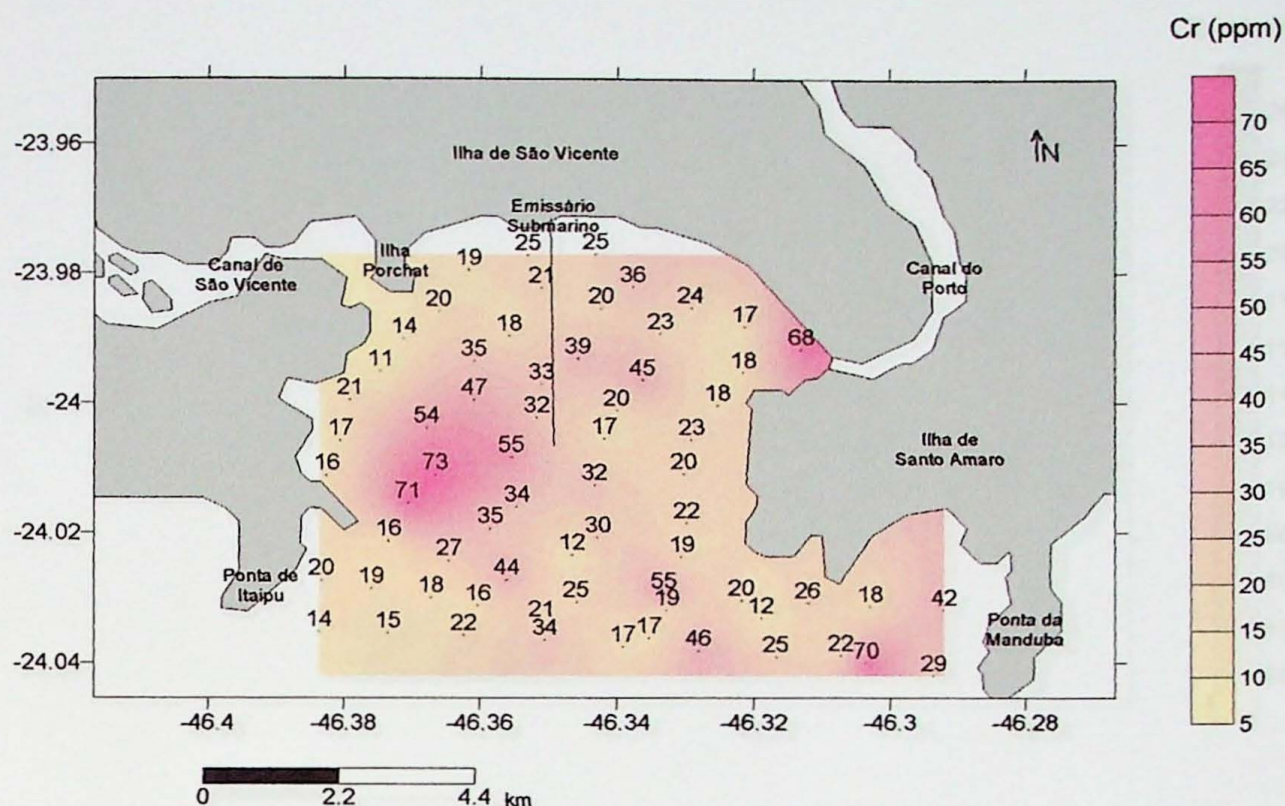


Figura 7.1.1. Distribuição do Cromo na Baía de Santos

A concentração máxima do Cromo foi de 73 ppm, a concentração mínima de 11 ppm com uma mediana de 24.3 ppm.

As maiores concentrações de Cr foram encontradas nas porções Centro-Oeste da área, na desembocadura do Canal do Porto, e próximo a Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 65 ppm.

As menores concentrações foram encontradas nas proximidades do Canal de São Vicente, nas proximidades da Ponta de Itaipu e nas proximidades da Ilha Santo Amaro, sendo que nestes locais os valores não ultrapassam os 25 ppm.



A Figura 7.1.2. mostra a distribuição do Zinco (ppm) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

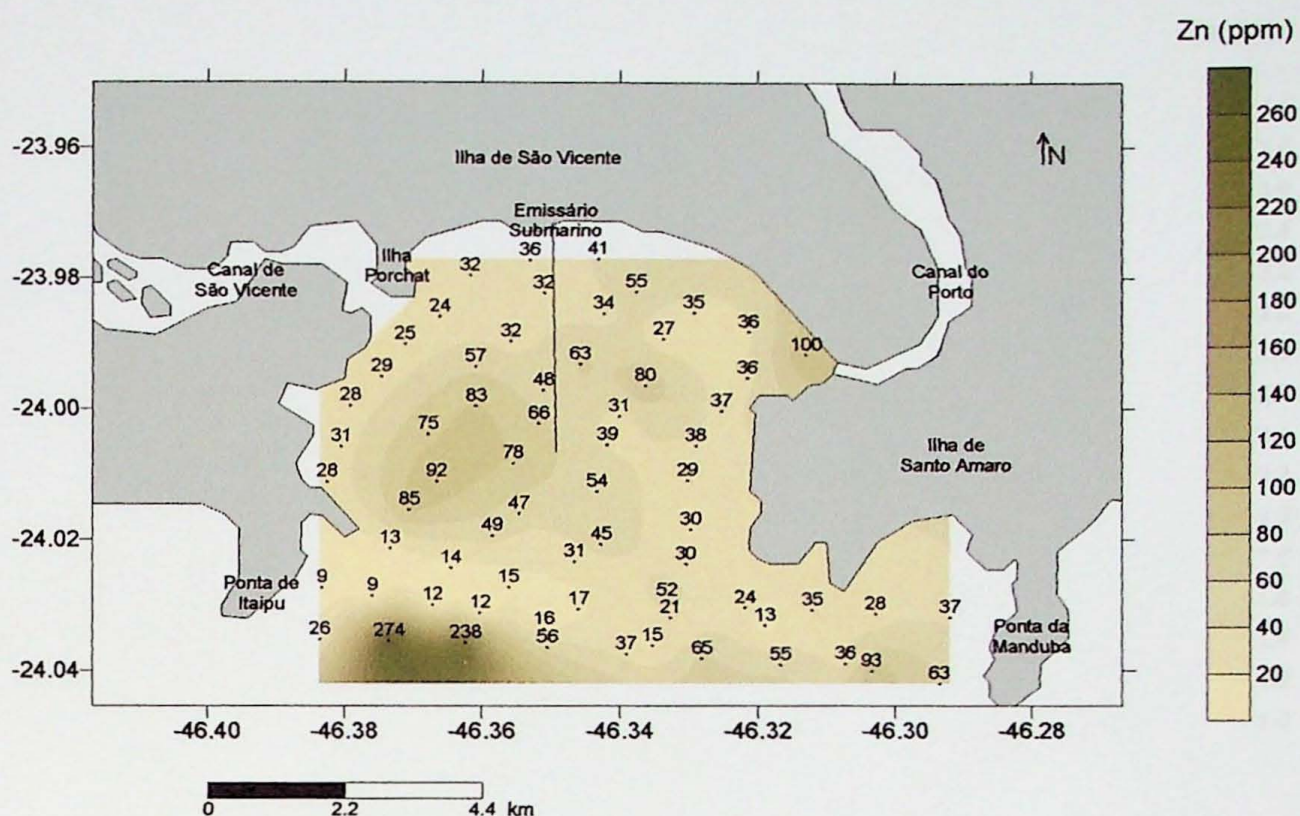


Figura 7.1.2. Distribuição do Zinco na Baía de Santos

A concentração máxima do Zinco foi de 274 ppm, a concentração mínima de 9 ppm com uma mediana de 31 ppm.

As maiores concentrações de Zn foram encontradas nas porções Centro-Oeste da área, na desembocadura do Canal do Porto e próximo a Ponta de Itaipu com valores que ultrapassam os 90 ppm.

As menores concentrações foram encontradas nas proximidades da Ilha de São Vicente, na desembocadura do Canal de São Vicente e nas proximidades da Ilha de Santo Amaro, com valores que não ultrapassam os 35 ppm.



A Figura 7.1.3. mostra a distribuição do Ferro (%) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

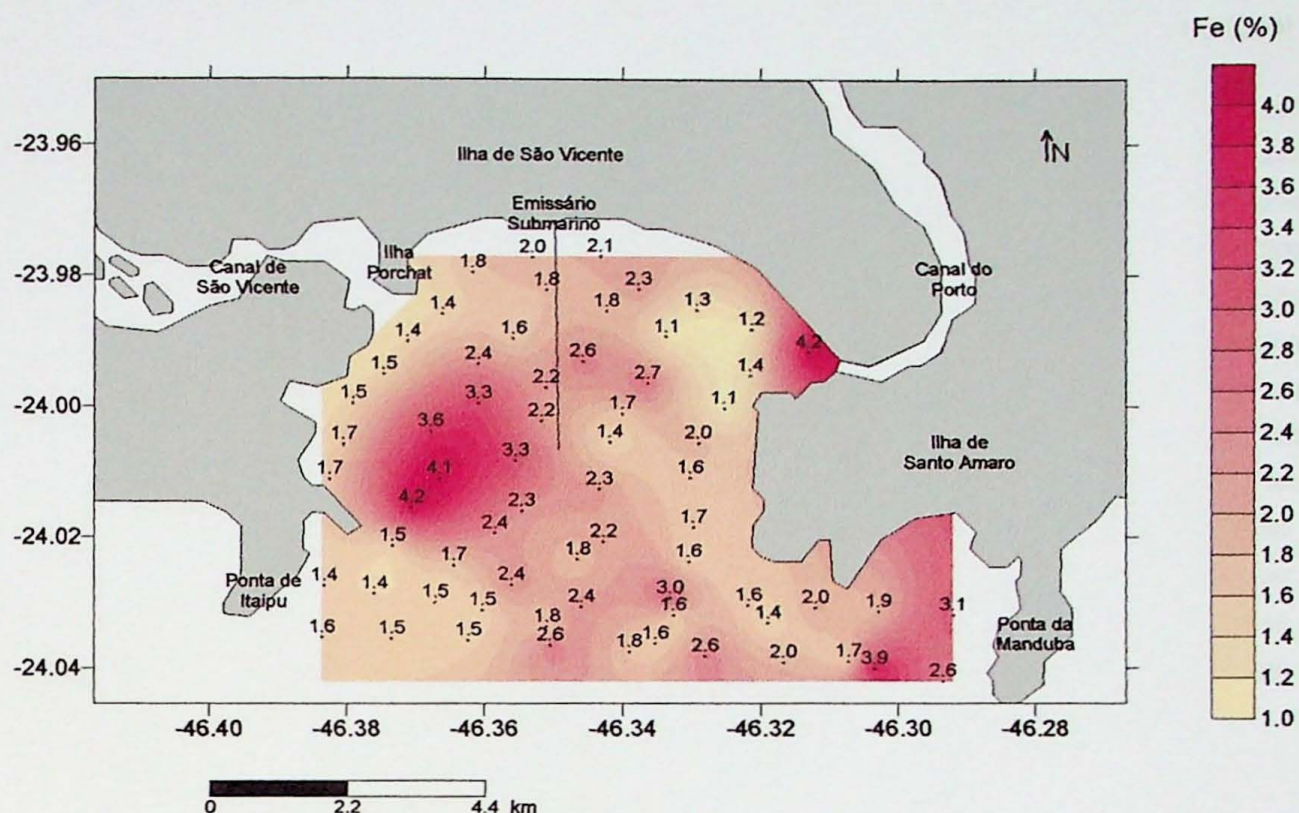


Figura 7.1.3. Distribuição do Ferro na Baía de Santos

A concentração máxima do Ferro foi de 4.16%, a concentração mínima de 1.11% com uma mediana de 1.87%.

As maiores concentrações de Fe foram encontradas na porção centro-oeste da área, na desembocadura do Canal do Porto e próximas a Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 3,9%.

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal São Vicente, próximo a Ponta de Itaipu e NE da área, com valores que não ultrapassam os 1,5%.



A Figura 7.1.4. mostra a distribuição Mercúrio (ppb) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

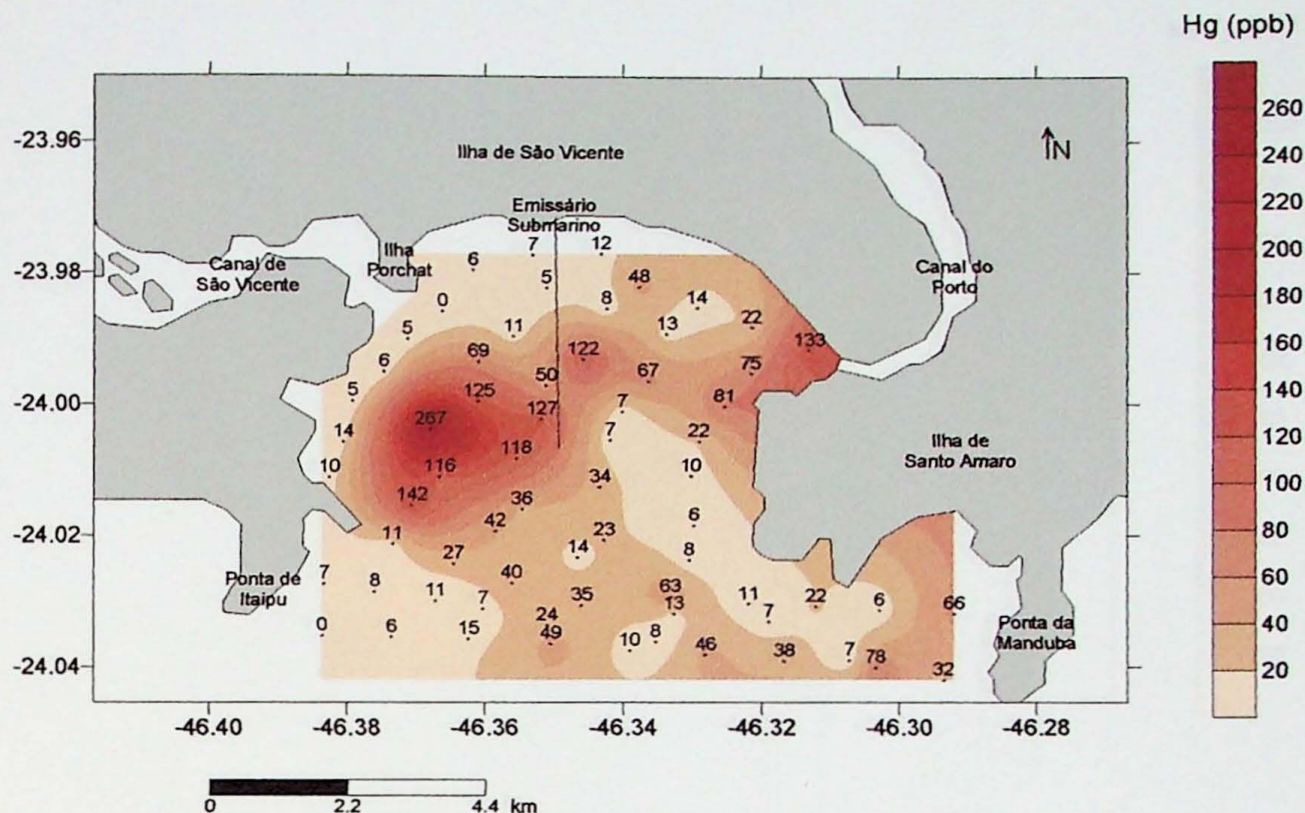


Figura 7.1.4. Distribuição do Mercúrio na Baía de Santos

A concentração máxima do Mercúrio foi de 267 ppb, a concentração mínima de 5 ppb com uma mediana de 14.6 ppb.

As maiores concentrações de Hg foram encontradas nas porções Centro-Oeste e na desembocadura do Canal do Porto, com valores que ultrapassam os 130 ppb.

As menores concentrações foram encontradas nas proximidades centro oeste da Ilha de São Vicente, nas proximidades da Ponta de Itaipu e em uma faixa do centro até o SE da área, com valores que não ultrapassam os 10 ppb.



A Figura 7.1.5. mostra a distribuição do Manganês (ppm) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

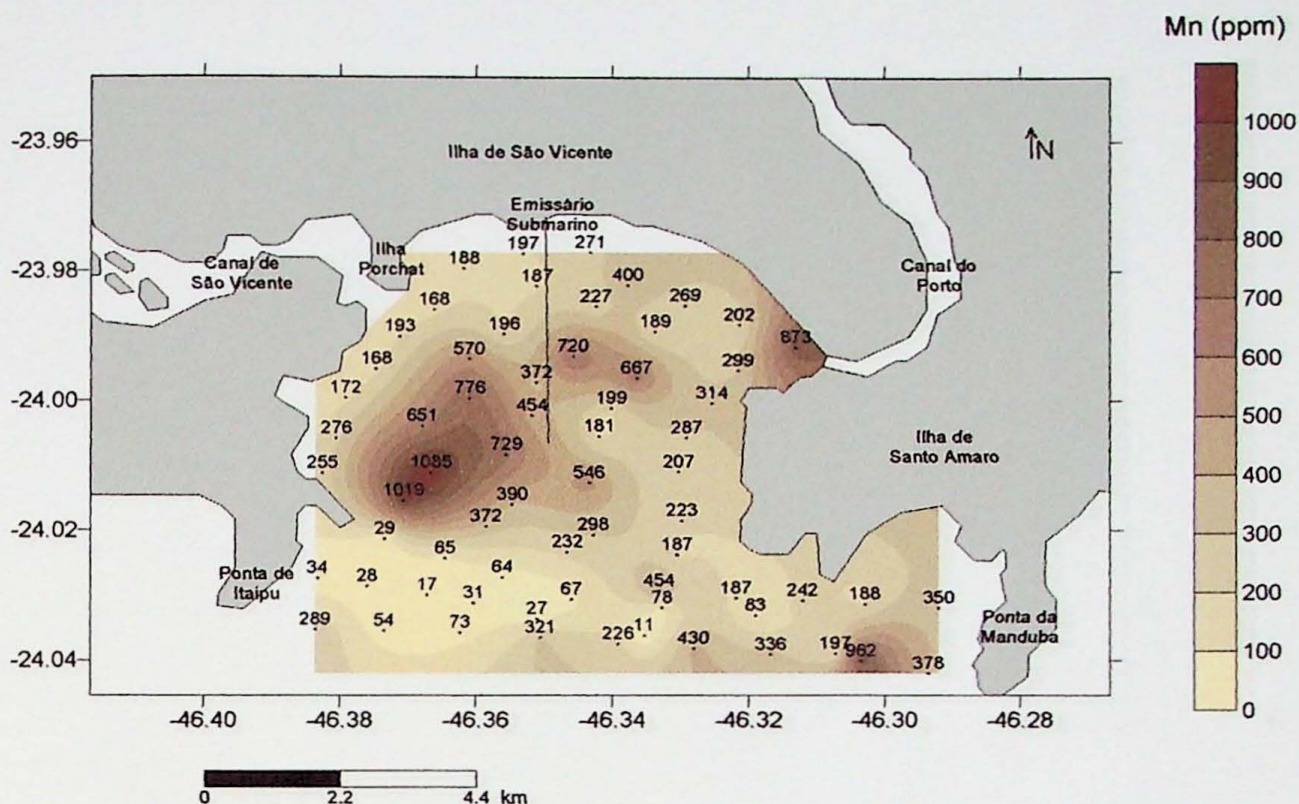


Figura 7.1.5. Distribuição do Manganês na Baía de Santos

A concentração máxima do Manganês foi de 1085 ppm, a concentração mínima de 11 ppm com uma mediana de 202.6 ppm.

As maiores concentrações de Mn foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 900 ppm.

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal de São Vicente e nas proximidades da Ponta de Itaípu, com valores que não ultrapassam os 30 ppm.



A Figura 7.1.6. mostra a distribuição do Níquel (ppm) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

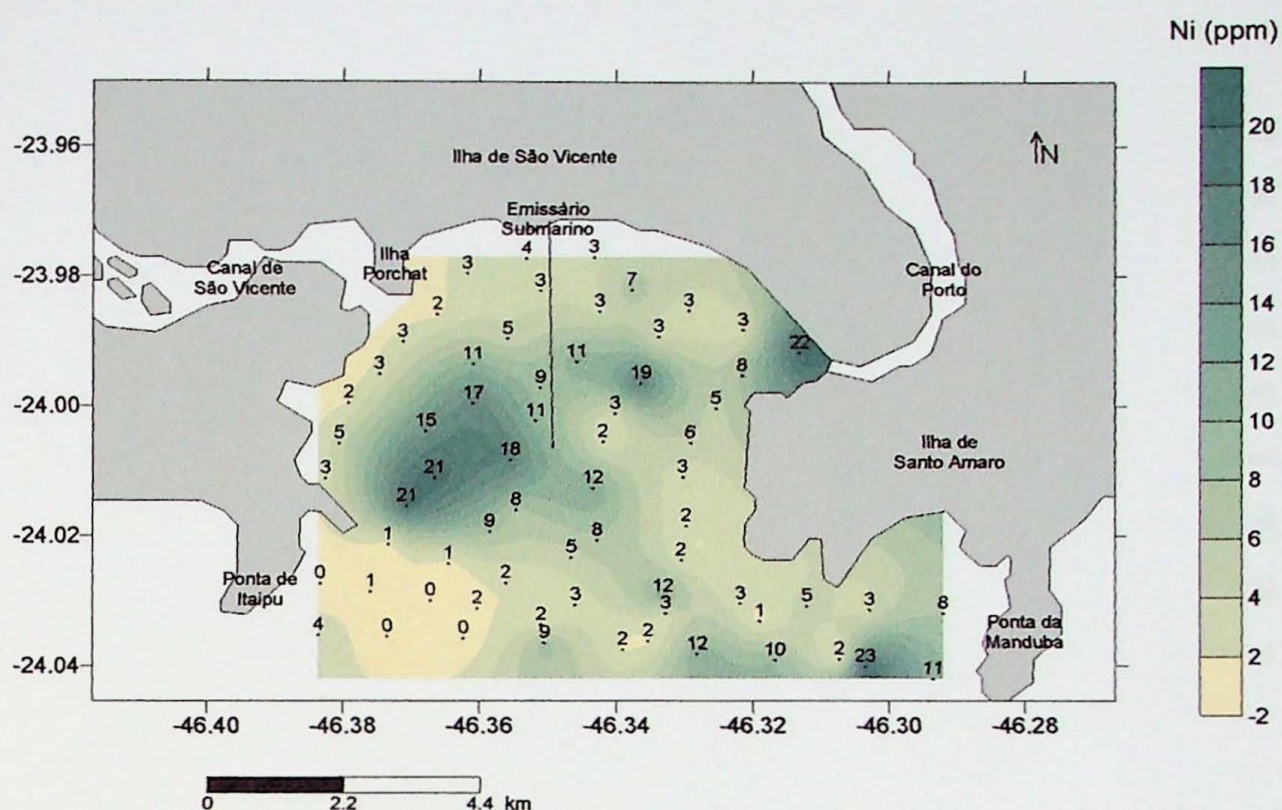


Figura 7.1.6. Distribuição do Níquel na Baía de Santos

A concentração máxima do Níquel foi de 23 ppm, a concentração mínima de 1 ppm com uma mediana de 4.1 ppm.

As maiores concentrações de Ni foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 20 ppm.

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal de São Vicente e nas proximidades da Ponta de Itaipu, com valores que não ultrapassam os 3 ppm.



A Figura 7.1.7. mostra a distribuição do Vanádio (ppm) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

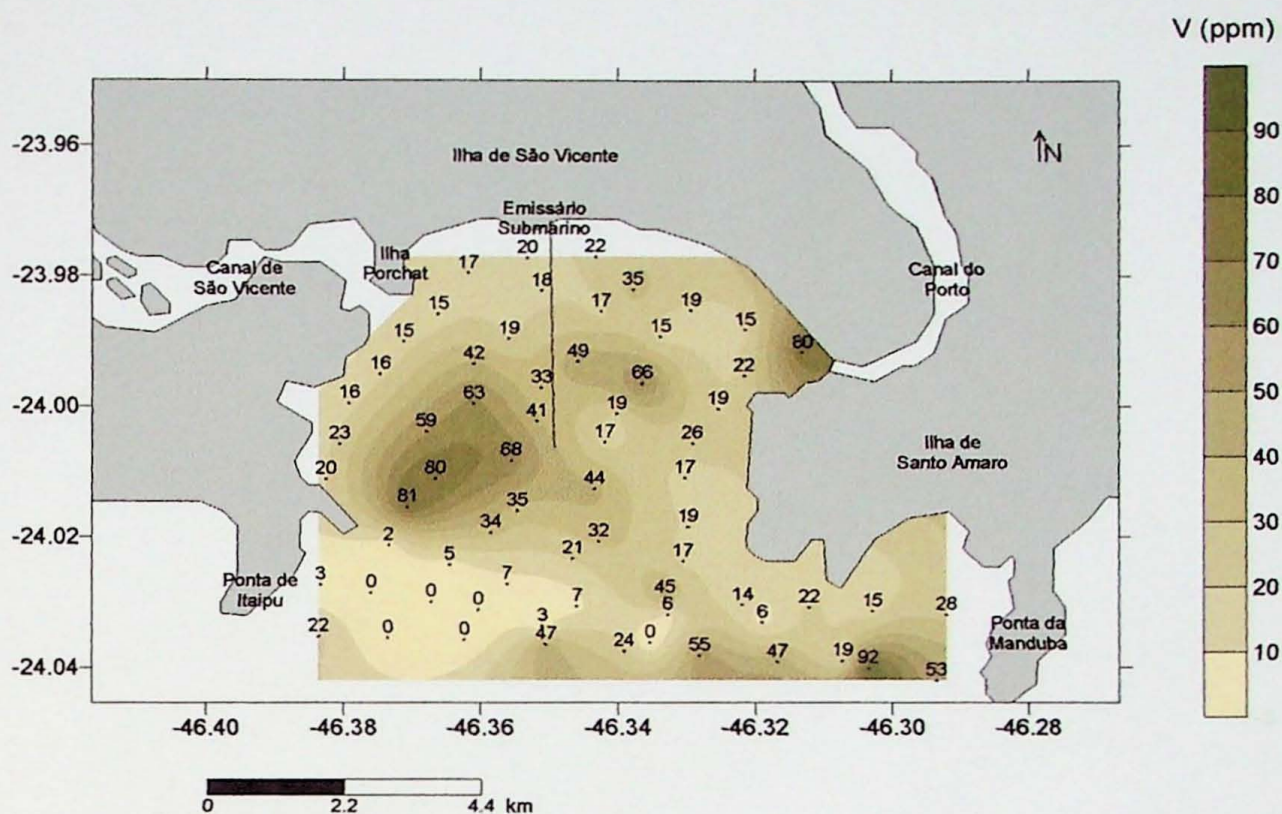


Figura 7.1.7. Distribuição do Vanádio na Baía de Santos

A concentração máxima do Vanádio foi de 91.9 ppm, a concentração mínima de 0.1 ppm com uma mediana de 19.4 ppm.

As maiores concentrações de V foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 80 ppm.

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal de São Vicente, nas proximidades da Ilha de Santo Amaro e nas proximidades da Ponta de Itaipu, com valores que não ultrapassam os 20 ppm, sendo que nas proximidades da Ponta de Itaipu as concentrações não alcançaram os valores de detecção do método analítico.



A Figura 7.1.8. mostra a distribuição do Chumbo (ppm) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

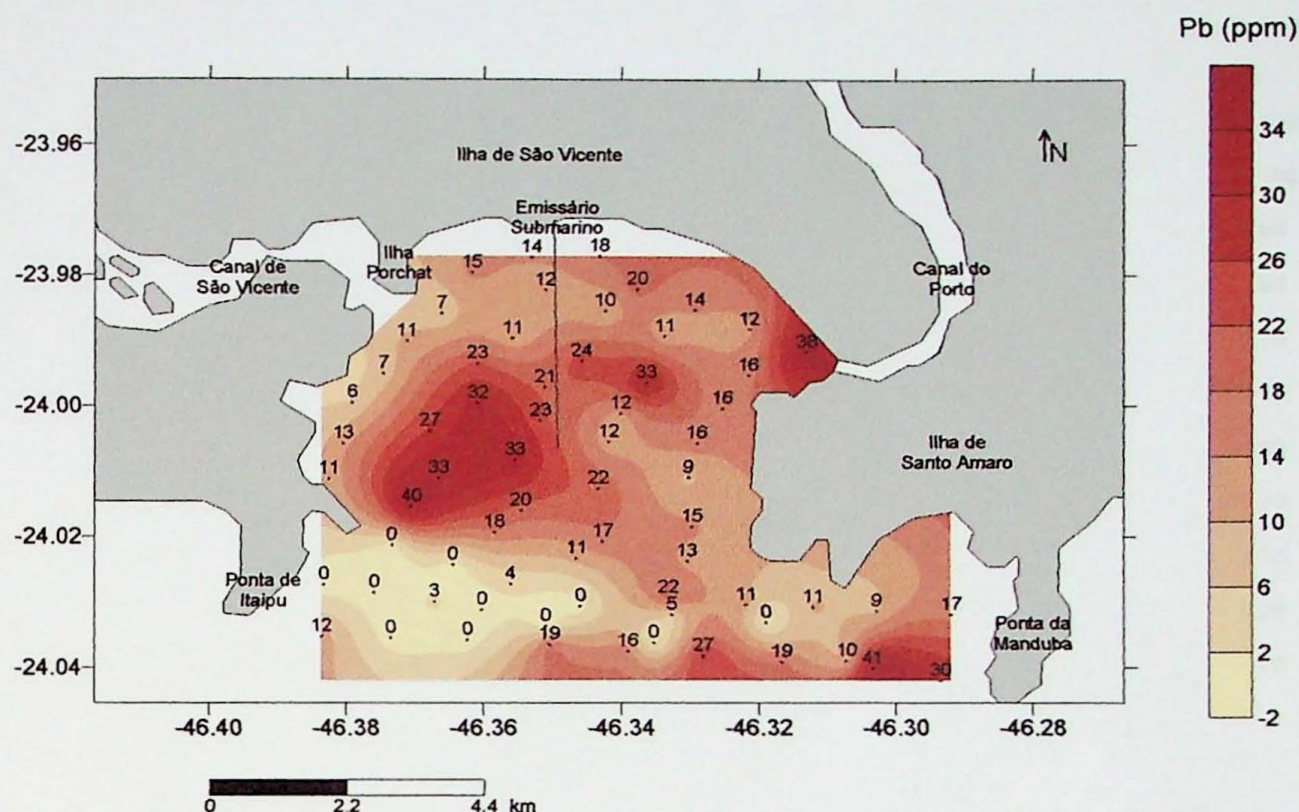


Figura 7.1.8. Distribuição do Chumbo na Baía de Santos

A concentração máxima do Chumbo foi de 41 ppm, a concentração mínima de 3 ppm com uma mediana de 15.83 ppm

As maiores concentrações de Pb foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 35 ppm.

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal de São Vicente e nas proximidades da Ponta de Itaipu, com valores que não ultrapassam os 10 ppm, sendo que nas proximidades da Ponta de Itaipu as concentrações não alcançaram os valores de detecção do método analítico.



A Figura 7.1.9. mostra a distribuição do Rubídio (ppm) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

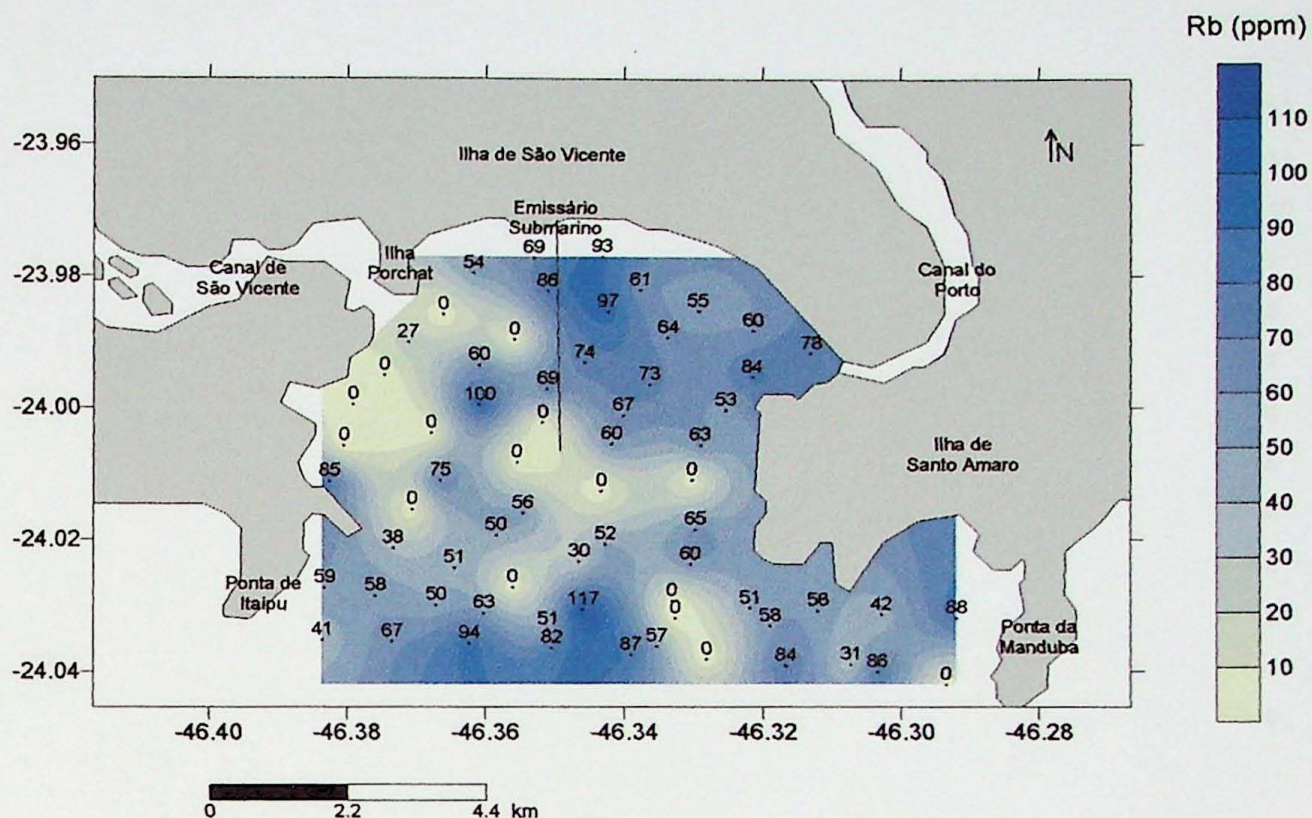


Figura 7.1.9. Distribuição do Rubídio na Baía de Santos

A concentração máxima do Rubídio foi de 117 ppm, a concentração mínima de 27 ppm com uma mediana de 59.83 ppm

As maiores concentrações de Rb foram encontradas nas porções Norte, sul e na desembocadura do Canal do Porto, com valores que ultrapassam os 75 ppm.

As menores concentrações foram encontradas W, SSE da área e no centro da baía com concentrações que não alcançaram os valores de base do método analítico.



A Figura 7.1.10. mostra a distribuição do Escândio (ppm) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

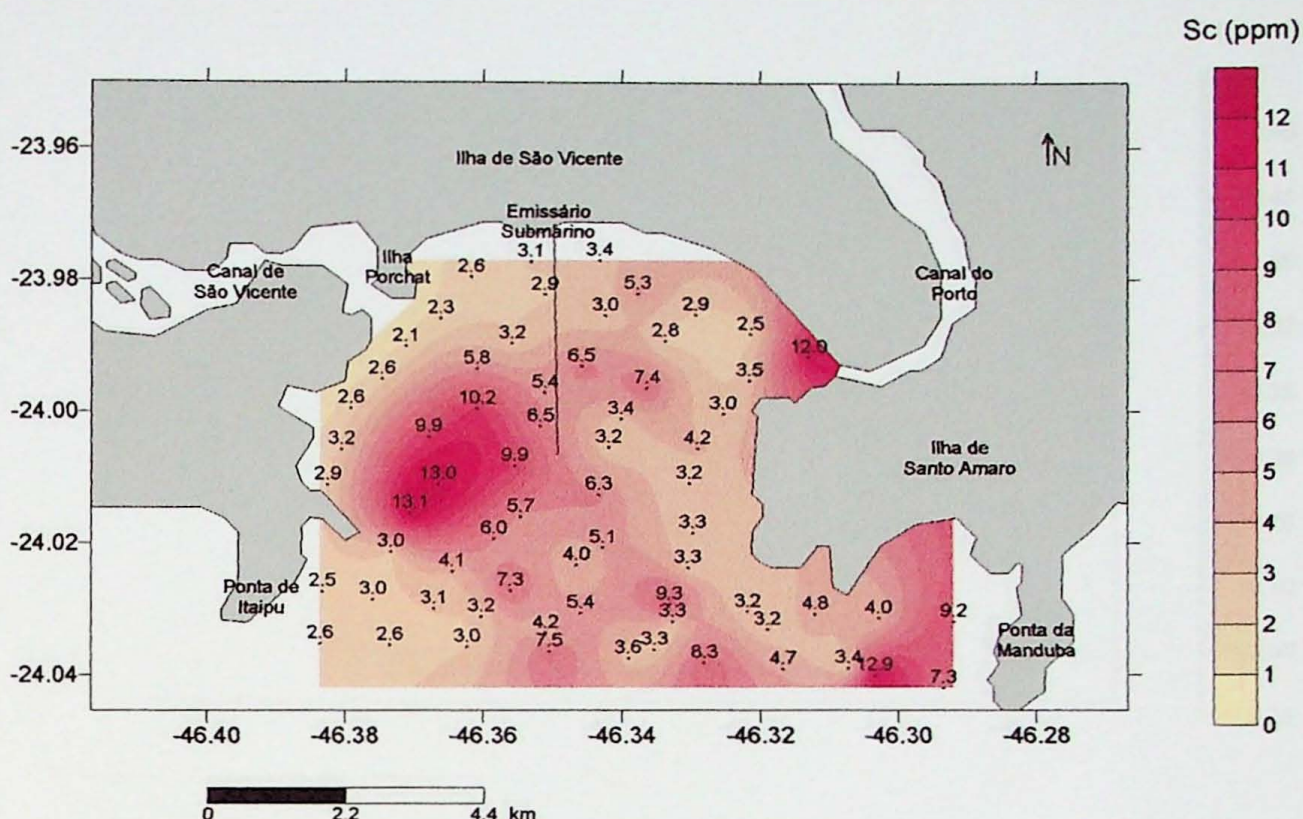


Figura 7.1.10. Distribuição do Escândio na Baía de Santos

A concentração máxima do Escândio foi de 13.1 ppm, a concentração mínima de 2.1ppm com uma mediana de 3.8 ppm

As maiores concentrações de Sc foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 12 ppm.

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal de São Vicente, nas proximidades da Ponta de Itaipu e SW da área com valores que não ultrapassam os 3 ppm.



A Figura 7.1.11. mostra a distribuição do Titânio (%) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

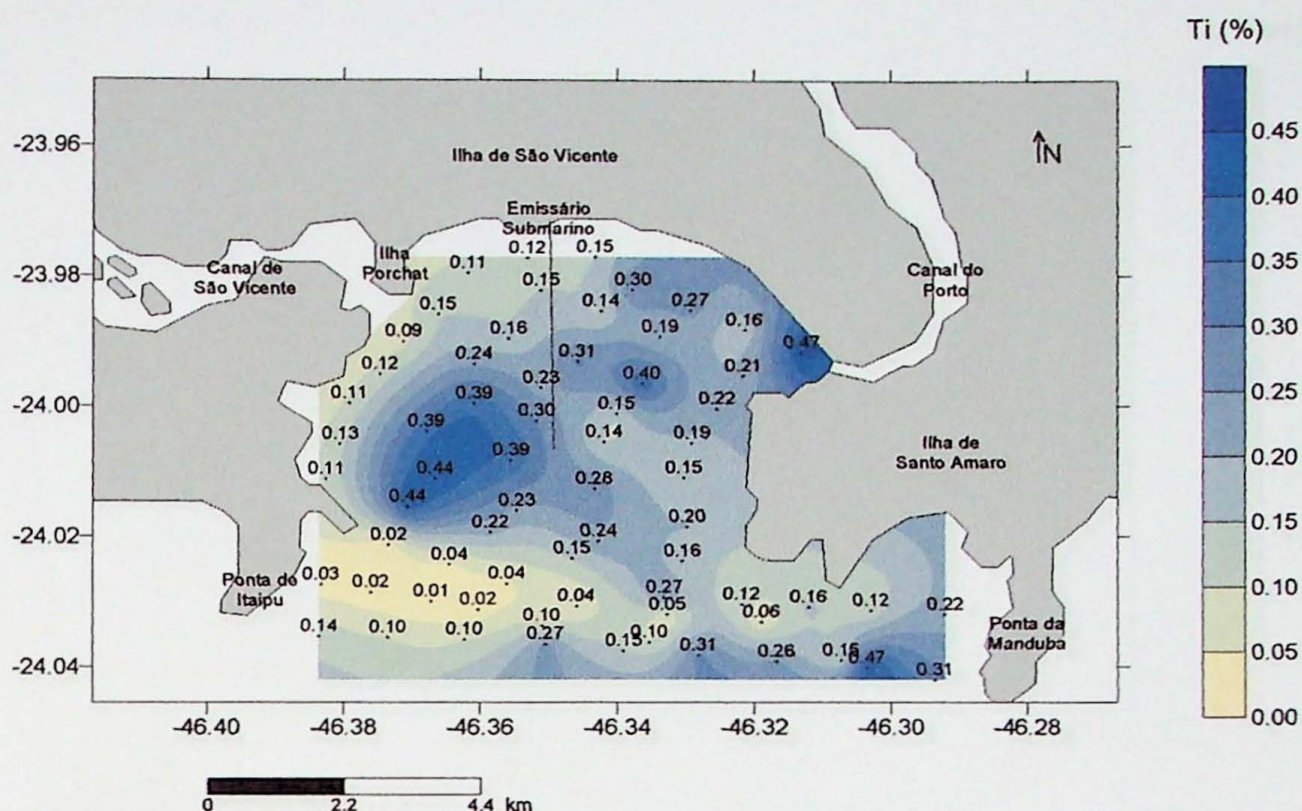


Figura 7.1.11. Distribuição do Titânio na Baía de Santos

A concentração máxima do Titânio foi de 0.47 %, a concentração mínima de 0.1 % com uma mediana de 0.15 %.

As maiores concentrações de Ti foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 0,4 %.

As menores concentrações foram encontradas nas proximidades da Ponta de Itaipu, com valores que não ultrapassam os 0,03 %.



A Figura 7.1.12. mostra a distribuição do Cobre (ppm) nos sedimentos de superfície de fundo na Baía de Santos.

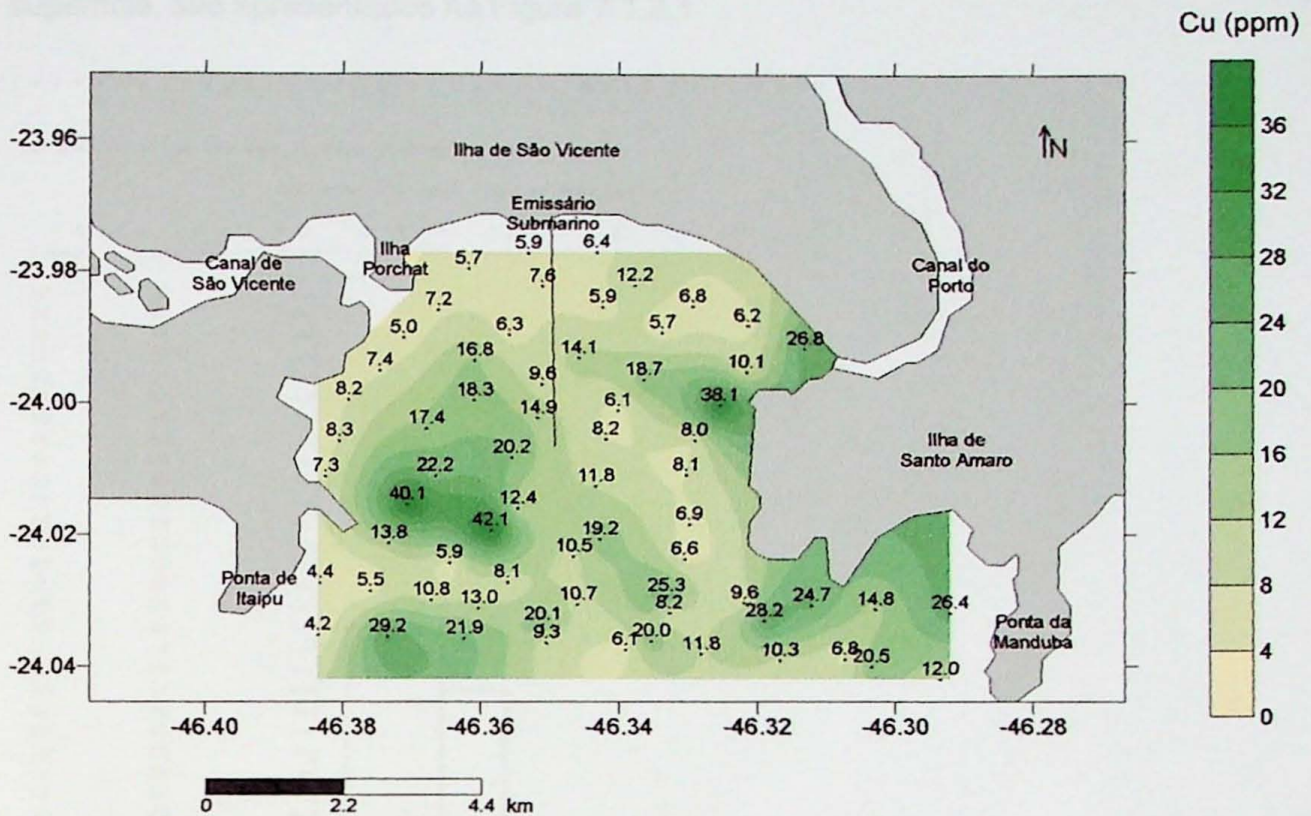


Figura 7.1.12. Distribuição do Cobre na Baía de Santos

A concentração máxima do Cobre foi de 42 ppm, a concentração mínima de 4 ppm com uma mediana de 11.6 ppm.

As maiores concentrações de Cu foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto, nas proximidades da Ponta de Itaípu e da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 28 ppm.

As menores concentrações foram encontradas E da área e na desembocadura do Canal de São Vicente, com valores que não ultrapassam os 7 ppm.



### 7.1.2. Análise de Agrupamento

O resultado da análise de agrupamentos, (hierarchical cluster analysis) para as amostras de superfície, são apresentados na Figura 7.1.2.1

\*\*\*\*\* HIERARCHICAL CLUSTER ANALYSIS \*\*\*\*\*

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

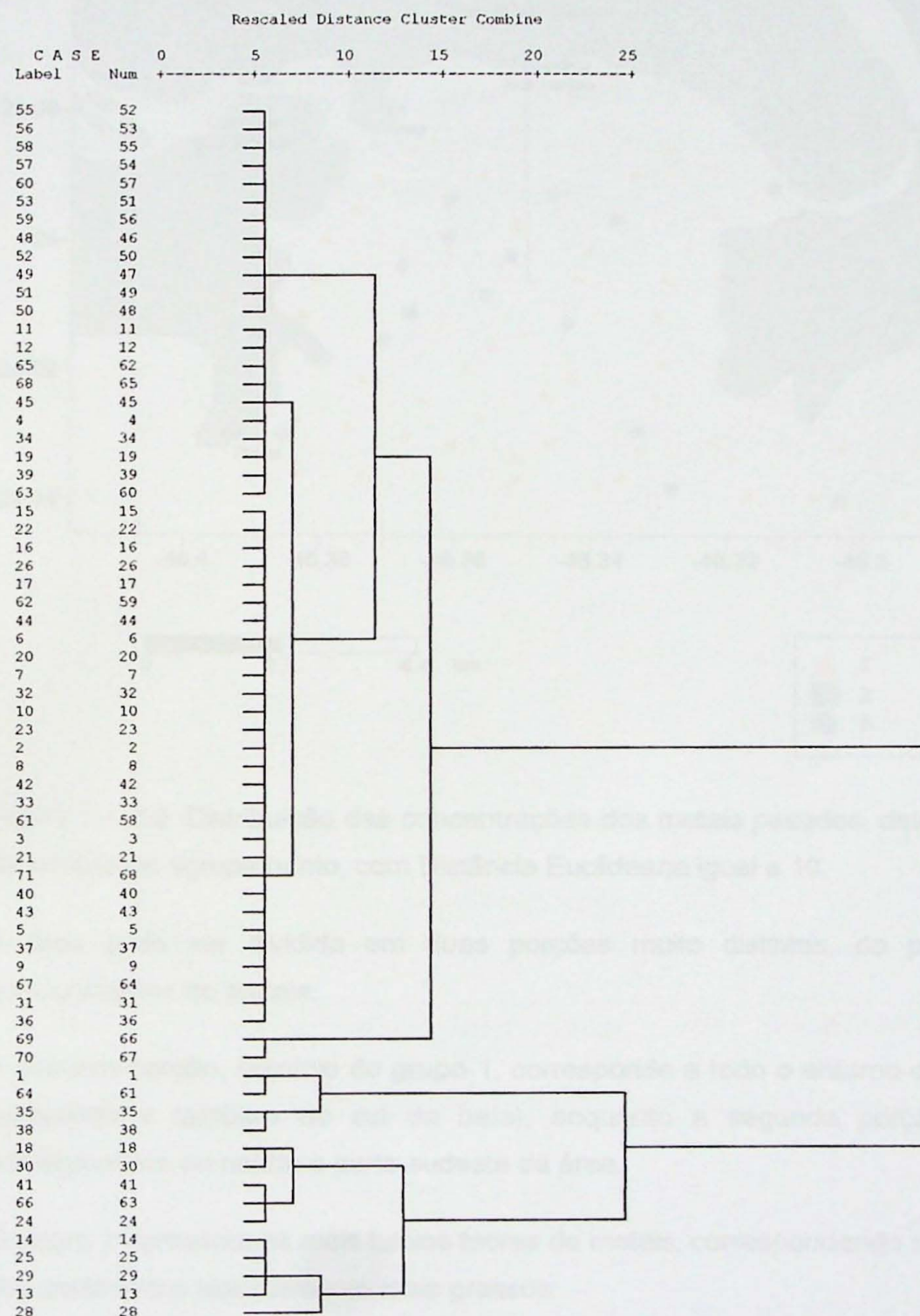


Figura 7.1.2.1. Dendrograma gerado a partir de análise classificatória por Distância Euclidiana das amostras de Superfície.



Admitindo-se como valor de corte uma Distância Euclideana igual a 10, podem ser individualizados três grupos de amostra, cuja distribuição encontra-se apresentada na Figura 7.1.2.2.

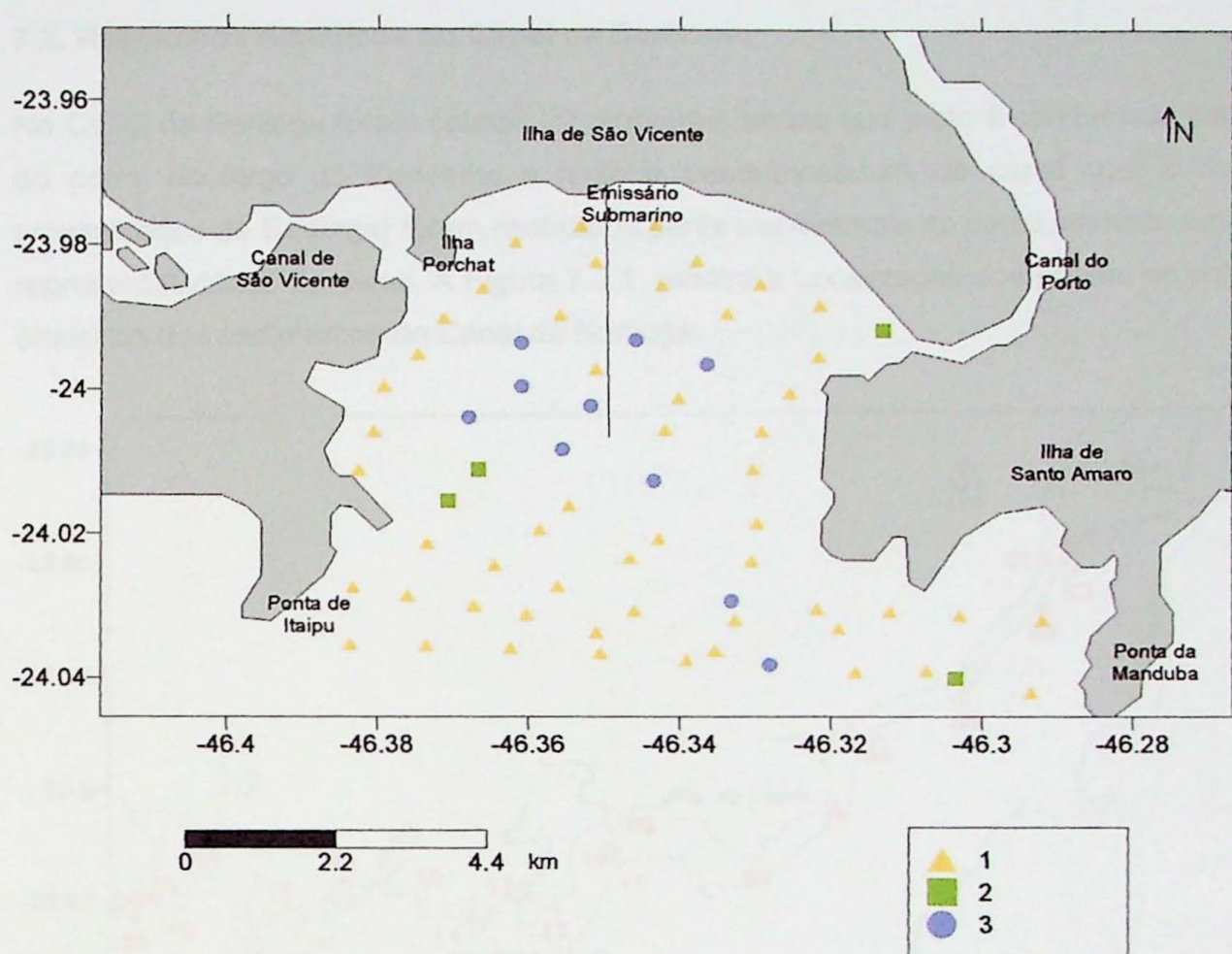


Figura 7.1.2.2. Distribuição das concentrações dos metais pesados, determinados por meio de análise de agrupamento, com Distância Euclideana igual a 10.

A área pode ser dividida em duas porções muito distintas, do ponto de vista das concentrações de metais.

A primeira porção, domínio do grupo 1, corresponde a todo o entorno da área (próxima ao continente e também no sul da baía), enquanto a segunda porção, grupos 2 e 3, correspondem ao centro e parte sudeste da área.

O grupo 1 apresenta os mais baixos teores de metais, correspondendo a área de ocorrência dos sedimentos texturalmente mais grossos.

O grupo 2 apresenta valores intermediários em praticamente todos os parâmetros, em relação aos demais grupos.

O grupo 3, por sua vez, representa os sedimentos que contém os mais altos teores dos metais analisados, bem como elevados valores de silte e argila. Consistem nos sedimentos



de menor diâmetros médios e, conseqüentemente, pode-se afirmar que o grupo 3 é encontrado em ambientes de menor energia, o que permite a sedimentação de finos e, associados a estes estão os metais.

## 7.2. Resultados Analíticos do Canal da Bertioga.

No Canal da Bertioga foram coletas 22 amostras, sendo que junto à confluência com canal do porto, no largo do Candinho e junto a desembocadura do canal com o mar (nas proximidades de Bertioga) foram realizados perfis transversais ao canal, visando uma maior representatividade do canal. A Figura 7.2.1. mostra a Localização dos pontos de coleta das amostras dos sedimentos do Canal da Bertioga.

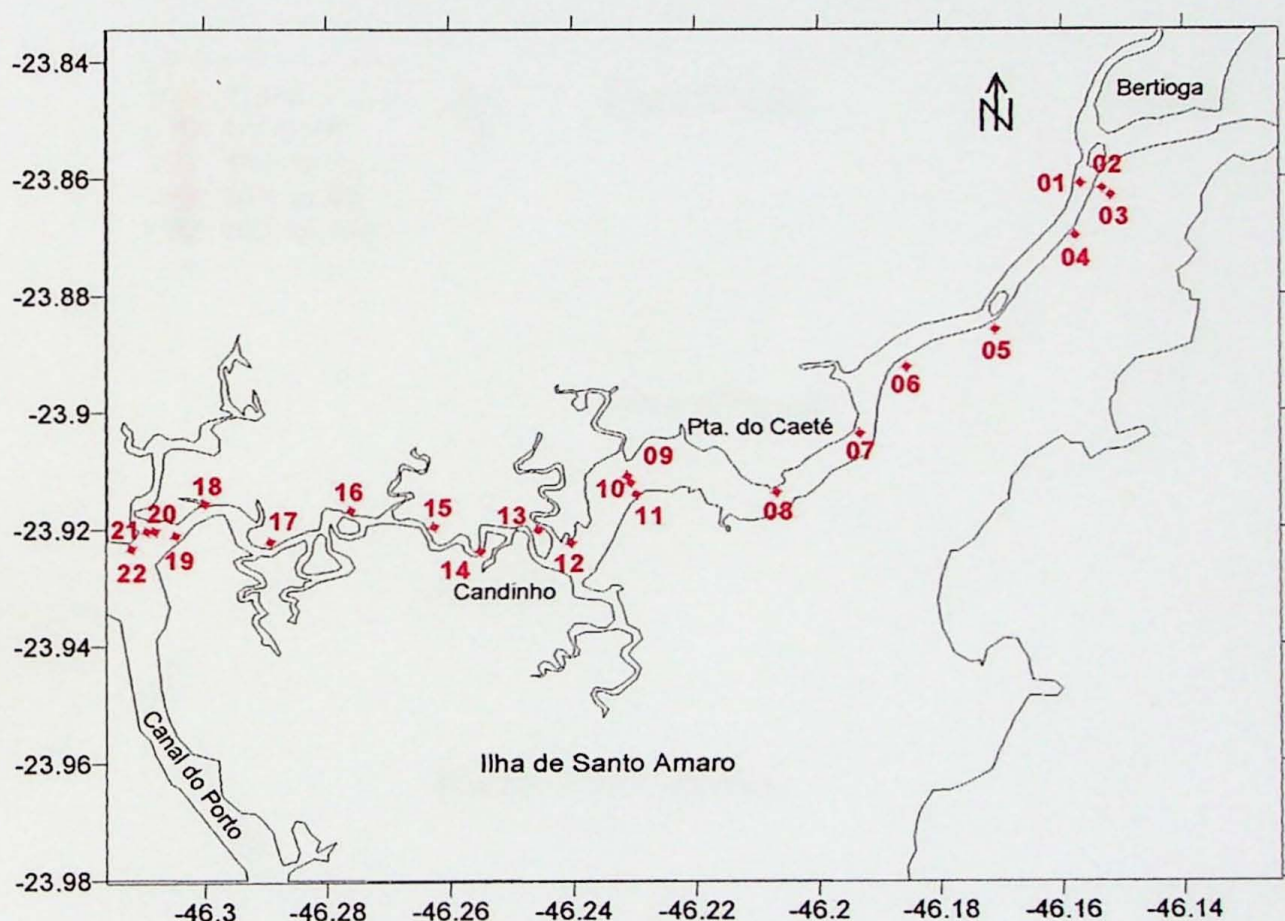


Figura 7.2.1. Localização dos pontos amostrados no Canal da Bertioga.



### 7.2.1. Análise dos sedimentos superficiais do Canal da Bertioga.

A análise dos sedimentos visou apenas à distribuição granulométrica e o teor de  $\text{CaCO}_3$  dos sedimentos do Canal, para isso foi utilizada a metodologia de peneiramento a úmido descrito por Suguio (1973).

A Tabela 7.2.1.1. mostra a localização e a distribuição granulométrica e teor de carbonato dos pontos amostrados.

As Figuras 7.2.1.1. a 7.2.1.3 ilustram a distribuição dos sedimentos no Canal da Bertioga.

A Figura 7.2.1.1. ilustra a distribuição de carbonato biodetrítico no Canal da Bertioga.

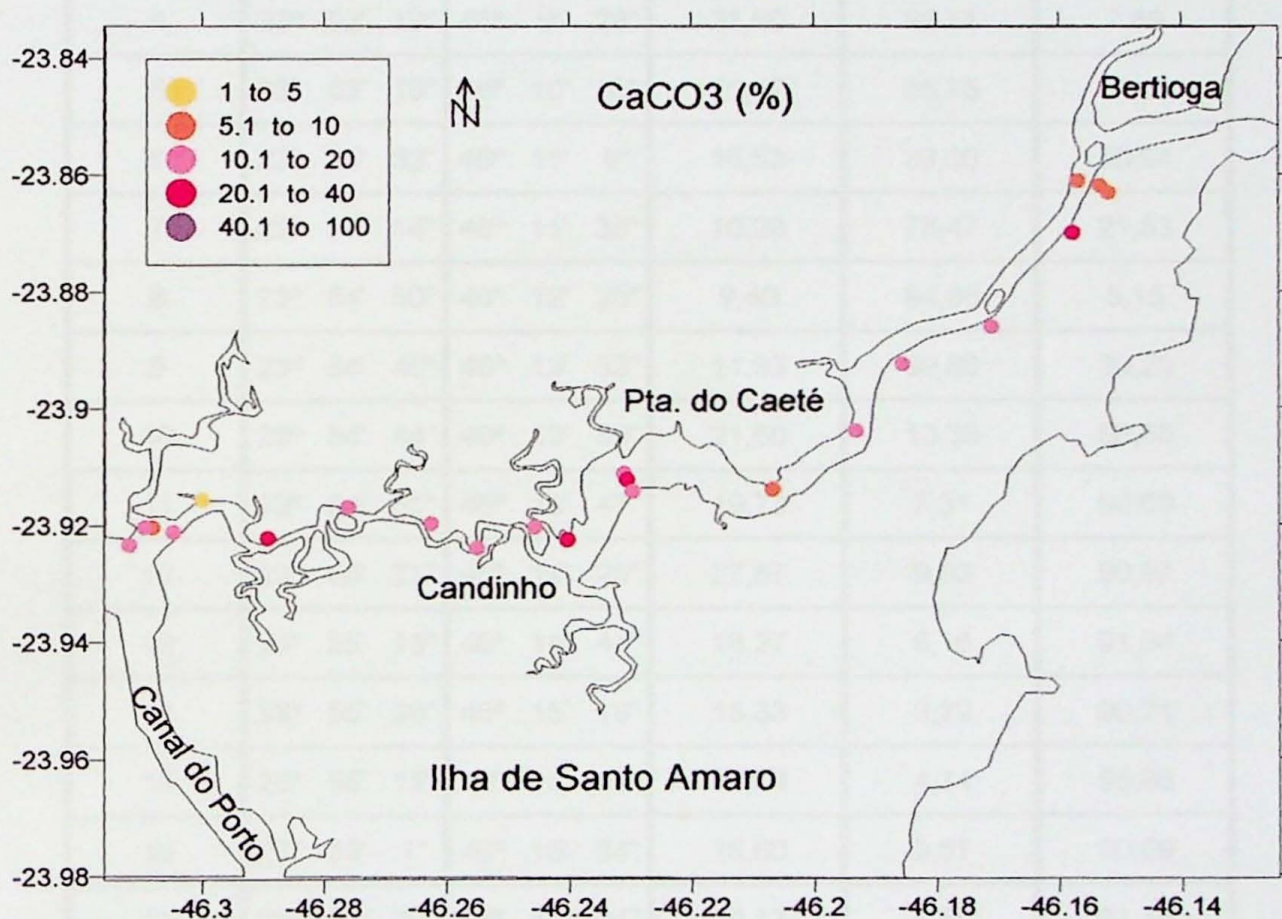


Figura 7.2.1.1. Teor de carbonato biodetrítico (%) nos sedimentos de superfície.

O teor de  $\text{CaCO}_3$  varia, na área de estudo, de 4.75 % a 31.60%.

Os teores máximos foram encontrados no centro da área (largo do Candinho) e a NE do canal (próximo a Bertioga).

Os menores teores foram encontrados, principalmente, nas desembocaduras do canal, tanto na confluência com o Canal do Porto (SW) como na saída para o mar em Bertioga (NE) e no centro leste do canal (Ponta do Caeté).



TABELA 7.2.1.1. Localização e Granulometria dos Pontos Amostrados					
Pontos	Parâmetros		CaCO <sub>3</sub>	Areia	Lama
	Latitude S	Longitude W	%	%	%
1	23° 51' 40"	46° 9' 25"	5,67	85,09	14,91
2	23° 51' 43"	46° 9' 12"	7,33	93,96	6,04
3	23° 51' 47"	46° 9' 7"	6,93	92,48	7,52
4	23° 52' 12"	46° 9' 28"	31,60	92,11	7,89
5	23° 53' 10"	46° 10' 16"	10,47	65,75	34,25
6	23° 53' 33"	46° 11' 8"	16,53	39,06	60,94
7	23° 54' 14"	46° 11' 36"	10,20	78,47	21,53
8	23° 54' 50"	46° 12' 25"	9,40	94,85	5,15
9	23° 54' 40"	46° 13' 52"	11,93	69,80	30,20
10	23° 54' 44"	46° 13' 50"	21,60	13,35	86,65
11	23° 54' 51"	46° 13' 47"	19,73	7,31	92,69
12	23° 55' 21"	46° 14' 25"	27,67	9,03	90,97
13	23° 55' 13"	46° 14' 44"	18,27	8,16	91,84
14	23° 55' 26"	46° 15' 18"	15,33	9,29	90,71
15	23° 55' 11"	46° 15' 45"	11,53	4,14	95,86
16	23° 55' 1"	46° 16' 34"	16,60	9,91	90,09
17	23° 55' 20"	46° 17' 21"	20,13	8,85	91,15
18	23° 54' 56"	46° 17' 60"	4,73	89,15	10,85
19	23° 55' 16"	46° 18' 17"	19,07	38,47	61,53
20	23° 55' 13"	46° 18' 29"	9,87	71,45	28,55
21	23° 55' 13"	46° 18' 34"	10,20	39,64	60,36
22	23° 55' 24"	46° 18' 43"	10,53	74,52	25,48
Máximo			31,60	94,85	95,86
Mínimo			4,73	4,14	5,15



A Figura 7.2.1.2. ilustra a distribuição de Areia no Canal da Bertioga.

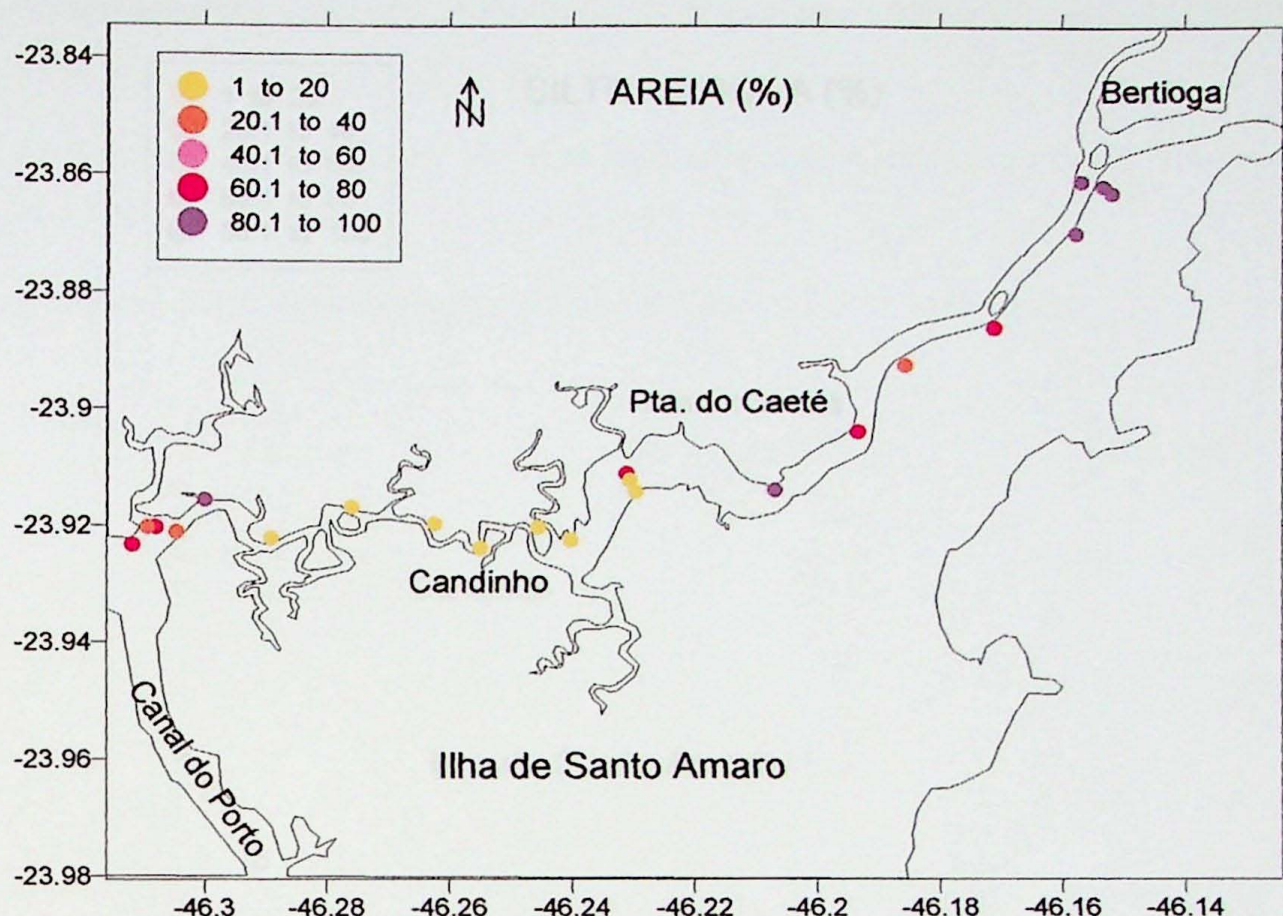


Figura 7.2.1.2. Teor de areia (%) nos sedimentos de superfície.

O teor de areia varia, na área de estudo, de 4.14 % a 94.85%.

Os teores máximos foram encontrados nas desembocaduras do canal, tanto na confluência com o Canal do Porto (SW) como, principalmente, na saída para o mar em Bertioga (NE) e no centro leste do canal (Ponta do Caeté).

Os menores teores foram encontrados do centro do canal (Largo do Candinho) até as proximidades do Canal do Porto (SW do canal).



A Figura 7.2.1.3. ilustra a distribuição de finos (argila + silte) no Canal da Bertioga.

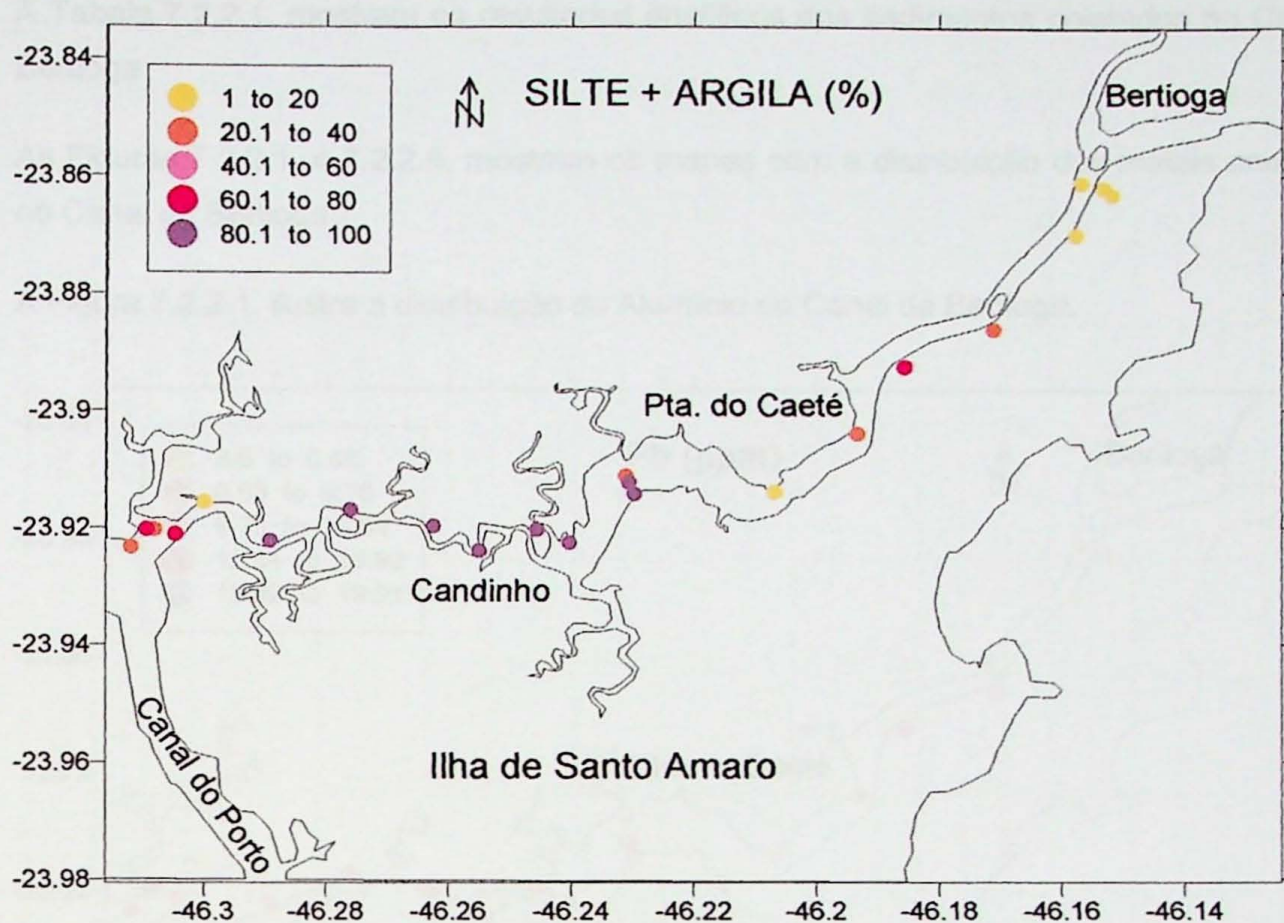


Figura 7.2.1.2. Teor de finos (argila + silte) (%) nos sedimentos de superfície.

O teor de finos varia, na área de estudo, de 5.15 % a 95.86%.

Os teores máximos foram encontrados do centro do canal (Largo do Candinho) até as proximidades do Canal do Porto (SW do canal).

Os menores teores foram encontrados nas proximidades de Bertioga na saída do canal para o mar (NE) e no centro leste do canal (Ponta do Caeté).



### 7.2.2. Distribuição dos Metais no Canal da Bertioga.

A Tabela 7.2.2.1. mostram os resultados analíticos dos sedimentos coletados no Canal da Bertioga

As Figuras 7.2.2.1. a 7.2.2.6. mostram os mapas com a distribuição dos metais analisados no Canal da Bertioga.

A Figura 7.2.2.1. ilustra a distribuição do Alumínio no Canal da Bertioga.

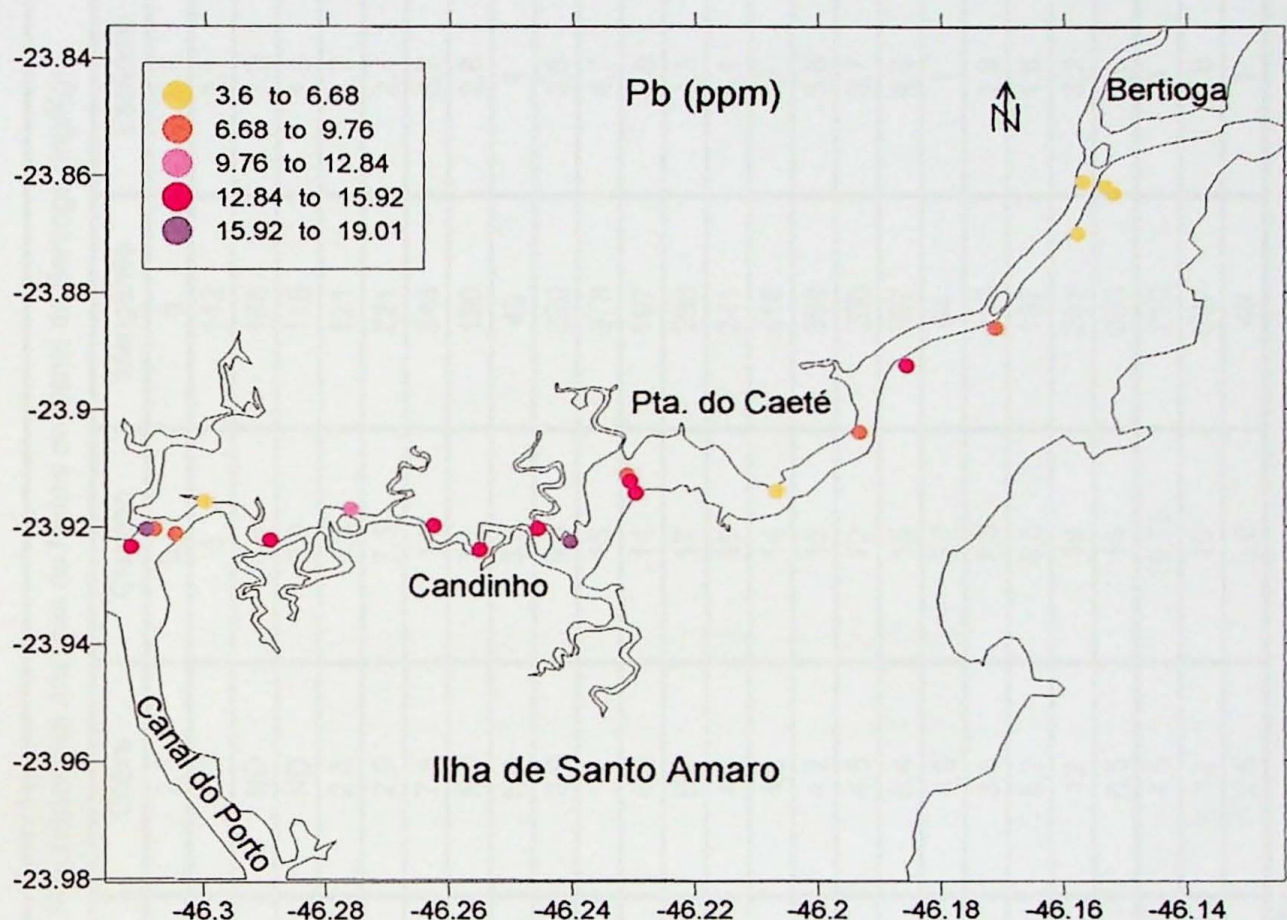


Figura 7.2.2.1. Teor de Alumínio (ppm) no sedimento de superfície.

O teor de Al varia, na área de estudo, de 25 ppm a 30676 ppm com uma mediana 14765 ppm.

Os teores máximos foram encontrados do centro (Largo do Candinho) ao centro oeste da área.

Os menores teores foram encontrados nas proximidades do Canal do Porto (SW) e no centro leste do canal (Ponta do Caeté).



TABELA 7.2.2.1. Resultados das Análises de Metais no Canal da Bertioga (mg/Kg)							
Parâmetro	Alumínio	Cobre	Chumbo	Manganês	Escândio	Zinco	
Limite de Detecção	5	2,5	0,5	5	0,5	10	
Pontos Amostrados	1	12772	ND	5	113	2,1	23
	2	10459	ND	6,4	166	1,9	21
	3	9926	ND	5,8	115	1,8	20
	4	10748	2,5	5,5	121	1,7	20
	5	14257	2,9	7,1	221	2,4	30
	6	17600	7,8	14	346	3,7	47
	7	15274	ND	7,1	180	2,8	32
	8	25	ND	3,6	49	1	14
	9	21350	3,9	9,4	220	3,5	44
	10	30556	7	15	378	4,7	56
	11	25728	5,4	14	197	3,9	47
	12	25587	8,2	17	286	4,3	57
	13	24729	4,2	15	241	5,1	47
	14	28500	4,5	14	418	5	44
	15	30676	4,2	15	399	5,8	47
	16	16558	4,5	12	200	3,7	38
	17	18950	5,4	15	597	4,6	41
	18	4951	4,3	5,7	64	1	21
	19	11610	3,6	7,3	119	1,9	24
	20	7723	5,2	9,5	137	1,6	36
	21	13781	12	19	257	3,2	60
	22	11073	6,5	14	263	2,6	80
Mediana	14766	4,5	10,75	210	3	39,5	
Máximo	30676	12	19	597	5,8	80	
Mínimo	25	2,5	3,6	49	1	14	

ND - valor não detectado pelo método analítico



A Figura 7.2.2.2. ilustra a distribuição do Cobre no Canal da Bertioga.

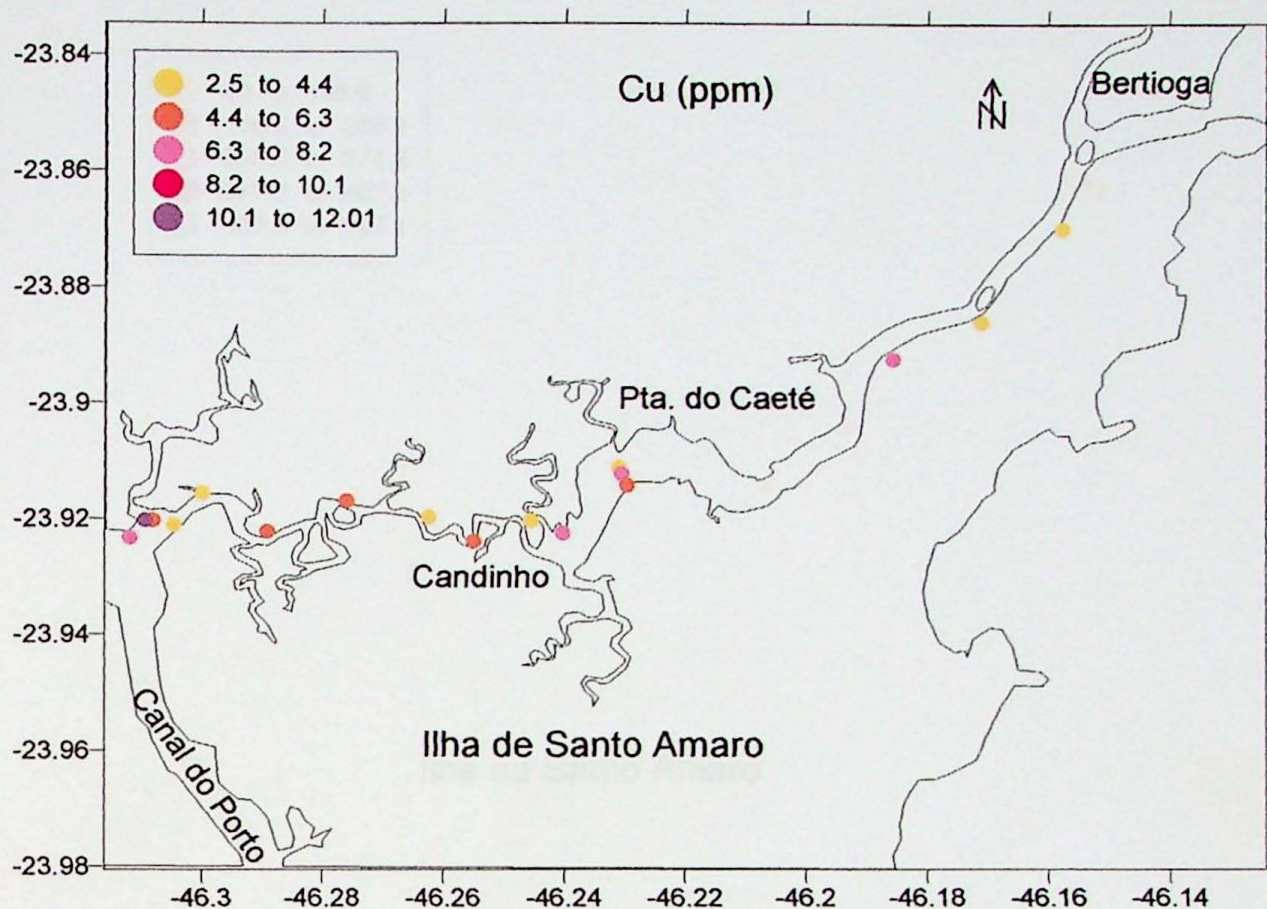


Figura 7.2.2.2. Teor de Cobre (ppm) no sedimento de superfície.

O teor de Cu varia, na área de estudo, de 2.5 ppm a 12 ppm com uma mediana 4.5 ppm.

Os teores máximos foram encontrados na desembocadura do Canal da Bertioga com o Canal do Porto.

Os menores teores foram encontrados pontualmente ao longo de todo o canal, mas concentrasse nas proximidades de Bertioga (NE).



A Figura 7.2.2.3. ilustra a distribuição do Manganês no Canal da Bertioga.

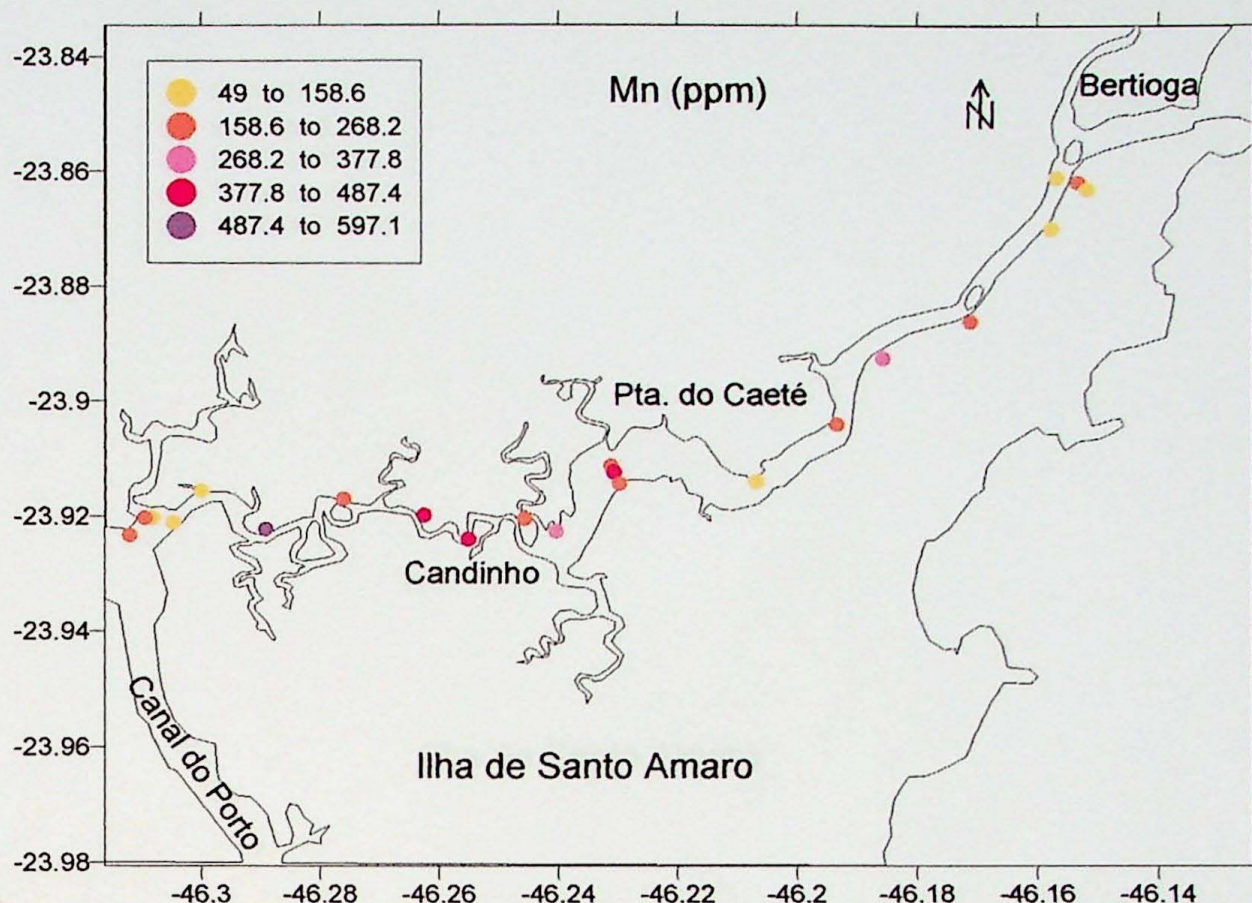


Figura 7.2.2.3. Teor de Manganês (ppm) no sedimento de superfície.

O teor de Mn varia, na área de estudo, de 49 ppm a 597 ppm com uma mediana 210 ppm.

O teor máximo foi encontrado nas proximidades da desembocadura do Canal da Bertioga com o Canal do Porto (SW), valores relativamente altos também são encontrados na porção que vai do centro do canal (Largo do Candinho) até este ponto de máximo SW da área.

Os menores teores foram encontrados no centro leste da área (Ponta do Caeté) e nas desembocaduras do canal, tanto na confluência com o Canal do Porto (SW) como na saída para o mar em Bertioga (NE).



A Figura 7.2.2.4. ilustra a distribuição do Chumbo no Canal da Bertioga.

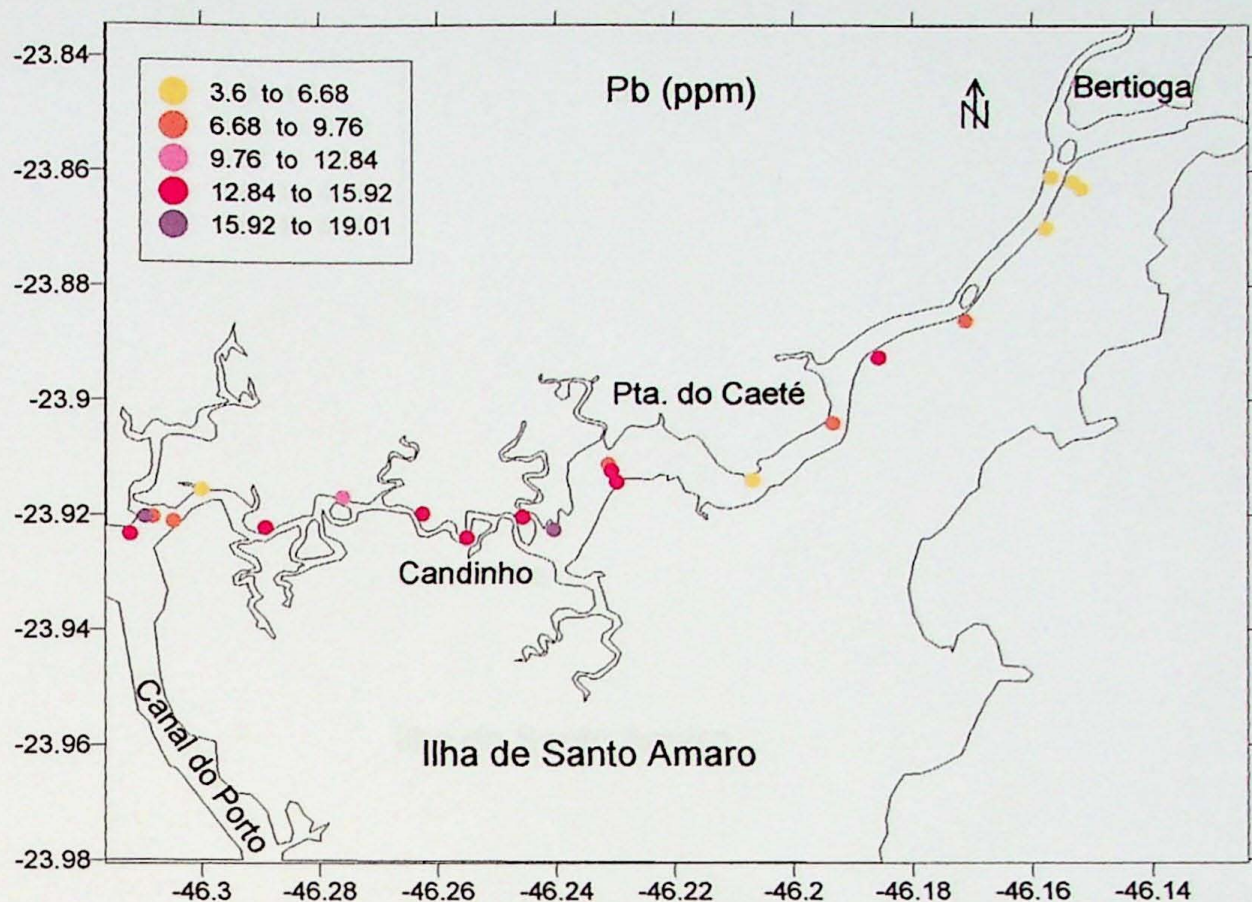


Figura 7.2.2.4. Teor de Chumbo (ppm) no sedimento de superfície.

O teor de Pb varia, na área de estudo, de 3.6 ppm a 19 ppm com uma mediana 10.75 ppm.

Os teores máximos foram encontrados na desembocadura do Canal da Bertioga com o Canal do Porto (SW) e no centro da área (Largo do Candinho).

Os menores teores foram encontrados no centro leste da área (Ponta do Caeté) e na saída do canal para o mar em Bertioga (NE).



A Figura 7.2.2.5. ilustra a distribuição do Escândio no Canal da Bertioga.

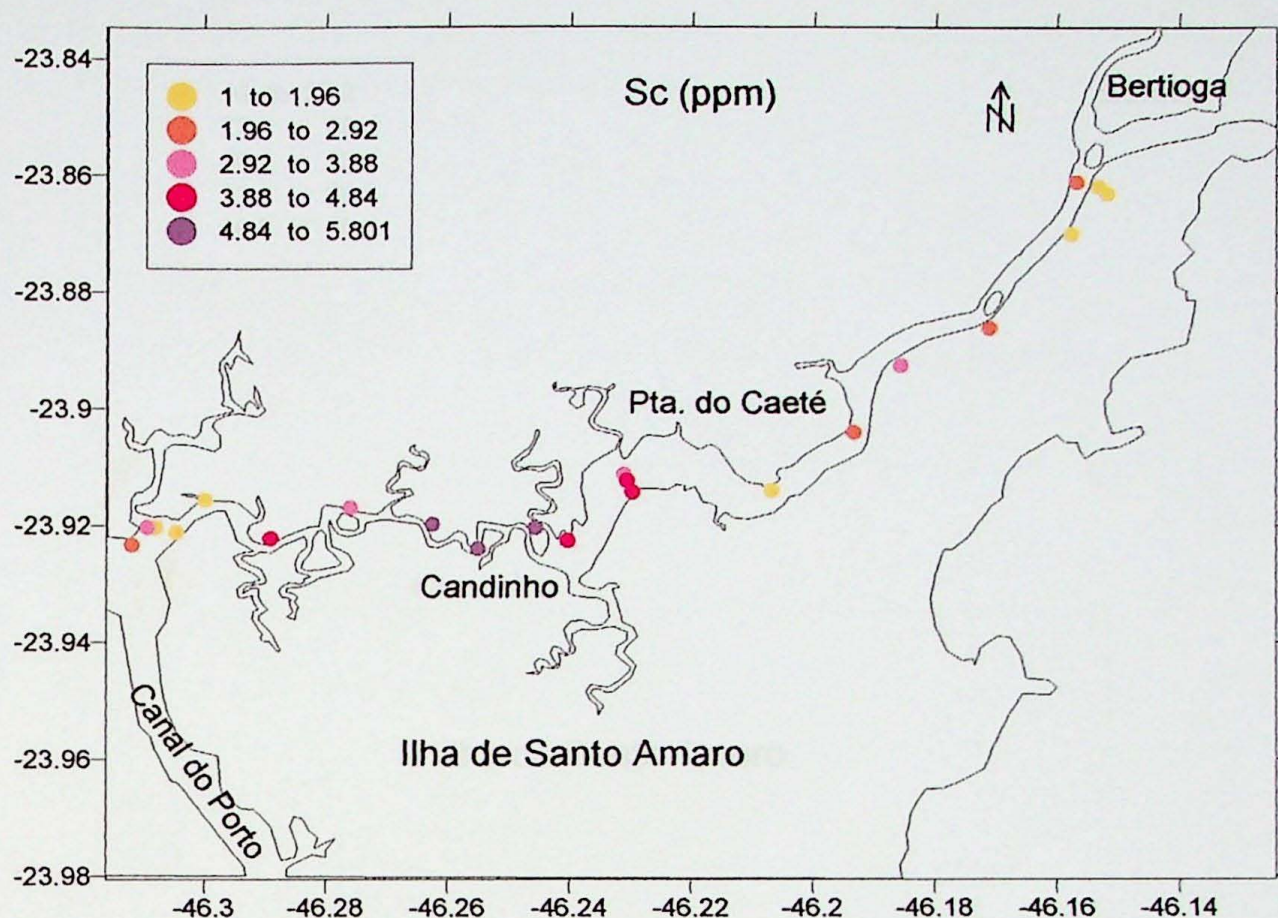


Figura 7.2.2.5. Teor de Escândio (ppm) no sedimento de superfície.

O teor de Sc varia, na área de estudo, de 1 ppm a 5.8 ppm com uma mediana 3 ppm.

Os teores máximos foram encontrados no trecho que vai centro da área (Largo do Candinho) até o centro oeste.

Os menores teores foram encontrados no centro leste da área (Ponta do Caeté), na saída do canal para o mar em Bertioga (NE) e na confluência com o Canal do Porto.



A Figura 7.2.2.6. ilustra a distribuição do Zinco no Canal da Bertioga.

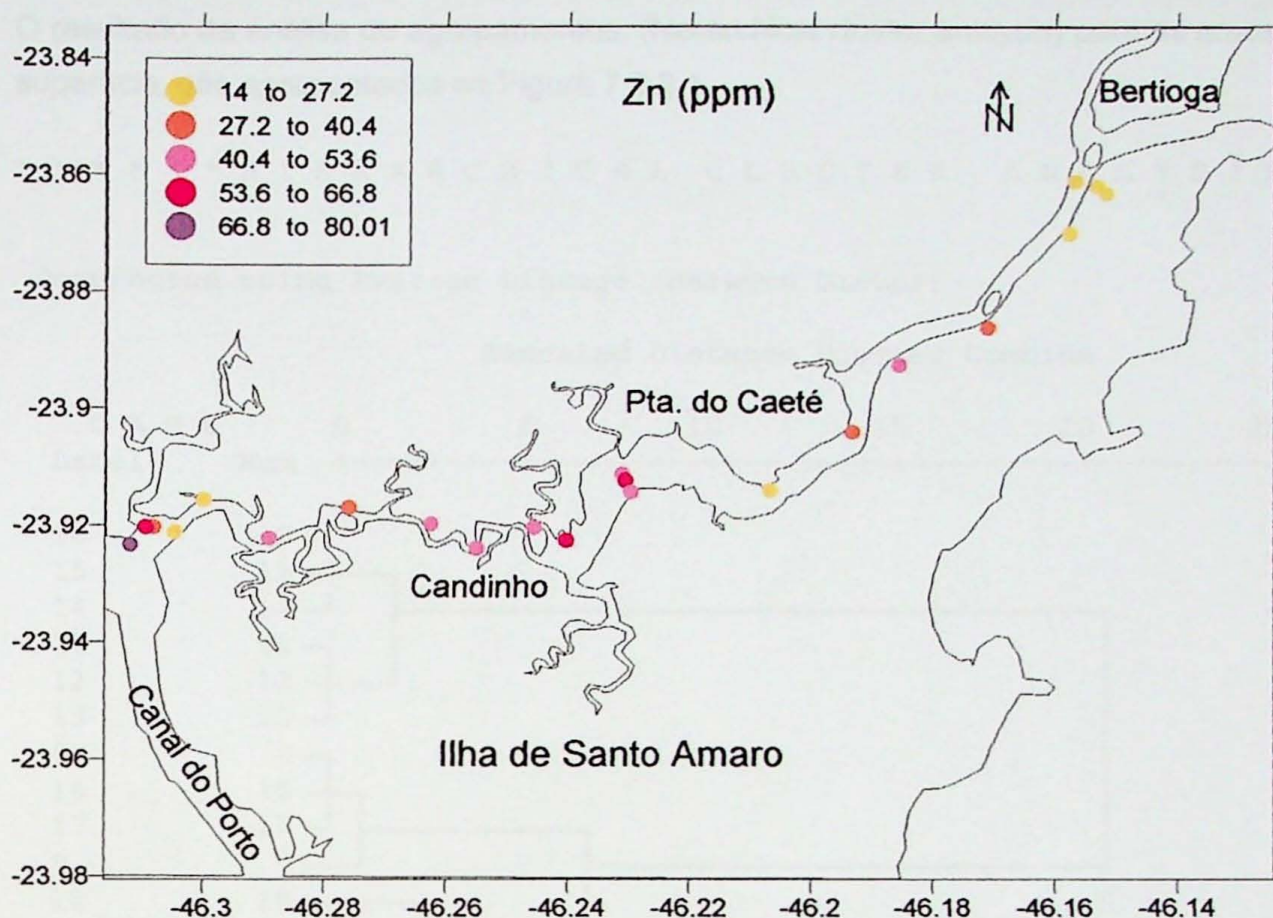


Figura 7.2.2.6. Teor de Zinco (ppm) no sedimento de superfície.

O teor de Zn varia, na área de estudo, de 14 ppm a 80 ppm com uma mediana 39.5 ppm.

Os teores máximos foi encontrados na confluência do Canal da Bertioga com o Canal do Porto (SW do canal), valores relativamente altos foram encontrados no trecho entre o centro do canal (Largo do Candinho) e o ponto de máximo (SW do canal)

Os menores teores foram encontrados no centro leste da área (Ponta do Caeté), na saída do canal para o mar em Bertioga (NE) e em dois pontos próximo a confluência com o Canal do Porto (SW).



7.2.3. Análise de Agrupamento

O resultado da análise de agrupamentos, (hierarchical cluster analysis) para as amostras de superfície, são apresentados na Figura 7.2.3.1

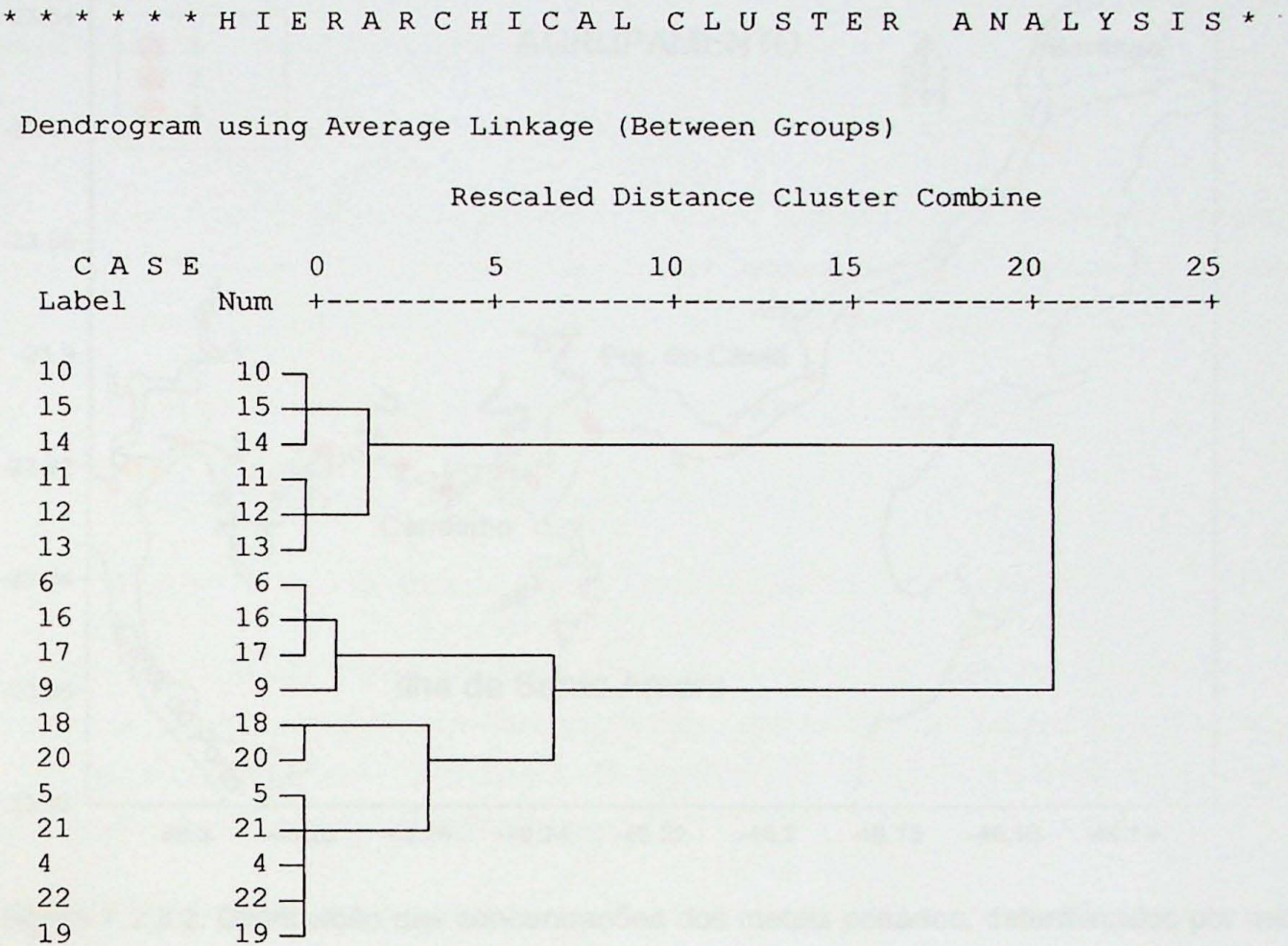


Figura 7.2.3.1. Dendrograma gerado a partir de análise classificatória por Distância Euclidiana das amostras de Superfície.



Admitindo-se como valor de corte uma Distância Euclideana igual a 8, podem ser individualizados três grupos de amostra, cuja distribuição encontra-se apresentada na Figura 7.2.3.2.

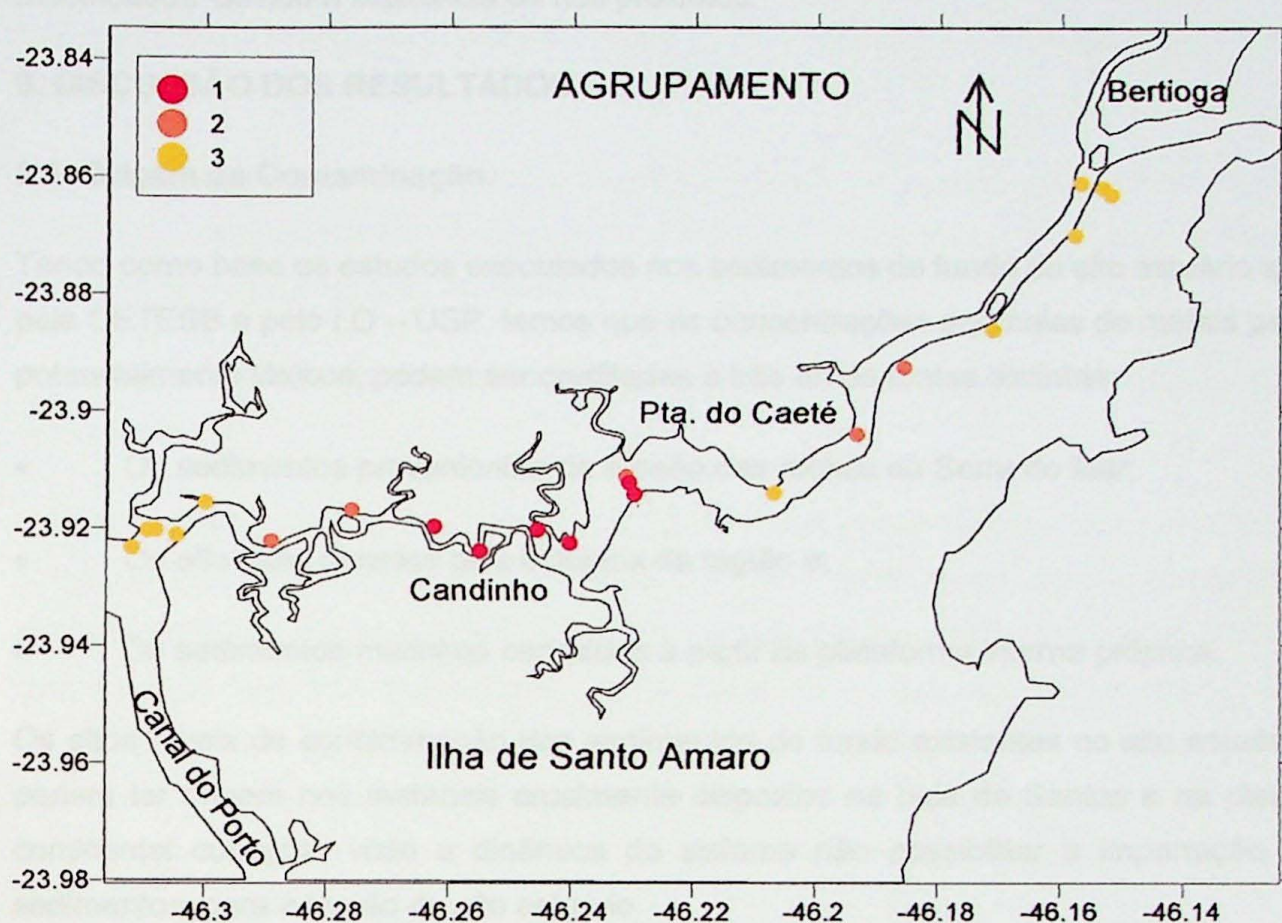


Figura 7.2.3.2. Distribuição das concentrações dos metais pesados, determinados por meio de análise de agrupamento, com Distância Euclideana igual a 8.

A área pode ser dividida em duas porções muito distintas, do ponto de vista das concentrações de metais e uma terceira intermediária a estas.

A primeira porção, domínio do grupo 1, corresponde o centro do canal, enquanto o grupo 2 corresponde as áreas cento oeste e centro leste e o grupo 3 corresponde a Ponta do Caeté, a desembocadura do canal no Canal do Porto e a saída para o mar em Bertioga (os dois extremos).

O grupo 1 apresenta os mais altos teores dos metais analisados, silte e argila. Consistem nos sedimentos de menor diâmetros médios e, conseqüentemente. Pode-se afirmar que o grupo 3 é encontrado em ambientes de menor energia, o que permite a sedimentação de finos e, associados a estes estão os metais.

O grupo 2 apresenta valores intermediários em praticamente todos os parâmetros, em relação aos demais grupos.



O grupo 3, por sua vez, apresenta os mais baixos teores de metais, em consequência, apresenta o sedimento de maior granulometria. Outro fato a ser considerado, é que tanto na desembocadura SW como na NE, o aporte sedimentar e a energia do sistema são modificados devido à existência de rios próximos.

## **8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **8.1. Origem da Contaminação.**

Tendo como base os estudos executados nos sedimentos de fundo do alto estuário santista, pela CETESB e pelo I.O – USP, temos que as concentrações anômalas de metais pesados, potencialmente tóxicos, podem ser creditadas a três áreas fontes distintas:

- Os sedimentos provenientes da erosão das rochas da Serra do Mar;
- Os efluentes gerados pela indústria da região e;
- Os sedimentos marinhos carregados a partir da plataforma interna próxima.

Os altos níveis de contaminação dos sedimentos de fundo existentes no alto estuário, não podem ter origem nos materiais atualmente dispostos na baía de Santos e na plataforma continental contígua, visto a dinâmica do sistema não possibilitar a importação destes sedimentos, para a região do alto estuário.

O fluxo residual no sistema estuarino santista contempla uma resultante para fora do estuário, e não fluxos que possibilitassem o transporte no sentido oposto.

As águas dos rios provenientes da Serra do Mar adentram o estuário, em especial na região do canal do porto, originando um predomínio de fluxo unidirecional que se propagam em direção à baía.

As rochas do embasamento da Serra do Mar, apresentam baixos níveis dos metais analisados, não sendo conhecidos na literatura nenhuma anomalia metálica, a qual pudesse ser atribuída uma área fonte potencial para os níveis metálicos encontrados nos sedimentos do alto estuário. As rochas presentes na Serra do Mar contêm metálicos em sua estrutura, como elementos formadores das rochas, e não como elementos principais de alguma litologia.

Ainda assim, as concentrações dos elementos metálicos nos sedimentos provenientes do complexo serrano, são menores que as existentes nas rochas, visto que como produtos de lixiviação, de onde são liberadas para o meio, o são em proporções irregulares.



Desta forma, os despejos de resíduos industriais, na região, se configuram como a mais provável fonte de contaminação dos sedimentos do alto estuário por metais pesados.

Indústrias petroquímicas, metalúrgicas, entre outras, utilizam diversos compostos metálicos em suas linhas de produção, podendo lançar parte deles nos cursos d'água que adentram o sistema.

Os metais se associam as argilas e matéria orgânica, se depositando em zonas de baixa energia do alto estuário, ou sendo exportados a partir destas áreas para além dos limites do Canal da Bertioga e da baía de Santos.

Os trabalhos prévios realizados na região mostram altos níveis dos elementos metálicos analisados:

O trabalho realizado pela CETESB em março de 1998, que amostrou todo o Alto Estuário, o Canal de São Vicente e as proximidades do Canal da Bertioga, obteve como resultado concentrações de mercúrio acima dos limites de referência em todos os pontos amostrados, com exceção do ponto localizado no rio Piçabuçu, sendo que em seis pontos (rio Mourão, rio da Onça Sul, rio Cubatão, Rio Cascalho, rio Casqueiro e rio Capivari grande) as concentrações de mercúrio ultrapassaram também os valores de alerta estabelecidos pela CETESB (2001). O chumbo apareceu em concentrações acima dos limites de referência em quase todos os pontos.

O outro trabalho da CETESB, de dezembro de 1998, que contemplou o Alto Estuário e o Canal do Porto, em todos os pontos, apresentaram concentrações acima dos valores adotados como referência para solos para pelo menos dois elementos, com exceção do ponto 07 que apresentou altas concentrações apenas para um elemento. Neste trabalho o metal que se mostrou com maiores concentrações foi o Níquel, além de ultrapassar os limites de referência estabelecidos pela CETESB (2001), ultrapassou em três pontos (02, 03 e 04) o valor de alerta.

Os trabalhos realizados pelo IO - USP, no alto estuário (Ilha Barnabé e no Largo Santa Rita), vem a corroborar os dados pré-existentes. O resultados indicam que em todos os pontos amostrados nas proximidades da Ilha Barnabé e em dois pontos no largo Santa Rita (002 e 006), os valores do elemento zinco ultrapassam os limites de referência estabelecido pela CETESB (2001). O chumbo é outro elemento que ultrapassa os limites de referência em todos os pontos, com exceção de dois pontos (001 e 002), na Ilha Barnabé e em um ponto (006) no Largo Santa Rita, valor este que supera também os limites de alerta da CETESB (2201).



## **8.2. Distribuição dos Sedimentos**

### **8.2.1. Baía de Santos**

O padrão de sedimentação obtido para a área com base nos metais pesados diverge do modelo existente, de Fúlfaro e Ponçano (1976), elaborado com base em características granulométricas e mineralógicas e vem confirmar o trabalho de Fukumoto (2003). O trabalho Fúlfaro e Ponçano (1976) exibe uma divisão da área em dois setores, com a sedimentação ditada, a oeste, principalmente pelas correntes de maré, resultando na remoção de sedimentos finos da coluna d'água e, portanto, pela não-deposição pelítica, e a leste, pelo fluxo unidirecional, proveniente do continente, permitindo a deposição das frações silte e argila.

Já a análise das concentrações dos metais pesados e permite a identificação, na área, de duas porções de sedimentação bastante distinta: o centro da Baía de Santos (em particular o centro-oeste), caracterizado por maior teor de finos e de minerais pesados a eles associados, e a área periférica (próximo à costa e sul da área), onde não é significativa a sedimentação de matéria orgânica.

Foram identificados três principais centros de sedimentação, com maior deposição de finos e de matéria orgânica sedimentar: (1) desembocadura do Canal do Porto; (2) oeste da Ponta da Manduba; e (3) Centro-oeste da Baía de Santos (oeste do emissário submarino).

Na desembocadura do Canal do Porto, a sedimentação está possivelmente relacionada à quebra da energia do fluxo, no encontro das águas do canal com as da baía, tal qual ocorre no médio estuário, conforme Yassuda (1991). Os sedimentos aí observados caracterizam-se por apresentar areia muito fina, pobremente selecionada, com altos teores de finos e concentrações elevadas de metais.

Os sedimentos observados nas proximidades da Ponta da Manduba caracterizam-se como areia muito fina, pobremente selecionada, com altos teores de silte, argila, concentrações elevadas para a maioria dos metais analisados. Fukumoto (2003) através das razões C/N e C/S caracterizam a sedimentação como de grande contribuição marinha, e o ambiente como pouco oxidante.

Na Ponta da Manduba, a sedimentação está relacionada diretamente a fatores hidrodinâmicos, podendo, porém, ter sofrido influência do descarte do sedimento de dragagem do Canal do Porto, em décadas anteriores.

A sedimentação no centro-oeste da Baía de Santos (oeste do emissário submarino) sofre a influência do Emissário Submarino de José Menino, construído na década de 70, para conduzir os resíduos de esgoto provenientes da Estação de Tratamento de Água da



SABESP. O fluxo do emissário submarino age como barreira hidráulica, alterando a circulação nessa porção da área, diminuindo o poder de transporte do meio, criando um ambiente propício a deposição dos sedimentos finos, o que justificaria os altos teores dos metais encontrados neste ponto.

Em relação às concentrações dos metais analisados, nos três pontos onde o predomínio é de deposição dos finos, as concentrações de seis dos metais analisados (chumbo, cromo, cobre, mercúrio, níquel e zinco) apresentam valores acima dos limites de referência da CETESB (2001).

Os valores encontrados na Baía de Santos, mesmo quando estes estão acima dos limites de referência, quando comparados com os valores encontrados no alto estuário são significativamente menores, as concentrações chegam a ser, por vezes, até 50% menores. Como na área não há fontes diretas destes elementos, a única explicação seria que a dinâmica sedimentar estaria agindo como propagadora e distribuidora dos metais, conseqüentemente da contaminação por eles gerada.

#### **8.2.2. Canal da Bertioga**

O padrão de sedimentação obtido para a área, com base nos metais pesados, vem confirmar o modelo existente de Fúlfaro e Ponçano (1976), elaborado com base em características granulométricas e mineralógicas. O trabalho de Fúlfaro e Ponçano (1976) trata o canal da Bertioga como um corredor de sedimentos transportados em suspensão. A dinâmica do canal apresenta um tombo de águas aproximadamente no largo do Candinho onde se depositam predominantemente sedimentos argilosos com alta porcentagem de matéria orgânica.

As análises dos metais pesados mostram um predomínio das concentrações localizada no largo do Candinho, e sua proximidade oeste (porção central e centro oeste do canal), identificando assim, um centro de sedimentação principal, com maior deposição de finos e de metais a estes associados.

No Largo do Candinho e proximidades, a sedimentação está possivelmente relacionada à quebra da energia do fluxo, no encontro das águas (tombo) provenientes do estuário santista e de Bertioga (Fúlfaro e Ponçano 1976).

Ao longo do canal, o que se observa é um aumento da granulométrica e, na maioria das vezes, uma diminuição nas concentrações dos metais. Este fato ocorre gradativamente para as desembocaduras do sistema ao se afastar do centro (Largo do Candinho).

Em relação às concentrações dos metais analisados, o que se observou foi, que no Largo do Candinho, os valores obtidos para Chumbo ultrapassam os limites de referência



estabelecidos pela CETESB (2001) e as concentrações de zinco, ao longo de toda faixa centro – centro oeste, chegam muito próximas a estes valores. Outro ponto que chamou a atenção foi à convergência do Canal da Bertioga com o Canal do Porto, onde os valores obtidos para chumbo e zinco também ultrapassaram os limites de referência.

Assim, como ocorrem na Baía de Santos, no Canal da Bertioga os valores encontrados, mesmo quando estes estão acima dos limites de referência, quando comparados com os valores encontrados no alto estuário, são significativamente menores, as concentrações chegam a ser, por vezes, até 50% menores. Como na área não há fontes diretas destes elementos a única explicação seria que a dinâmica sedimentar estaria agindo como propagadora e distribuidora dos metais, conseqüentemente da contaminação por eles gerada.

## **9. CONCLUSÕES**

Os resultados das análises dos teores de metais contidos e da distribuição granulométrica dos sedimentos de superfície de fundo da Baía de Santos, do Canal da Bertioga, e do alto estuário santista permitiram identificar quatro pontos de anomalias, um mecanismo hidrodinâmico predominante e uma provável fonte.

Estudos realizados no alto estuário indicam que as concentrações de metais pesados, nos sedimentos de fundo, ultrapassam os valores de alerta da CETESB. Como as rochas da Serra do Mar não apresentam concentrações de metais nesta escala de grandeza, esta não deve corresponder, predominantemente como a provável fonte de contaminação dos sedimentos de fundo do estuário.

A dinâmica do sistema contempla uma resultante para fora do estuário, em especial na região do canal do porto, originando um predomínio de fluxo unidirecional que se propagam em direção ao canal da Bertioga e a Baía de Santos, a partir do alto estuário.

Os materiais em suspensão transportados pelo fluxo das águas a partir das áreas com alto teor de metais contido nos sedimentos (alto estuário) se depositam principalmente em quatro pontos do sistema, três deles na Baía de Santos e um no Canal da Bertioga. Estes pontos representam zonas de baixa energia, onde predominam sedimentos finos (argilosos) ricos em matéria orgânica.

Na baía de Santos estes pontos correspondem à área junto à desembocadura do Canal do Porto, a oeste da Ponta da Manduba e no Centro-oeste da Baía de Santos (oeste do emissário submarino). O outro ponto, no canal da Bertioga, está localizado junto ao largo do Candinho e sua porção oeste.



Nestes locais, o estudo realizado mostra que as concentrações de metais, principalmente o chumbo, cromo, cobre, mercúrio, níquel e zinco, apresentam concentrações acima dos limites de referencia estabelecidos pela CETESB (2001) ou estão muito próximos deste. Apesar destes valores serem relativamente altos, quando comparados com os encontrados no alto estuário, representam uma redução de concentração de até 50%.

Os sedimentos em suspensão, ricos em metais e matéria orgânica são depositados, preferencialmente, nestas quatro áreas identificadas, pelo menos em parte, devem estar sendo exportados para fora do estuário santista.

A dinâmica estuarina acaba por ser a grande responsável pela redistribuição dos sedimentos finos com elevadas concentrações de metais e matéria orgânica originados e dispersos a partir do alto estuário.

Esta dispersão implica que o atual sistema da baixada santista, na sua porção mais a leste, corresponde a uma área com elevados teores de metais contidos nos sedimentos de superfície de fundo, não apenas junto à fonte de contaminação (alto estuário) mas também no segmento do canal da Bertioga correspondente à confluência com o Canal do Porto até o largo do Candinho e as áreas de deposição de finos na baía de Santos.



## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. 1969. Ritmo da epirogênese pós-cretácica e setores das superfícies neogênicas em São Paulo. Bolm. Inst. Geogr. (13), Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- ADRIANO, D.C., (1986). Trace elements in the terrestrial environment. New York, Springer Verlag, 532 p.
- ALMEIDA, F. F. 1964. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. Bolm. Inst. Geogr. Geol., 41: 169-263.
- ALMEIDA, F. F. M. & C. D. R. Carneiro. 1998. Origem e Evolução da Serra do Mar. Revta bras. Geoc., 28(2):135-150.
- BEAR, F. E., (1964). Chemistry of the soil. 2th Editon. Reinhold Publishing Corporation, N.Y.
- Bryce, S.; P. Larcombe & P. V. Ridd. 1998. The relative importance of landward-directed tidal sediment transport versus freshwater flood events in the Normanby River estuary, Cape York Peninsula, Australia. Mar. Geol., 149:55-78.
- CETESB 1994. NORMA L5.600, SÓLIDOS: Determinação de metais por espectrofotometria de absorção atômica - método da digestão ácida com água régia - Método de Ensaio. CETESB 1994.
- CETESB 1995. NORMA L6.160, Sedimentos: determinação da distribuição granulometria - Método de Ensaio. CETESB 1995.
- CETESB 1998. Avaliação do Grau de Contaminação do Sedimento ao Longo do Canal de Navegação do Porto de Santos – Projeto:47.2.03.C.00 – Atendimento ao Ministério Público Estadual – Dezembro/1998 – CETESB.
- CETESB 1998. Estudo dos Manguezais da Baixada Santista – Relatório Final – Março/1998 – CETESB.
- CETESB 2001. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. CETESB 2001.
- DAHER, V. 1999. Mercúrio como poluente global. Ciência Hoje 153, setembro de 1999.
- DAY, F. H., (1963). The chemical elements in nature. George G. Harrap and Co. Ltd. London.
- FOLK, R. L. & W. C. WARD. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. J. sedim. Petrology, 27 (1): 3-26.
- FÚLFARO, V. J. & W. L. PONÇANO. 1976. Sedimentação atual do estuário e baía de Santos: um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da



zona portuária. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1. Anais. Rio de Janeiro, ABGE. 2:67-90.

FUKUMOTO, M. M. 2003. Caracterização da sedimentação atual e reconstituição da história deposicional recente na Baía de Santos, a partir das características composicionais e isotópicas da matéria orgânica. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 99 p.

GEOTÉCNICA S.A. 1968. Estudos geológicos-geotécnicos para o anteprojeto da Rodovia dos Imigrantes-variante Sorocabana. São Paulo, Relatório 260/68.

HASUI, Y & SADOWSKI, G.R. (1976). Evolução geológica do Precambriano na região sudeste do Estado de São Paulo, Ver. Brás. Geoc., 6:182-200.

HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. 1984. Província Mantiqueira – setor central. In: O Precambriano do Brasil, 1º ed., São Paulo. Ed. E. Blucher, p.308-344.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H., (1984). Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, CRC Press Inc., 315 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. 2 volumes. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Volume 1, 126p.

MANSON, B.; MOORE, C. B., 1982. Principles of Geochemistry. Fourth Edition, John Wiley and Sons, N.Y.

MALAVOLTA, E. 1994. Fertilizantes e seu impacto ambiental. São Paulo: PRODUQUIMICA. 153p.

MESTRINHO, S. S. P. 1998. Estudo do comportamento geoquímico dos metais pesados nos sedimentos da região estuarina do Rio Paraguaçu - BA. São Paulo, 158p. (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo).

PORTOBRÁS (Empresa de Portos do Brasil S.A.) 1977. Comportamento Hidráulico e Sedimentológico do Estuário Santista. (Relatório Final Sondotécnica).

RIBEIRO FILHO, E., (1972). Geologia e petrologia dos maciços de Itatiaia e Passa Quatro. Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letr. Universidade de São Paulo, N° 302, Geologia 22, 1-93.

RODRIGUES, R. 1992. Características geológicas e geotécnicas intervenientes na estabilidade de massas coluviais da Serra de Cubatão. Dissertação de mestrado, 116p. Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

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.



- SILLANPÄÄ, M. 1972. Trace elements in soil and agriculture. FAO Soils Bulletin, 17.
- SOUZA, H. B.; DERISIO, J. C. 1977. Guia técnico de coleta de amostras de água. São Paulo : CETESB, 1977. p. 195-199.
- SUGUIO, K. 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo, Edgard Blücher. 317 p.
- SUGUIO, K. & L. MARTIN. 1978. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul-fluminense. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary. Special Publication. São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - Sociedade Brasileira de Geologia, 1:1-5.
- USGS - United States Geological Survey, 1976. Lead in the environment. Professional Paper, N° 957, Washington, D.C.
- WILEY, J. 1982. Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition. Vol. 17. New York, NY.
- WILLIAMS, T. M.; OWEN, R. B., 1992. Geochemistry and origins of lacustrine ferromanganese nodules from the Malawi Rift, Central Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, 2703.
- YASSUDA, E. A. 1991. Modelo numérico do transporte de sedimentos no canal principal do estuário de Santos. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 121p.



