



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ESTUDO SEDIMENTOLÓGICO E GEOQUÍMICO EM SEDIMENTOS DE  
FUNDO NA BAÍA DE GUAJARÁ-BELÉM (PA).**

**Dissertação apresentado por:  
ANDRÉ LUIS DE LIMA SARAIVA**

---

**BELÉM  
2007**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

---

Saraiva, André Luis de Lima

S243e      Estudo sedimentológico e geoquímico em sedimentos de fundo na Baía de Guajará-Belém (Pa)./ André Luis de Lima Saraiva. – 2007

122 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

Orientador, Werner Truckenbrodt

1. Sedimentos. 2. Análises sedimentológicas. 3. Análises mineralógicas. 4. Metais Pesados. 5. Baía de Guajará (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. Truckenbrodt, Werner, Orient. III. Título.

CDD 20º ed.:551.304098115

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ESTUDO SEDIMENTOLÓGICO E GEOQUÍMICO EM  
SEDIMENTOS DE FUNDO NA BAIJA DE GUAJARÁ-  
BELÉM (PA).**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

**ANDRÉ LUIS DE LIMA SARAIVA**

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **28/08/2007**

**Comitê de Dissertação:**

WERNER TRUCKENBRODT (Orientador)

JOSÉ AUGUSTO MARTINS CORRÊA

JOSÉ FRANCISCO BERRÊDO REIS DA SILVA

Belém

Aos meus pais, Fernanda e João Agnelo e à minha esposa Maria Ecilene, exemplos de força, determinação e coragem. Com amor e gratidão, dedico.

## AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de algum modo contribuíram, para a realização deste trabalho.

A Deus Todo-Poderoso por tudo.

Ao Prof. Dr. Werner Truckenbrodt pela valiosa orientação e paciência.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Centro de Geociências e ao curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA, pela oportunidade da elaboração desta dissertação e por fornecerem infra-estrutura necessária ao desenvolvimento da parte experimental.

Ao Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa e Marcelo Cancela Lisboa Cohen, pelo apoio nos trabalhos de campo.

A minha amada esposa Ecilene, pelo seu amor, amizade, atenção e conversa descontraída, por sempre me apoiar, pela ajuda na minha dissertação, e por motivar os meus passos.

Aos funcionários do Centro de Geociências da UFPA (Lopes, Vânia e Souza), da secretaria de Pós-graduação e da biblioteca pela atenção recebida.

Ao graduando Anderson, do grupo de sedimentologia, pelo auxílio petrográfico dos minerais pesados.

Ao doutorando Lucindo pela ajuda digital na identificação dos testemunhos.

A minha amiga Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos pela ajuda na parte estatística.

Aos colegas da pós-graduação e amigos: Aline, Suziane, Luciana, Poliana, Alciney, Francileide, Silvana, Ismaily e Charles, pelos momentos agradáveis, palavras de conforto e pelas risadas.

Aos meus irmãos Danielle, Adrienne e João Paulo, pela ajuda prestada em um ou outro momento e apoio.

Como o fato de que nós já sabemos  
tudo o que é preciso saber para  
encararmos esse problema”

Al Gore

## RESUMO

No decorrer dos últimos anos, muitos estuários brasileiros, próximos a grandes cidades, vêm sofrendo diversas alterações ambientais causadas pelo crescimento acelerado e desordenado dessas cidades. Essas alterações, por vezes, se dão por metais pesados, que atingem os corpos d'água e são adsorvidos pelos sedimentos (fração fina). Neste contexto, esses sedimentos de fundo desempenham um papel importante, pois podem funcionar como indicadores do nível de poluição desses ambientes, tornando-se ainda mais relevantes quando são considerados os processos antropogênicos. Com o intuito de avaliar o grau de contaminação dos sedimentos da baía de Guajará, em especial as áreas de abrangência dos pontos de coleta localizados próximo da margem das ilhas das Onças, Jararaquinha, Mirim, Jutuba e próximo do canal Val de Cans, foram realizadas análises sedimentológicas, mineralógicas e químicas em sedimentos superficiais de fundo e testemunhos de aproximadamente 50 cm de profundidade.

As fácies sedimentares identificadas nos testemunhos foram lama arenosa com laminação plano-paralela rítmica, lama arenosa com laminação cruzada, lama arenosa com estratificação cruzada longitudinal e laminação ondulada. Essas estruturas, particularmente a laminação plano-paralela rítmica e estratificação cruzada longitudinal, indicam ação de maré e migração lateral de canal, respectivamente.

Os resultados granulométricos dos sedimentos superficiais de fundo mostraram a predominância de silte arenoso e areia siltica e apenas uma amostra foi classificada como areia.

O estudo mineralógico definiu a presença de quartzo, caulinita, illita, esmectita e minerais pesados os quais compreendem estauroлита, turmalina, rutilo, cianita, zircão, epidoto, anfibólio (hornblenda) e sillimanita, sendo os minerais mais abundantes turmalina, cianita, estauroлита, zircão e rutilo. À exceção do epidoto e hornblenda, que sugerem proveniência direta (primeiro ciclo) de rochas metamórficas/ígneas, os demais minerais parecem originários de Sedimentos Barreiras e/ou Pós-Barreiras por retrabalhamento.

As análises de matéria orgânica e química de sedimentos superficiais forneceram os seguintes teores médios: matéria orgânica  $1,87 \pm 0,84\%$ ; os metais pesados Pb  $33,3 \pm 4,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Cr  $59,7 \pm 8,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Co  $10,8 \pm 2,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Ni  $19,3 \pm 4,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Zn  $73,7 \pm 15,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Cu  $18 \pm 2,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Mn  $489,2 \pm 166,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  e Fe  $3,6 \pm 0,6\%$ . Os dados químicos obtidos de três testemunhos (IO-01, IO-06 e IMI) não diferem significativamente dos valores nos sedimentos superficiais de fundo, com exceção de Pb e Zn cujos teores médios são mais baixos nos testemunhos. Nos sedimentos superficiais e nos testemunhos foram obtida uma correlação significativa entre os metais e Al que responde pelos argilominerais.

Todas as concentrações obtidas dos metais analisados nos sedimentos de fundo da baía de Guajará estão abaixo de seus índices PEL que representam a concentração acima do quais efeitos adversos à biota podem ocorrer frequentemente. Nos sedimentos superficiais, a totalidade dos valores de Cr e alguns teores de Ni e Pb são maiores que os índices TEL que representam a concentração abaixo do quais efeitos adversos são raros. Já nos testemunhos apenas os valores de Cr e alguns de Ni ultrapassam o respectivo índice TEL. Pb, Cr e Ni nos sedimentos superficiais de fundo sugerem influência antropogênica, mas atualmente seus valores não apresentam um risco para o meio ambiente estuarino.

Palavras-chave: Sedimento. Análises sedimentológicas. Análises mineralógicas. Metais pesados. Baía de Guajará (PA)

## ABSTRACT

During the last years, many Brazilian estuaries located close to great cities have been suffered several environmental alterations caused by the accelerated and disordered growth of these cities. These alterations may occur from heavy metals that reach the water bodies being adsorbed by the sediments. In this context, the bottom sediments play an important role, because they can work as indicators of the level of pollution of these environments, becoming still more relevant when anthropic processes are considered. With the objective to evaluate the degree of contamination of the sediments from the Guajará bay, mainly in areas close to the margin of the Onças, Jaraquinha, Mirim and Jutuba islands and also close to the Val de Cans channel, sedimentological, mineralogical and chemical analyses were carried out from bottom surface sediments and cores of about 50 cm depth.

The identified sedimentary facies in the cores were sandy mud with thinly even-parallel rhythmic bedding, sandy mud with cross lamination, sandy mud with longitudinal cross bedding and wavy lamination. These structures, particularly the even-parallel rhythmic bedding and the longitudinal cross bedding, indicate tidal influence and lateral channel migration, respectively.

The grain size results of the analyzed bottom surface sediments showed the dominance of sandy silt and silty sand and only one sample has been classified as sand.

The mineralogical study defined the presence of quartz, kaolinite, illite, smectite and heavy minerals which include staurolite, tourmaline, rutile, kyanite, zircon, epidote, amphibole (hornblende) and sillimanite, being the most abundant minerals tourmaline, kyanite, staurolite, zircon and rutile. With the exception of epidote and hornblende which suggest direct provenance (first cycle) from metamorphic/igneous rocks, the other minerals seen to be derived from recycled Barreiras and/or Post-Barreiras sediments.

The analyses of organic matter and the chemical analyses of the bottom sediments provided the following average concentrations: Organic matter  $1,87 \pm 0,84\%$ ; heavy metals Pb  $33,3 \pm 4,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Cr  $59,7 \pm 8,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Co  $10,8 \pm 2,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Ni  $19,3 \pm 4,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Zn  $73,7 \pm 15,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Cu  $18 \pm 2,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Mn  $489,2 \pm 166,5 \text{ mg.kg}^{-1}$

and Fe  $3,6 \pm 0,6\%$  The chemical results obtained from three cores are not very different from those of the bottom surface sediments, with the exception of Pb and Zn whose mean values are lower in the cores. How one could expect, a significant correlation has been obtained between the metals and Al which stands for the clay minerals.

All the concentrations of the analyzed metallic elements in the bottom sediments of the Guajará are lower than their PEL index which represent the concentration above which adverse effects on biota are expected to occur frequently. In the surface sediments all Cr and some of the Ni and Pb values are higher than the TEL index, which represent the concentration below which adverse effects are expected to occur only rarely, whilst in the cores only the Cr and some Ni values surpass the TEL index. Pb, Cr and Ni of the bottom surface sediments suggest anthropogenic influence, but at present their values do not represent any risk for the estuarine environment.

Keywords: Sediments. Sedimentological analyses. Mineralogical analyses. Metallic elements. Guajará bay (PA).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Correlação entre o desenvolvimento de organismos vivos e a concentração do metal. A) Comportamento do metal essencial. B) Comportamento do metal não-essencial. _____	26
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo. _____	30
Figura 3 – Dinâmica das correntes de marés de sizígia, em superfície na baía de Guajará, para momento de implantação de enchente (aprox. 1h. a 1:30hs. após a estofa da baixa-mar). _____	35
Figura 4 – Dinâmica das correntes de marés de sizígia, em superfície na baía de Guajará, para momento de implantação de vazante (aprox. 2hrs. após a estofa da preamar). _____	35
Figura 5 – Mapa de localização dos pontos de amostragens. _____	39
Figura 6 – Draga de Petersen. _____	40
Figura 7 – Trado de ferro com amostra de testemunho coletado. _____	40
Figura 8 – Acondicionada em papel filme e tubos de PVC. _____	41
Figura 9 – Aquisição de fotos de testemunhos. _____	41
Figura 10 - Cilindros de Atterberg a) contendo fração < 62µm em suspensão; b) sem fração <2µm após decantações repetitivas. _____	42
Figura 11 – Difratorômetro de raios-X do tipo PW3710. _____	43
Figura 12 – Identificação e contagem dos grãos de minerais pesados sob o microscópico petrográfico. _____	44
Figura 13 – Mapa de localização dos pontos de amostragens dos testemunhos. _____	46
Figura 14 – Aspectos da fácies LAp (destacado pelo círculo) no testemunho IO-01, observa-se a laminação não muito ressaltada pela variação de coloração; radiografias de raios-X. _____	48
Figura 15 – Aspectos da fácies LAp (destacado pelo círculo) no testemunho IO-03, observa-se a laminação ressaltada pela variação de coloração, presença de resto vegetais (↓) destacado pela radiografia de raios-X. _____	49

Figura 16 – Aspectos da fácies LAp (ao longo do perfil) no testemunho IO-05, observa-se a alternância de lâminas escuras (argila) e claras (arenosas) mostrando influencia de maré (ritmito de maré), resto vegetais (↓); radiografia de raios-X. _____	50
Figura 17 – Aspectos da fácies LAp (ao longo do perfil) no testemunho IO-06, observa-se a alternância de lâminas escuras (argila) e claras (arenosas) mostrando influencia de maré (ritmito de maré), resto vegetais (↓); radiografia de raios-X. _____	51
Figura 18 – Aspectos da fácies LAp (destacado pelo circulo) no testemunho IMI, observa-se a laminação ressaltada pela variação de coloração, presença de resto vegetais (↓) destacado pela radiografia de raios-X. _____	52
Figura 19 – Laminação cruzada (destacado pelo circulo) na fácies LAx no testemunho IO-03, presença de resto vegetais (↓) destacado pela radiografia de raios-X. _____	54
Figura 20 – Estratificação cruzada longitudinal da fácies LAL (↓) no testemunho IJU, observa-se ainda feições de bioturbação; radiografia de raios-X. _____	56
Figura 21 – Fácies LAo no testemunho IMI, observa-se a laminação ondulada ressaltada pela variação da coloração das lâminas destacado pelos raios-X. _____	58
Figura 22 – Distribuição da percentagem granulométrica dos sedimentos superficiais de fundo do estuário Guajará. _____	59
Figura 23 – Composição granulométricas das amostras de sedimentos de fundo do estuário de Guajará, no diagrama argila, silte e areia. _____	60
Figura 24 – Difratograma de raios-X representativo das amostras estudadas (amostra CVC) _____	63
Figura 25 – Assembléia de minerais pesados de sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará. _____	65
Figura 26 – Percentagem de minerais pesados de sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará (fração 62-125µm). _____	66
Figura 27 – Distribuição espacial da percentagem de matéria orgânica (MO) na baía de Guajará, nos sedimentos de fundo. _____	67
Figura 28 – Percentagem de matéria orgânica. _____	68
Figura 29 – Distribuição da concentração de Cu total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará. _____	70

Figura 30 - Variação da concentração de Cu total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará. _____	71
Figura 31 – Distribuição das concentrações de Cu total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI. _____	71
Figura 32 - Variação das concentrações de Cu total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI do baía de Guajará. _____	72
Figura 33 – Distribuição da concentração de Pb total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará. _____	75
Figura 34 – Variação da concentração de Pb total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará. _____	76
Figura 35 – Distribuição das concentrações de Pb total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI. _____	76
Figura 36 – Variação das concentrações de Pb total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará. _____	77
Figura 37 – Distribuição da concentração de Zn total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará. _____	80
Figura 38 – Variação da concentração de Zn total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará. _____	81
Figura 39 – Distribuição das concentrações de Zn total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI. _____	81
Figura 40 – Variação das concentrações de Zn total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará. _____	82
Figura 41 – Distribuição da concentração de Ni total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará. _____	84
Figura 42 – Variação da concentração de Ni total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará. _____	85
Figura 43 – Distribuição das concentrações de Ni total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI. _____	85
Figura 44 – Variação das concentrações do Ni total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará. _____	86
Figura 45 – Distribuição da concentração de Co total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará. _____	88

Figura 46 – Variação da concentração de Co total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará. _____	89
Figura 47 – Distribuição das concentrações de Co total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI. _____	89
Figura 48 – Variação das concentrações de Co total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará. _____	90
Figura 49 – Distribuição da concentração de Fe total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará. _____	93
Figura 50 – Variação da concentração de Fe total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará. _____	94
Figura 51 – Distribuição das concentrações de Fe total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI. _____	94
Figura 52 - Variação das concentrações de Fe total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará. _____	95
Figura 53 – Distribuição da concentração de Mn total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará. _____	96
Figura 54 – Variação da concentração de Mn total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará. _____	97
Figura 55 – Distribuição das concentrações de Mn total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI. _____	97
Figura 56 - Variação das concentrações de Mn total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará. _____	98
Figura 57 – Distribuição da concentração de Cr total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará. _____	100
Figura 58 – Variação da concentração de Cr total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará. _____	101
Figura 59 – Distribuição das concentrações I de Cr total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI. _____	101
Figura 60 - Variação das concentrações do Cr total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará. _____	102

Figura 61 – A análise de agrupamento de Cluster dos metais em estudo, MO e os metais (Al, Mg e K), verificado nos sedimentos superficiais de fundo. _____	104
Figura 62 – A análise de agrupamento de Cluster dos metais em estudo e os metais (Al, Mg e K), verificado no testemunho IO-01. _____	105
Figura 63 – A análise de agrupamento de Cluster dos metais em estudo e os metais (Al, Mg e K), verificado no testemunho IO-06. _____	106
Figura 64 – A análise de agrupamento de Cluster dos metais em estudo e os metais (Al, Mg e K), verificado no testemunho IMI. _____	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos elementos de acordo com a toxicidade e ocorrência.	25
Tabela 2 – Percentagem de areia, silte e argila, nos sedimentos superficiais de fundo. _____	60
Tabela 3 – Capacidade de troca catiônica (CTC) de aluminossilicatos determinada pelo método direto de saturação com cátion amônio. _____	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAC	Agência Ambiental do Canadá
APD	Automatic Powder Diffraction
ATSDR	Agency For Toxic Substances And Disease Registry
AVS	Sulfetos Volatilizáveis por Acidificação
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CO	Carbono Orgânico
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CVC	Canal do Val de Cans
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
EPA	Environmental Protection Agency
FATMA	Fundação de Amparo à Tecnologia do Meio Ambiente
GPS	Sistema de Posicionamento Global
ICCD	International Center for Diffraction Data
ICP-MS	Inductively coupled plasma mass spectrometry
IJA	Ilha Jararaquinha
IJU	Ilha Jutuba
IMI	Ilha Mirim
IO-01	Ilha das Onças ponto 1
IO-03	Ilha das Onças ponto 3
IO-04	Ilha das Onças ponto 4
IO-05	Ilha das Onças ponto 5
IO-06	Ilha das Onças ponto 6
LAo	Lama Arenosa com Laminação Ondulada
LAL	Lama Arenosa com Estratificação Cruzada Longitudinal (Barra em Pontal)
LAp	Lama Arenosa com Laminação Plano-Paralela
LAX	Lama Arenosa com Laminação Cruzada
MO	Matéria Orgânica
OMS	Organização Mundial de Saúde
SEM	Metais Extraídos Simultaneamente

PEL	Probable Effect Level (Nível de Efeito Limiar)
PDF	Powder Diffraction File
TEL	Threshold Effect Level (Nível de Efeitos Prováveis)
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WHO	World Health Organization

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	22
1.1	METAIS EM SEDIMENTOS	23
1.2	ESSENCIALIDADE E TOXIDADE DOS METAIS	24
1.3	VALORES GUIAS DE QUALIDADE DOS SEDIMENTOS	26
2	<b>OBJETIVOS</b>	29
2.1	GERAL	29
2.2	ESPECÍFICOS	29
3	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	30
3.1	LOCALIZAÇÃO	30
3.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	31
3.3	GEOLOGIA REGIONAL	31
3.4	CLIMA	32
3.5	VEGETAÇÃO	33
3.6	DINÂMICA ESTUARIANA	33
3.7	ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS	36
3.8	POLUIÇÃO EM AMBIENTE ESTUARINO	36
4	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	38
4.1	AMOSTRAGEM	38
4.2	PROCESSAMENTO DE TESTEMUNHOS	41
4.2.1	<b>Fotografias e radiografias de raios-X</b>	41
4.2.2	<b>Descrição macroscópica</b>	42
4.3	DETERMINAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SEDIMENTO	42

4.4	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA_____	43
4.4.1	<b>Argilominerais</b> _____	43
4.4.2	<b>Minerais Pesados</b> _____	43
4.5	MATÉRIA ORGÂNICA (MO)_____	44
4.6	METAIS_____	45
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> _____	46
5.1	ANÁLISE FACIOLÓGICA DOS TESTEMUNHOS_____	46
5.1.1	<b>Lama Arenosa com Laminação Plano-Paralela (LAp)</b> _____	47
5.1.2	<b>Lama Arenosa com Laminação Cruzada (LAX)</b> _____	53
5.1.3	<b>Lama Arenosa com Estratificação Cruzada Longitudinal (Barra em Pontal) (LAL)</b> _____	55
5.1.4	<b>Lama arenosa com Laminação Ondulada (LAo)</b> _____	57
5.2	GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS_____	59
5.3	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA_____	61
5.3.1	<b>Minerais argilosos</b> _____	61
5.3.2	<b>Minerais pesados</b> _____	64
5.4	MATÉRIA ORGÂNICA_____	66
5.5	METAIS PESADOS_____	68
5.5.1	<b>Cobre</b> _____	68
5.5.2	<b>Chumbo</b> _____	73
5.5.3	<b>Zinco</b> _____	78
5.5.4	<b>Níquel</b> _____	83
5.5.5	<b>Cobalto</b> _____	87
5.5.6	<b>Ferro e Manganês</b> _____	91

5.5.8	<b>Cromo</b>	99
5.6	<b>ANÁLISE DE CLUSTER</b>	103
6	<b>CONCLUSÕES</b>	108
	<b>REFERÊNCIAS</b>	110
	<b>ANEXOS</b>	119
	<b>ANEXO A – CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS E MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO</b>	120
	<b>ANEXO B – CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NOS TESTEMUNHOS</b>	121
	<b>ANEXO C – ÍNDICES PEL E TEL</b>	122

## 1 INTRODUÇÃO

Os estuários são importantes fontes de alimentos e sustento econômico de comunidades humanas litorâneas, provendo abrigo e manutenção à rica e diversificada fauna associada, constituída principalmente de peixes, moluscos e crustáceos (ALMEIDA, 1995). Esses ecossistemas, por serem bastante frágeis a perturbações antrópicas, não suportam alterações impactantes como o desmatamento, a poluição e a super exploração de seus recursos naturais.

No Brasil, os estuários têm sido consideravelmente alterados no decorrer dos anos em função do desenvolvimento industrial, do crescimento desordenado das cidades e da superpopulação, além de outras atividades antrópicas que se instalam de forma não planejada nesses ambientes.

Dentre essas diversas alterações ambientais, nos estuários, ressalta-se a contaminação por metais pesados, os quais em grandes concentrações devem ser vistos com maior preocupação, especialmente por serem elementos não-degradáveis, que permanecem por um longo tempo nesses ambientes, podendo atingir a cadeia trófica.

Os metais são essenciais aos organismos em pequenas quantidades, porém, quando em excesso, podem desencadear diversos problemas ao meio ambiente e à saúde humana. De acordo com Eysink (1995), os metais ao atingirem um corpo d'água, depositam-se nos sedimentos e sofrem processos complexos de adsorção. Por essa razão, os sedimentos de fundo desempenham um papel importante, em estudos ambientais, uma vez que podem funcionar como indicador do nível de poluição dos ambientes, principalmente quando são considerados os processos antropogênicos, e também pelo fato de que os sedimentos têm a capacidade de armazenar informações da concentração de metais por um período de tempo maior que na coluna d'água, assim sendo, os sedimentos tornam-se uma ferramenta importante para uma melhor avaliação do ambiente.

A cidade de Belém, capital do estado do Pará, com cerca de 750 km<sup>2</sup> e 1,3 milhão de habitantes, é palco de uma urbanização crescente e desordenada, que tem contribuído para o aumento relativo da produção de resíduos sólidos e líquidos os quais, direta e/ou indiretamente, alcançam os canais de drenagem da cidade e, logo, o

rio Guamá e por fim a baía de Guajará (RAMOS, 2004). Esses resíduos sólidos e líquidos, dentre muitos outros agentes de caráter perturbativo ao equilíbrio natural, podem causar uma intensa alteração na vida aquática.

De fato, a questão da poluição na orla de Belém sempre foi de interesse de vários pesquisadores que realizaram trabalhos na baía de Guajará e áreas adjacentes, entre os quais cabe destacar os estudos de Carvalho (2002), Mazzeo (1991), Nascimento (1995), Pereira (2001), Ribeiro (2002).

### 1.1 METAIS EM SEDIMENTOS

Há algum tempo, os mecanismos naturais de formação dos sedimentos vêm sendo intensamente alterados pela ação do homem. A erosão do solo causada pela construção civil, bem como o lançamento direto dos efluentes industriais e domésticos municipais propiciam um perfil completamente diferente ao da dinâmica de sedimentação encontrada nos ambientes naturais não perturbados (MOZETO, 1996). Poluentes descarregados para ambientes aquáticos são geralmente adsorvidos em partículas em suspensão e finalmente acumulam-se em sedimentos de fundo.

A ação química dos metais pesados tem despertado grande interesse ambiental. Isto se deve ao fato de não possuírem caráter de biodegradabilidade, o que determina que permaneçam em ciclos biogeoquímicos globais nos quais as águas naturais são seus principais meios de condução, podendo se acumular na biota aquática em níveis significativamente elevados. Segundo Thorton (1990), os sedimentos depositados nos corpos d'água são também grande transportadores de pesticidas, resíduos orgânicos, nutrientes e organismos patogênicos, que quando em excesso provocam alterações nos ecossistemas aquáticos, reduzindo a qualidade de água.

Os sedimentos de fundo desempenham o papel mais importante no esquema de poluição de sistemas de rios por metais pesados. Eles refletem a quantidade corrente do sistema aquático e podem ser usados para detectar a presença de contaminantes que não permanecem solúveis após o seu lançamento em águas superficiais. Mais do que isso, os sedimentos agem como carregadores e possíveis fontes de poluição, pois os metais pesados não são permanentemente fixados por eles e podem ser

recolocados na água, em decorrência de mudança nas condições ambientais tais como: pH; potencial redox ou presença de quelantes orgânicos (MOZETO, 1996).

Os metais, em depósitos de sedimentos recentes, geralmente são divididos em duas categorias de acordo com a sua origem predominante: geogênico ou geoquímico e antropogênico.

## 1.2 ESSENCIALIDADE E TOXIDADE DOS METAIS

Toxidade é a propriedade dos agentes tóxicos de promoverem efeitos nocivos às estruturas biológicas, através de interações físico-químicas. A toxidade de qualquer substância depende da quantidade ingerida por um determinado organismo. A pele, os pulmões e o canal alimentar são as principais barreiras de separação entre os organismos superiores e o ambiente. As substâncias tóxicas precisam atravessar essas barreiras para serem absorvidos e exercer efeitos nocivos sobre o corpo. A utilização dos metais, para as diversas finalidades, exerce influência nos efeitos potenciais à saúde, através do transporte ambiental ou da contribuição antrópica (ar, solo, água e alimento), e por alterações das espécies do elemento (MARQUES, 1999).

Os íons metálicos presentes nos sistemas aquáticos são abundantes na natureza na forma solúvel. A abundância genérica se restringe aos números atômicos  $\leq 40$ , alguns dos quais são praticamente impossíveis de ocorrer devido à baixa solubilidade de seus hidróxidos. Sob o ponto de vista da abundância e toxicidade, os metais podem ser classificados como: (1) não críticos, (2) tóxicos, mas muito insolúveis ou raros e, (3) muito tóxicos e relativamente disponíveis como apresentado na tabela 1 (FÖRSTNER; WITTMANN 1983).

Tabela 1 – Classificação dos elementos de acordo com a toxicidade e ocorrência.

Não Tóxico			Tóxico, muito insolúvel ou muito raro		Muito Tóxico e relativamente acessível		
Na	C	F	Ti	Ga	Be	As	Au
K	P	Li	Hf	La	Co	Se	Hg
Mg	Fe	Rb	Zr	Os	Ni	Te	Tl
Ca	S	Sr	W	Rh	Cu	Pd	Pb
H	Cl	Al	Nb	Ir	Zn	Ag	Sb
O	Br	Si	Ta	Ru	Sn	Cd	Bi
N			Re	Ba		Pt	

Fonte: Förstner e Wittmann (1983)

O metal pesado não implica necessariamente em “metal tóxico”. Muitos deles são considerados nutrientes indispensáveis às plantas e seres vivos, desde que em baixas concentrações. Vários íons metálicos são essenciais ao bom funcionamento dos organismos vivos, e outros, como sódio, cálcio, potássio, manganês, ferro, cobalto, molibdênio, cobre e zinco, têm importância fundamental para o homem.

Estudos relativos à toxicidade dos metais pesados indicam que, em baixas concentrações, podem ocorrer situações que levam à deficiência nutricional. Todavia, a suplementação adequada resulta em ótimas condições para o organismo, ao passo que o excesso resulta em efeitos tóxicos ou, até mesmo letais, conforme pode se observado na figura 1 (MARTIN; SIGEL, 1980)

Desta forma, alguns metais e seus compostos são considerados essenciais para os organismos vivos, outros são inertes (uma vez que não se acumulam no corpo) e, ainda, há os que são considerados tóxicos.

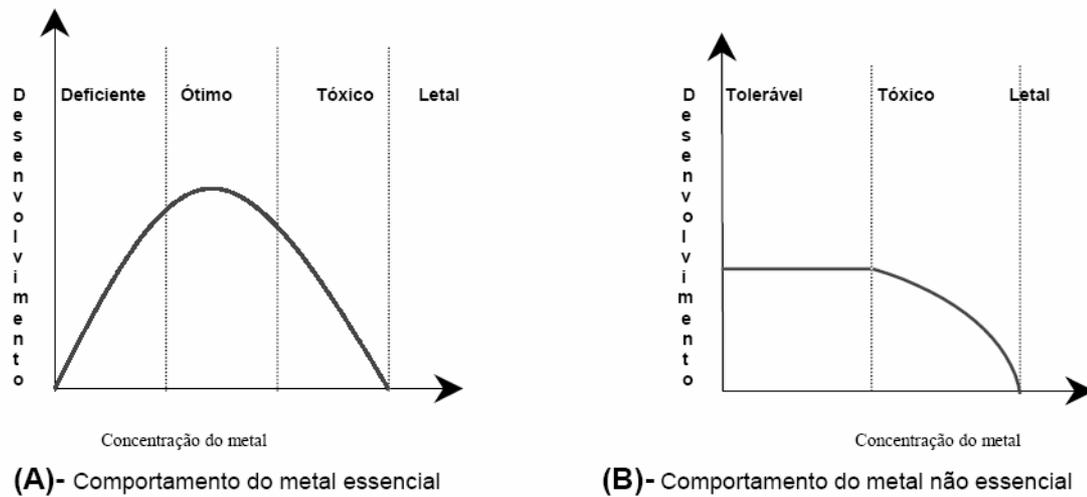


Figura 1 – Correlação entre o desenvolvimento de organismos vivos e a concentração do metal. A) Comportamento do metal essencial. B) Comportamento do metal não-essencial. Fonte: Martin e Sigel (1980).

A presença de metais no ambiente aquático em concentrações elevadas causa a mortalidade de peixes e comunidades bentônica, planctônica, nectônica e seres fotossintetizantes. Sua introdução no organismo humano, via cadeia alimentar, pode provocar inúmeras doenças, em decorrência do efeito cumulativo, podendo causar até a morte.

### 1.3 VALORES GUIAS DE QUALIDADE DOS SEDIMENTOS

Pelo fato dos sedimentos agirem como um reservatório de contaminantes para o ambiente e para os organismos que vivem sob contato ou estão em contato direto com estes metais, os sedimentos contaminados representam um grande risco para a biota. Por isso uma avaliação eficaz desse risco requer o entendimento das relações entre concentrações dos contaminantes nos sedimentos e a ocorrência dos efeitos adversos à biota. Nesse intento, valores guias de qualidade dos sedimentos têm sido usados em várias partes do mundo (BIRCH; TAYLOR, 2002; MORA et al., 2004; NASCIMENTO, 2003, SILVÉRIO, 2003, entre outros) para avaliar o risco de contaminação de sedimentos.

Esses valores guias de qualidade dos sedimentos propiciam uma base científica, ou um dado de referência, baseado em critérios químicos e/ou biológicos, podendo

avaliar o potencial de efeitos adversos às comunidades biológicas de um sistema aquático.

Na literatura, existe uma grande variedade de valores guias de qualidade dos sedimentos para a água doce, costeiros e marinhos, sendo formulados modelos guias de qualidade dos sedimentos por várias agências ambientais. Esses modelos são dominados por duas correntes filosóficas diferentes, tendo cada uma um nível de incerteza inerente à metodologia específica. Uma corrente é empírica e envolve a combinação de química de sedimentos e dados de efeitos biológicos para determinar a concentração de contaminantes individuais associados com toxicidade nos sedimentos. A outra corrente é mecanística e baseia-se no equilíbrio de partição e biodisponibilidade entre os metais, partículas dos sedimentos e a biota e usa (1) as relações entre o AVS (sulfetos volatilizáveis por acidificação) e as concentrações SEM (metais extraídos simultaneamente) e (2) as concentrações de metais das águas intersticiais como critérios de qualidade (CHAPMAN et al., 1999). Nesta dissertação foi adotada a corrente empírica de valores guias de qualidade dos sedimentos adotados pela Agência Ambiental do Canadá (AAC).

Os valores guias de qualidade dos sedimentos utilizados pela AAC foram gerados a partir de inúmeros estudos desenvolvidos nos Estados Unidos e Canadá que sinoticamente congregam dados químicos e biológicos (dados de co-ocorrência) para estabelecer uma associação entre a concentração de cada medida química no sedimento e o efeito biológico observado.

Os dados de co-ocorrência são compilados em um banco de dados, a partir do qual se calcula dois valores de avaliação. O valor mais baixo refere-se ao nível de efeito limiar (do inglês: "threshold effect level" ou TEL), que define um nível, abaixo do qual os efeitos biológicos adversos ocorrem raramente, e um valor superior, nível de efeitos prováveis (do inglês: "probable effect level" ou o PEL), que define um nível acima do qual efeitos adversos ocorrem frequentemente. No cálculo do TEL e PEL, de acordo com a fórmula padrão, três intervalos de concentrações químicas são definidos: (1) intervalo de efeito mínimo, dentro do qual efeitos adversos raramente ocorrem (isto é, menos de 25% de efeitos adversos ocorrem abaixo do TEL); (2) intervalo e possível efeito, dentro do qual efeitos adversos ocorrem ocasionalmente (ou seja, o intervalo

entre o TEL e PEL) e (3) intervalo de provável efeito, dentro do qual efeitos adversos ocorrem frequentemente (isto é, mais de 50% de efeitos adversos ocorrem acima do PEL). Esta metodologia propõe que a lixiviação dos sedimentos seja conduzida com um ataque ácido que não seja drástico, como exemplo o uso de água regia (3HCl : 1HNO<sub>3</sub> – v/v) mais não afirma que é o procedimento adotado (NASCIMENTO, 2003).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

O presente trabalho objetiva avaliar a distribuição geoquímica dos metais chumbo (Pb), cobalto (Co), cromo (Cr), zinco (Zn), níquel (Ni), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn) em sedimentos de fundo e testemunhos da baía de Guajará.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Determinar as características granulométricas de sedimentos superficiais de fundo;
- Identificar os principais argilominerais presentes nos sedimentos superficiais de fundo;
- Qualificar e quantificar os minerais pesados nos sedimentos superficiais de fundo;
- Determinar a percentagem de matéria orgânica dos sedimentos superficiais de fundo;
- Descrever os tipos de fácies de cada testemunho;
- Avaliar a concentração dos metais pesados Pb, Cr, Co, Zn, Ni, Cu, Fe e Mn, nos testemunhos e nos sedimentos superficiais de fundo;
- Correlacionar os teores de matéria orgânica com os metais presentes nos sedimentos superficiais;
- Correlacionar os teores de metais pesados estudados (sedimentos superficiais de fundo e testemunhos) com as concentrações dos metais: Al, Fe, Mg e K, para verificar se esses metais estudados encontram-se associado aos argilominerais;
- Comparar os valores encontrados com índices de qualidade de sedimento (PEL e TEL);
- Fornecer subsídios básicos para futuros estudos de monitoramento ambiental na área de estudo.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada na baía de Guajará a noroeste da cidade de Belém, englobando as ilhas das Onças, Jararaquinha, Mirim, Jutuba e o canal do Val de Cans – C.V.C. (ponto externo), enquadrada aproximadamente nas latitudes 1°15' e 1°30'S e longitude 48°33' e 48°28'W (Figura 2).

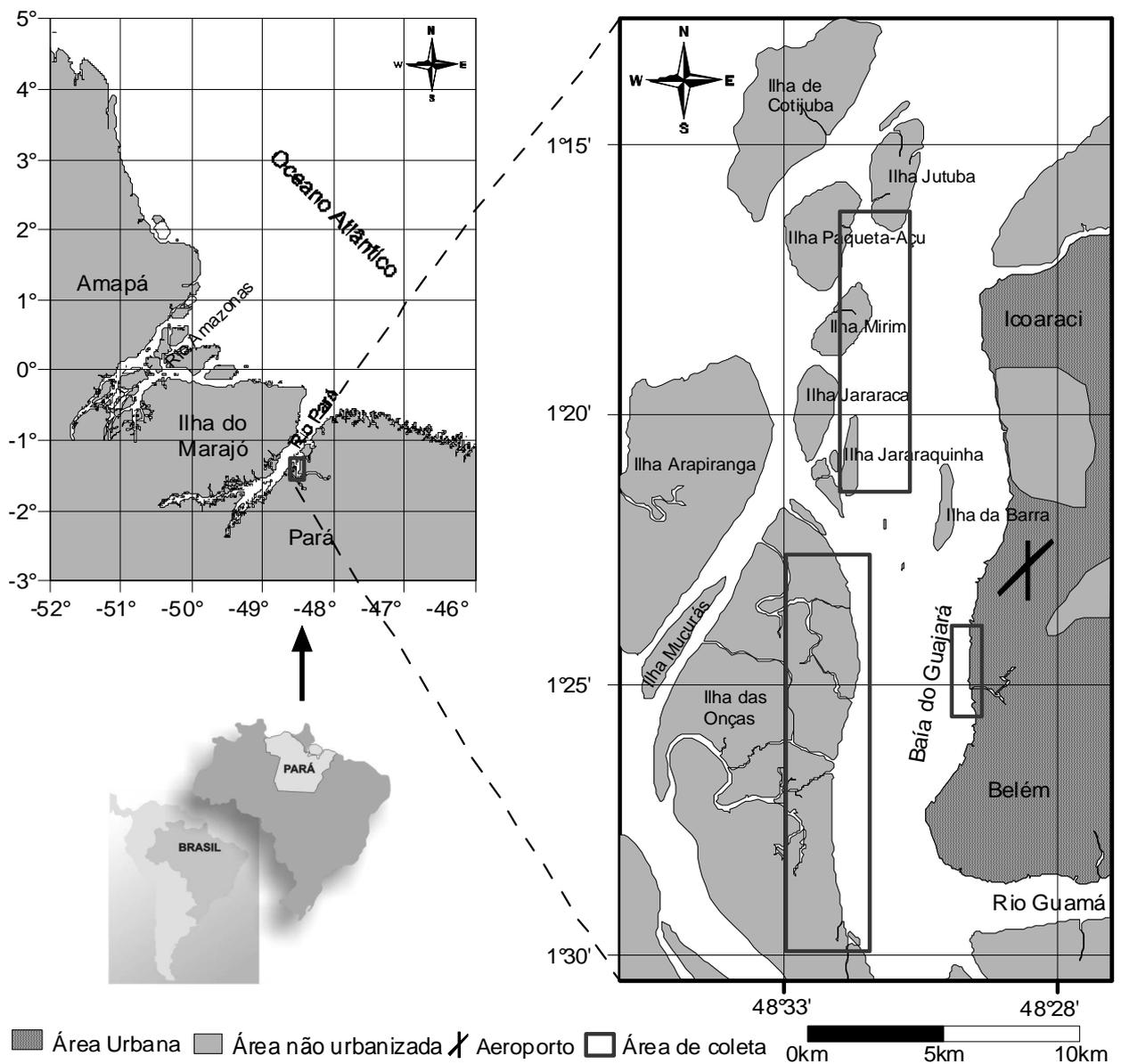


Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.  
Fonte: Modificado de Pinheiro (1987)

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Na confluência dos rios Acará e Guamá forma-se a denominada baía de Guajará com largura de 3 a 4 km. Está localizada em frente à parte noroeste da cidade de Belém e prolonga-se até próximo a ilha de Mosqueiro, onde se encontra com a baía de Marajó, no rio Pará. Numerosas ilhas e canais compõem a margem esquerda da baía de Guajará, sobressaindo-se as ilhas das Onças, Jararaca, Mirim, Paquetá-Açu e Jutuba. Ao longo da margem direita seguem a cidade de Belém e mais ao norte, separadas pelos “furos” do Maguary e das Marinhas, as ilhas de Outeiro e Mosqueiro, respectivamente. Com relação aos canais que entrecortam estas ilhas, sobressaem-se por sua importância para navegação regional, o canal do Carnapijó, o canal de Cotijuba e o canal do Piramanha (PINHEIRO, 1987).

### 3.3 GEOLOGIA REGIONAL

O arcabouço estratigráfico da região de Belém e arredores é caracterizado pelas formações Pirabas e Barreiras, constituindo as seqüências A e B (Mioceno), e os sedimentos Pós-Barreiras, representando a seqüência C (Plioceno-Quartenário) de acordo com os conceitos da estratigrafia de seqüências (ROSSETTI, 2001).

A seqüência A corresponde litoestratigraficamente à Formação Pirabas, predominantemente carbonática, e a parte inferior da Formação Barreiras, de depósitos arenosos e argilosos, as quais se interdigitam lateralmente. Já a seqüência B, exclusivamente siliciclástica, corresponde à parte superior da Formação Barreiras. Enquanto os depósitos carbonáticos são atribuídos aos ambientes de plataforma, laguna, shoreface/foreshore e de mangue, os sedimentos siliciclásticos da Formação Barreiras são interpretados principalmente como produtos de amplas planícies entrecortadas por canais de maré. A seqüência C é argilo-arenosa e exibe estrutura maciça. Seu contato com a Formação Barreiras é marcado por um nível com seixos e blocos principalmente lateríticos. Os depósitos mais novos, holocênicos, são representados por sedimentos aluvionares.

Na Região Metropolitana de Belém e na ilha de Caratateua os Sedimentos Pós-Barreiras foram mapeados por Farias, Nascimento e Ferreira (1992), que caracterizaram duas fácies sedimentares: a) arenito ferruginizado, com blocos

ferruginosos, de tamanhos variados, envolvidos por uma matriz areno-argilosa; b) arenitos diversos incluindo arenitos creme-amarelados, aparentemente desprovidos de estruturas sedimentares; arenitos de cor amarela a alaranjada, de granulometria predominantemente fina, bem selecionados e sem estruturação, além de areias predominantemente brancas, com porções de cor amarelo-alaranjada, de granulometria fina, moderada a bem selecionada. Ainda nesta fácies, descreveram estruturas de bioturbação e feições, que caracterizaram como estruturas de dissipação de dunas.

Já os sedimentos holocênicos são representados por sedimentos aluvionares, situados nos vales dos rios e igarapés que drenam a área. São constituídos de areias, siltes e argilas. As areias são de granulometria fina a média, de coloração marrom, com siltes e argilas intercaladas. As argilas são geralmente de cor cinza-escuro a cinza-claro, apresentando restos de vegetais (galhos e folhas), comumente bioturbadas, e sem estruturas. Tais sedimentos são observados no período de maré baixa, nas bordas dos canais estuarinos, braços de rios, “furos” e igarapés que drenam a área (FARIAS; NASCIMENTO; FERREIRA, 1992).

### 3.4 CLIMA

A microrregião Guajarina é caracterizada por um clima típico da Amazônia, ocasionada pela posição geográfica relativamente próxima ao oceano Atlântico, sua baixa altitude, relevo plano e sua vegetação arbórea densa. Na área metropolitana de Belém, em particular, o clima se caracteriza por uma especial isotermia, com amplitudes térmicas menores que 2°C, calculadas com base nas temperaturas médias dos meses mais quentes e mais frios (PENTEADO, 1967).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima de Belém corresponde à categoria Af, caracterizado por dois períodos diferentes, um mais chuvoso e o outro menos chuvoso. Esses dois períodos são conhecidos na região como “inverno” e “verão”. O clima é do tipo tropical úmido, com precipitações pluviométricas freqüentes, desenvolvendo-se com maior intensidade de dezembro a junho. A “estação seca”, período de menor índice pluviométrico, é representada por certa estiagem, que se caracteriza de julho a novembro (LIMA, 1979). O regime das chuvas exerce uma grande

influência sobre os rios da região, que por sua vez interferem no estuário Guajará (MENEZES, 1999).

### 3.5 VEGETAÇÃO

Segundo Lima (1956) há um forte controle da geomorfologia sobre a cobertura vegetal na região e é possível distinguir três tipos predominantes de florestas: 1) a floresta densa, presente nas áreas pediplanadas; 2) a vegetação de várzea, associada aos terraços inundáveis e 3) a floresta secundária, desenvolvida nas áreas que sofreram desmatamento.

Ainda segundo Lima (op. cit.), nas várzeas muito baixas, associadas a áreas de deposição recente de sedimentos, predominam espécies ditas pioneiras, como: aninga (*Montrichardia arborescens schott*), mururé (*Eichhornia azurea kunth*), canarana (*Panicum elephantipes*) e outras menos freqüentes. Nos terrenos mais elevados, que gradam da várzea alta até a terra firme, ocorrem as florestas densas, caracterizadas principalmente por uma maior diversidade de espécies com predominância das dicotiledôneas.

Segundo Pinheiro (1987), a vegetação de várzea pode ser vista como um indicativo seguro dos processos geológicos – hidrodinâmicos, atuando em uma reduzida e limitada escala de tempo e mesmo, de um estágio geomorfológico distinto pelo qual transita o relevo. Na região do “furo” do Maguari e “furo” das Marinhas (principalmente nas partes mais internas destes), bem como nos diversos igarapés que deságuam na baía de Guajará e rio Guamá, pode-se verificar a presença marcante de vegetação típica de várzeas baixas recentes, indicando zonas de sedimentação atual. Nesses casos, a vegetação é um forte indicativo de que essas zonas estuarinas enfrentam atualmente um estágio de colmatação.

### 3.6 DINÂMICA ESTUARIANA

Um estuário pode ser definido de várias maneiras. Entretanto, as definições devem abranger as características e processos essenciais, bem como o contexto no qual o estuário está inserido, permitindo a aplicação de critérios adequados de classificação (DYER, 1997). Para os oceanógrafos, engenheiros, geógrafos,

ecologistas, o termo estuário é utilizado para indicar a região interior de um ambiente costeiro, onde ocorre o encontro das águas fluvial e do mar, e que se estende rio acima até o limite da influência da maré. Alguns pesquisadores também incluem a região da plataforma continental adjacente, que recebe a chamada pluma estuarina, como parte integrante do sistema estuarino (MIRANDA; CASTRO; KJERFUE, 2002). Desta maneira, a baía de Guajará ou estuário do Guajará pode ser um corpo de água costeira semi-fechada com ligação livre com o oceano aberto, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental.

A superfície da água na baía de Guajará, mesmo em condições de ventos fracos, caracteriza-se por um sistema relativamente agitado, sobretudo pela ação de correntes de marés, com presença freqüentes de ondulações irregulares, definindo claramente um regime de fluxo turbulento. Apesar da forte imposição das correntes de marés, as ondas geradas pelos ventos representam um importante agente na dinâmica do estuário Guajará, as quais propiciam a mistura das águas e a ressuspensão praticamente constante dos sedimentos de fundo nos bancos e margens (PEREIRA, 2001). Além disso, provocam ataques erosivos e, por outro lado, criam situações de sedimentação em locais específicos. Nas marés de sizígia e enchente ocorrem as velocidades máximas de  $1,89\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (PINHEIRO, 1987).

A hidrodinâmica do estuário Guajará o caracteriza como um sistema de circulação uniforme, que no período entre a preamar e baixa-mar (Figuras 3 e 4) tende a ser homogêneo e com baixas concentrações iônicas na superfície (PINHEIRO, 1987). Nesse sistema de elevada energia hidráulica, a dinâmica das águas, a sazonalidade e, sobretudo, a entrada da maré salina provocam alterações nas propriedades físico-químicas dessas águas e na concentração das partículas em suspensão (CORDEIRO, 1987; PINHEIRO, 1987).

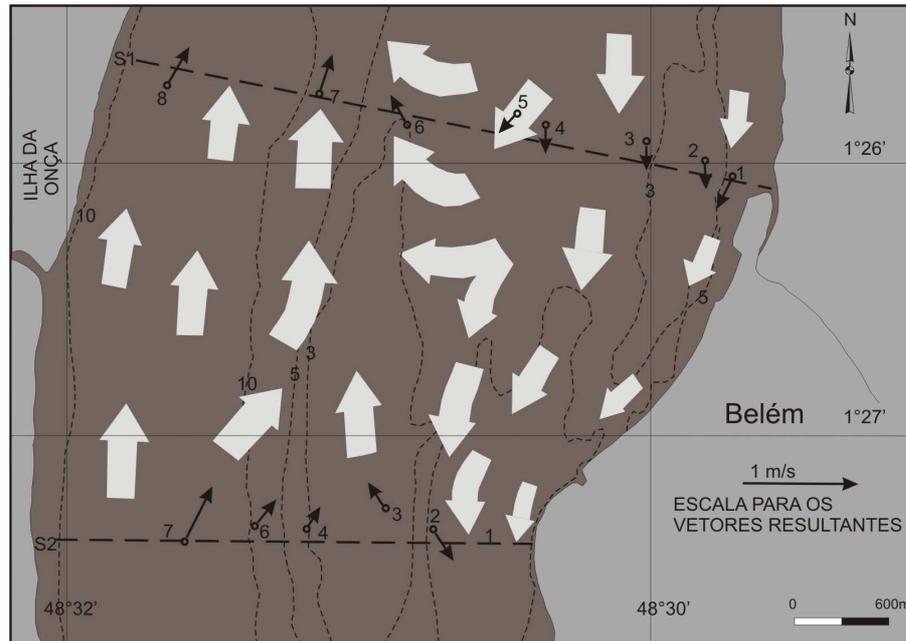


Figura 3 – Dinâmica das correntes de marés de sizígia, em superfície na baía de Guajará, para momento de implantação de enchente (aprox. 1h. a 1:30hs. após a estofa da baixa-mar).  
Fonte: Modificado de Pinheiro (1987).

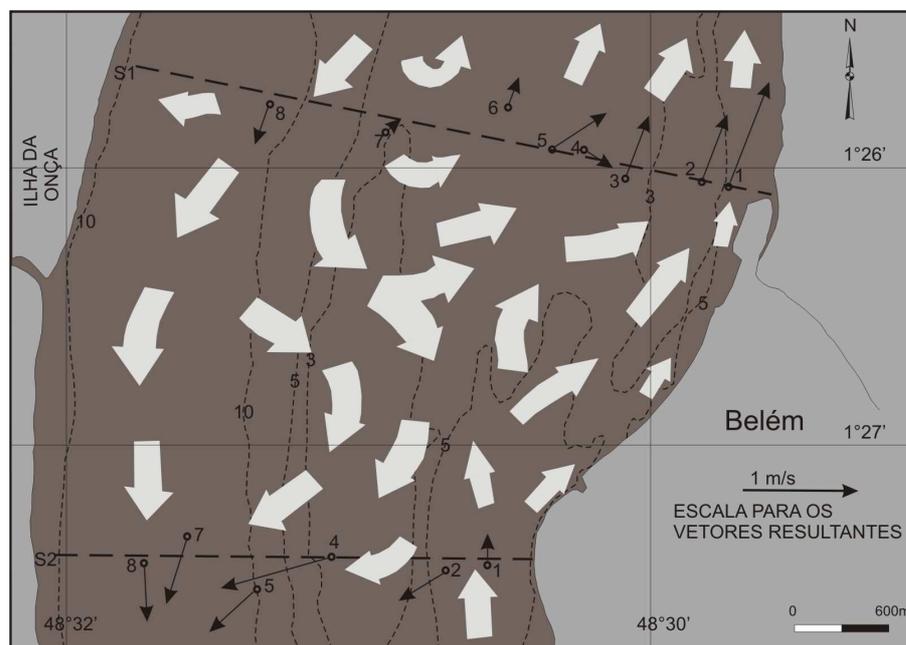


Figura 4 – Dinâmica das correntes de marés de sizígia, em superfície na baía de Guajará, para momento de implantação de vazante (aprox. 2hrs. após a estofa da preamar).  
Fonte: Modificado de Pinheiro (1987).

### 3.7 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

Estudos batimétricos para o estuário em questão revelaram a presença de três zonas morfológicas distintas no que diz respeito a suas feições principais: Alto Fundo da baía, Zona do Canal Principal e Barra do Guajará-Açu (PINHEIRO, 1987).

O Alto Fundo da baía pode ser definido a partir de profundidades menores que 10m, que se distribuem contornando toda a borda leste da baía de Guajará. Abrange uma área limitada a um raio de cerca de 2-3 km, distante da cidade de Belém e adentrando no rio Guamá, apresentando também bancos e canais não muito profundos, dispostos subparalelamente entre si e em relação às margens (PINHEIRO, 1987).

A Zona do Canal Principal caracteriza-se pela presença do denominado Canal da Ilha das Onças, que representa a principal feição desta zona da baía de Guajará. Esse canal, com média de 1 km de largura e profundidade entre 10 a 17 m, constitui-se claramente na continuação do talvegue do rio Guamá, que acompanha sua margem esquerda, deflexionando a partir de sua foz para direita e estendendo-se por todo o litoral oriental da Ilha das Onças.

A Barra do Guajará-Açu é definida por um extenso baixo, com cotas inferiores a 5m de profundidade e mais de 6 km de comprimento.

### 3.8 POLUIÇÃO EM AMBIENTE ESTUARINO

A poluição ambiental pode ser definida como toda ação do homem e/ou natural que, através da descarga de material ou energia na água, solo/sedimento e ar, causam um desequilíbrio nocivo no ecossistema (VALLE, 1995). É fato notório que a atividade humana vem alterando o ciclo global dos elementos químicos, que é comprovado pelo aumento das concentrações de substâncias nocivas a vários ambientes, tais como lagos, estuários, rios, zonas costeiras e neríticas e principalmente em bacias hidrográficas.

O esgoto sanitário é normalmente constituído por material sólido em suspensão, matéria orgânica e microorganismos, sendo suas características físicas, químicas e biológicas variáveis com o padrão sócio-econômico da comunidade, condições

climáticas, consumo per capita de água e as características da rede coletora (MENDES; PEREIRA, 2003).

De maneira geral, rios, estuários e lagos são os destinos finais dos efluentes industriais e de esgotos domésticos, sendo desta forma seriamente contaminados por metais pesados e outras substâncias nocivas, que dizimam muitos tipos de vida aquática, benéficos ao homem, além de propiciarem a formação de ambientes favoráveis a algumas espécies aquáticas não desejáveis. Como exemplo típico desses ambientes pode-se citar os rios Pinheiros e Tietê (SP), Capiberibe (PE), Paraíba do Sul (RJ) entre outros.

Cerca de 60% das grandes cidades do mundo se desenvolveram em torno dos estuários, o que demonstra a grande importância histórica e atual destes ambientes para o desenvolvimento dessas cidades. Mas são também os estuários que funcionam como o destino final para efluentes domésticos e industriais, que muitas vezes são lançados *in natura*.

Na baía de Guajará ou estuário do Guajará é muito evidente esse tipo de alteração ambiental, pois os esgotos urbanos alcançam de forma direta e/ou indiretamente, sem nenhum tratamento sanitário a baía. Outras fontes poluidoras incluem pequenas indústrias, postos de abastecimento para embarcações, pequenos portos sem controle ambiental e embarcações velhas encalhadas.

No mundo essas preocupações com a qualidade do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável já vêm acontecendo, desde a Conferência de Estocolmo em 1972 e a Rio 92. A expressão disso é o documento expedido no último evento, intitulado Agenda 21 (1992), que consiste numa reunião de planos, metas, diretrizes e intenções a serem perseguidos pelos governos nacionais e pelos habitantes do planeta, no sentido de se alcançar a sustentabilidade. No capítulo 17 dessa Agenda são tratados os aspectos relativos aos oceanos e zonas costeiras, onde há referência ao tratamento primário dos esgotos municipais descarregados em rios e estuários, assim como a redução de qualquer tipo de escoamento para cursos de água e estuários que possam provocar poluição ou degradação do meio ambiente marinho.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 AMOSTRAGEM

A campanha de amostragem na baía de Guajará foi realizada no dia 22 de setembro de 2005, no período de menor precipitação pluviométrica. Os pontos de amostragem foram georreferenciados através de um sistema de posicionamento do tipo GPS (Sistema de Posicionamento Global), totalizando 9 pontos de amostragens superficiais e 6 testemunhos (Figura 5). Esses pontos de amostragens pretenderam-se verificar até que ponto as alterações impactantes provenientes da cidade de Belém podem perturbar essas áreas estudadas.

Para as amostragens dos sedimentos superficiais de fundo, utilizou-se um coletor de aço (draga de Petersen), que permite amostrar os 10 primeiros centímetros de profundidade (Figura 6). Durante as amostragens com o coletor de aço, também foram coletados testemunhos de aproximadamente 50 cm de espessura, utilizando-se um testemunhador russo (Figura 7).

As amostras da draga foram armazenadas em sacos plásticos do tipo zip lock, enquanto que as amostras de testemunhos foram acondicionadas em papel filme e protegidas com tubos de PVC (Figura 8). No laboratório, as amostras foram mantidas congeladas em um freezer à temperatura  $-4^{\circ}\text{C}$ , impedindo a continuidade das atividades bioquímicas e para posteriores análises laboratoriais.

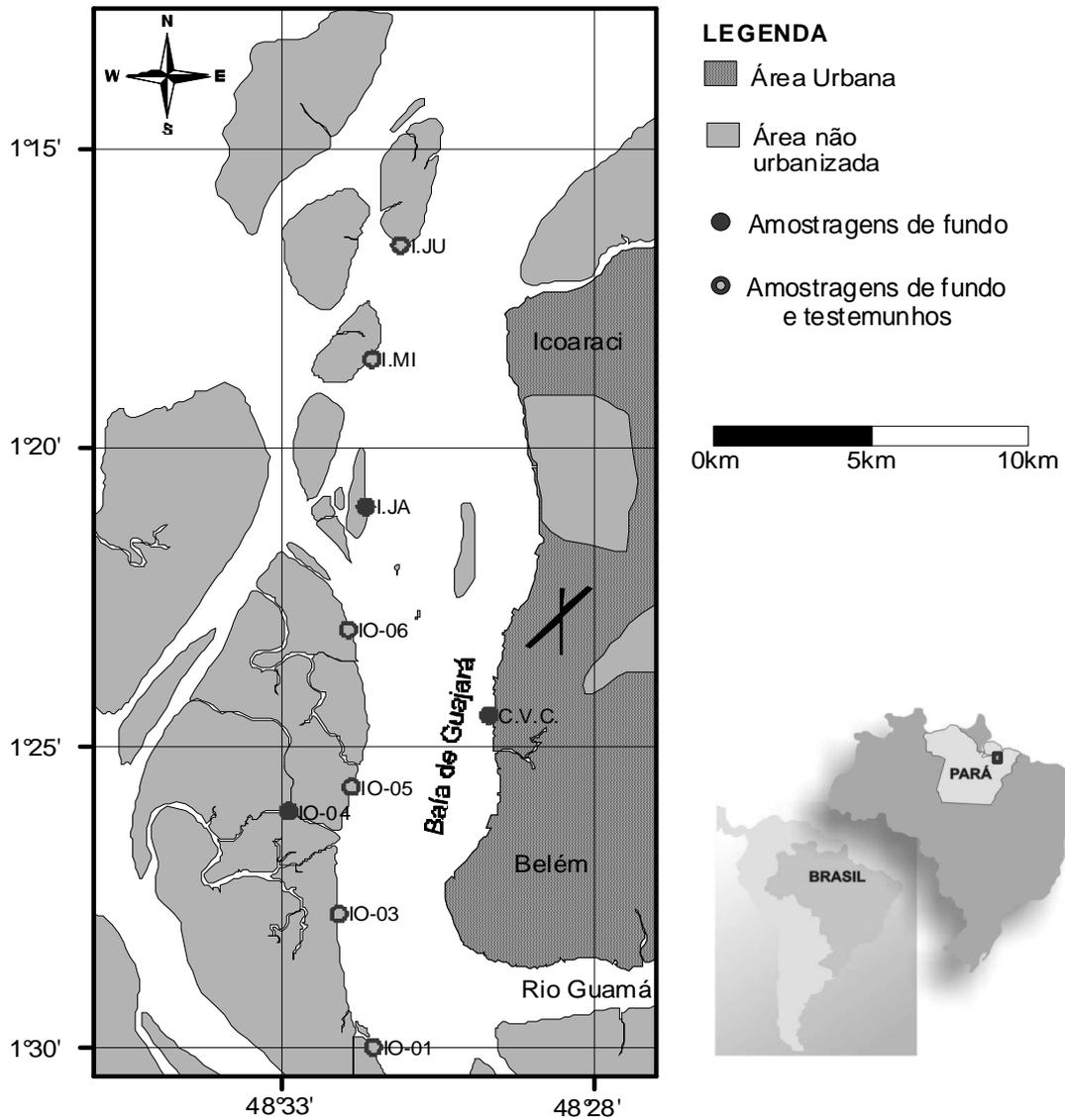


Figura 5 – Mapa de localização dos pontos de amostragens.  
 Fonte: Modificador de Pinheiro (1987).



Figura 6 – Draga de Petersen.



Figura 7 – Testemunhador russo com amostra de testemunho coletado.

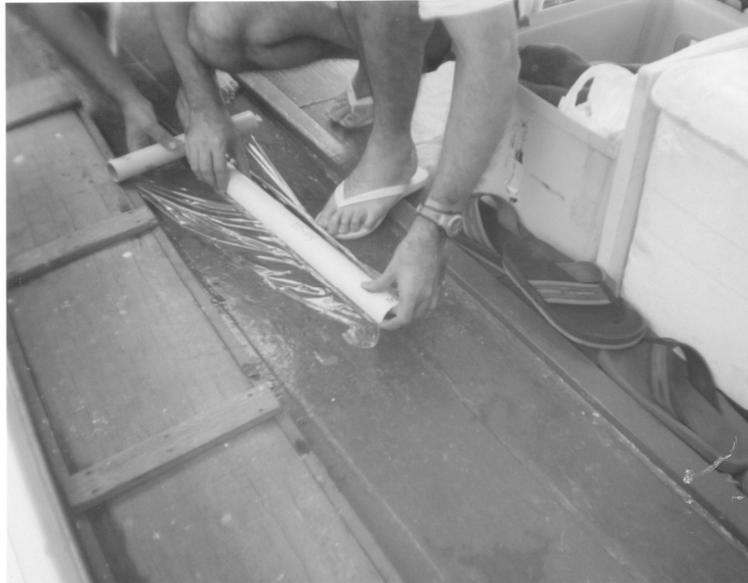


Figura 8 – Testemunho, acondicionado em papel filme e tubo de PVC.

## 4.2 PROCESSAMENTO DE TESTEMUNHOS

### 4.2.1 Fotografias e radiografias de raios-X

Os testemunhos foram fotografados, com uma câmera digital, de 6.0 megapixels, para dar uma visão geral de cada testemunho para destacar estruturas sedimentares e ação de bioturbação (Figura 9). Além disso, foram obtidas radiografias na Clínica Lobo com o objetivo de detalhar estruturas sedimentares e fácies.



Figura 9 – Aquisição de fotos de testemunhos.

#### 4.2.2 Descrição macroscópica

A descrição macroscópica seguiu a ficha-modelo de Boyles, Scott e Rine (1986), que permite a organização de uma série de informações tais como: cor, tipo de sedimento, granulometria, estruturas sedimentares físicas e biogênicas, comprimento e localização dos testemunhos, porções amostradas e analisadas em laboratório, etc.

#### 4.3 DETERMINAÇÃO GRANULOMÉTRICA NO SEDIMENTO

Das amostras de sedimentos superficiais de fundo foram separadas as frações  $< 2 \mu\text{m}$ ,  $2 - 62 \mu\text{m}$  e  $> 62 \mu\text{m}$ , correspondentes à argila, silte e a areia. Como os sedimentos são relativamente finos, a fração areia não foi subdividida.

Antes do procedimento granulométrico, as amostras foram secas à temperatura de  $50^\circ\text{C}$ , quarteadas e pesados 15g de cada amostra.

A fração areia foi obtida por peneiramento a úmido utilizando-se peneira de 4 phi, enquanto o silte foi separado da argila por decantação em cilindros de Atterberg (Figura 10) seguindo a lei de Stokes (FOLK, 1974). Escolheu-se, para este processo, que foi repetido 3 a 4 vezes por amostra, uma coluna de água de 10 cm de altura. Para algumas amostras foi necessário um tratamento com pirofosfato de sódio (0,9 g/L) para evitar floculação. A suspensão da fração argila foi centrifugada com 2000 rotações/min, durante 10 min, para eliminar a grande quantidade de água. Tanto a argila como o silte foram secos e depois pesados.

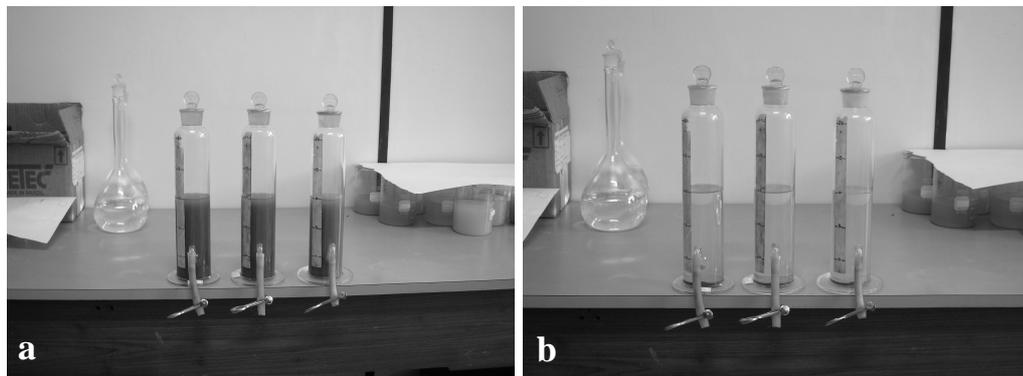


Figura 10 - Cilindros de Atterberg a) contendo fração  $< 62\mu\text{m}$  em suspensão; b) sem fração  $< 2\mu\text{m}$  após decantações repetitivas.

## 4.4 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

### 4.4.1 Argilominerais

A caracterização mineralógica da fração argila foi realizada com amostras orientadas, saturadas em atmosfera de etileno-glicol e aquecidas a 550°C/1hora, que foram submetidas à difração de raios-X (MOORE;REYNOLDS JR., 1997). O aparelho utilizado na análise foi um difratômetro da marca Philips PW1050 (Figura 11), com monocromador de grafite e tubo de anodo de cobre do Laboratório de Difração de Raios-X do Centro de Geociências/Departamento de Geoquímica de Petrologia.

Os difratogramas gerados foram tratados no software APD (PHILIPS) para tratamento digital dos registros obtidos usando a base de dados PDF (Powder Diffraction File) do ICCD (International Center for Diffraction Data) para a identificação de fases minerais.

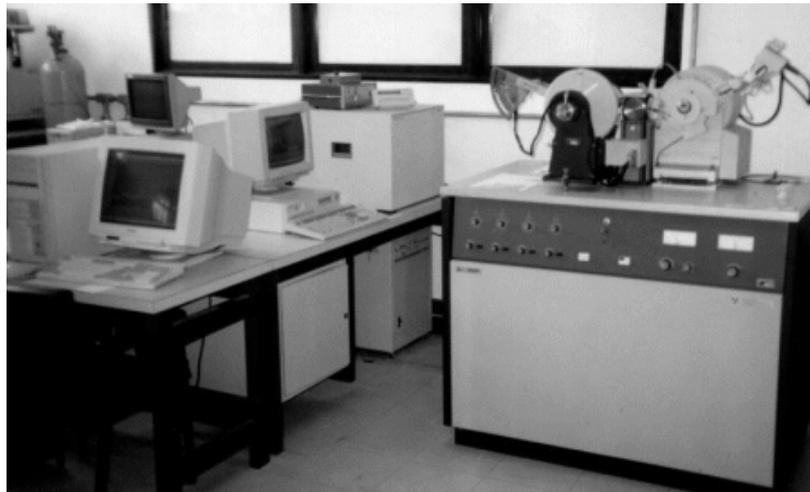


Figura 11 – Difratômetro de raios-X do tipo PW3710.

### 4.4.2 Minerais Pesados

Para o estudo dos minerais pesados utilizou-se a fração areia muito fina (62 – 125µm) obtida por peneiramento em meio úmido de amostras de sedimentos superficiais de fundo.

A separação de minerais pesados dos minerais leves foi realizada no Laboratório de Geologia Marinha e Recursos Minerais Marinhos, usando-se bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ), como um líquido denso ( $2,89 \text{ g/cm}^3$ ).

Os minerais pesados foram observados em lâminas de grãos sob o microscópio petrográfico binocular (Figura 12) para a descrição e quantificação mineralógica, forma dos grãos e grau de arredondamento. Para avaliar a percentagem dos minerais, pelo menos 100 grãos por lâmina foram contados.



Figura 12 – Identificação e contagem dos grãos de minerais pesados sob o microscópio petrográfico.

#### 4.5 MATÉRIA ORGÂNICA (MO)

Para análise do percentual de MO dos sedimentos superficiais de fundo, foi calculado a partir dos valores de carbono orgânico (CO) através da equação  $\text{MO (\%)} = \text{CO (\%)} \times 1,724$  (EMBRAPA, 1997).

O CO foi determinado segundo o método proposto por Loring e Rantala (1992), cujo princípio baseia-se na oxidação do carbono orgânico com dicromato de potássio

em meio ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado +  $\text{K}_2\text{CrO}_7$ ). O excesso de dicromato (mistura oxidante) após oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato amoniacal. Essa metodologia é descrita abaixo:

Uma massa de 0,5g da fração fina (silte-argila) do sedimento seco, foi colocada em um Erlenmeyer de 500 ml, onde foram adicionados 10 ml de solução 1N de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (com bureta) e 20 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  com  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  e misturados rotacionando o frasco por aproximadamente 1 min. Após 30 minutos, adicionou-se 200 ml de água destilada e 10 ml de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (85%) e 0,2 g de NaF. Em seguida adicionou-se 15 gotas (0,5ml) do indicador difenilamina. Em seguida titulou-se a amostra com a solução de sulfato ferroso amoniacal a uma gota do ponto final (até a cor verde brilhante). O cálculo do CO foi realizado através da formula abaixo:

$$\% \text{CO} = 10(1 - T/S) \cdot F \quad \text{onde,}$$

S = Padronização do Branco (volume de solução ferrosa)

T = Titulação da amostra (volume de solução ferrosa)

F = Fator derivado como segue:

$F = (1.0 \text{ N}) \times (12 / 4000) \times 1,72 \times (100/\text{peso da amostra}) = 1.03$  quando o peso da amostra é exatamente 0.5 g. Onde  $12 / 4000 = \text{meq de peso de carbono}$  e  $1,72 = \text{fator para a MO do carbono}$ .

#### 4.6 METAIS

Para análise química dos sedimentos superficiais de fundo e dos testemunhos, as amostras foram peneiradas em meio úmido com água deionizada em uma malha de aço-inox 62 $\mu\text{m}$ . Em seguida, a fração fina (silte e argila) foram secas na estufa a 50°C e desagregadas em gral de ágata. Estas amostras (cerca de 10g cada) foram enviadas para o laboratório comercial ACMEBRASIL, para determinação de metais pesados, as quais passaram por uma digestão ácida com  $\text{HClO}_4\text{-HNO}_3\text{-HCl-HF}$  para 10 ml, e determinados por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ANÁLISE FACIOLÓGICA DOS TESTEMUNHOS

A partir do estudo dos testemunhos distribuídos nas proximidades das ilhas da baía de Guajará (Figura 13), 4 fácies puderam ser identificadas, tendo sido codificadas segundo a metodologia utilizada por Miall (1977), na qual as letras maiúsculas definem os litotipos e as minúsculas as estruturas ou características específicas das fácies, embora não tenham necessariamente a mesma conotação genética utilizada por este autor.

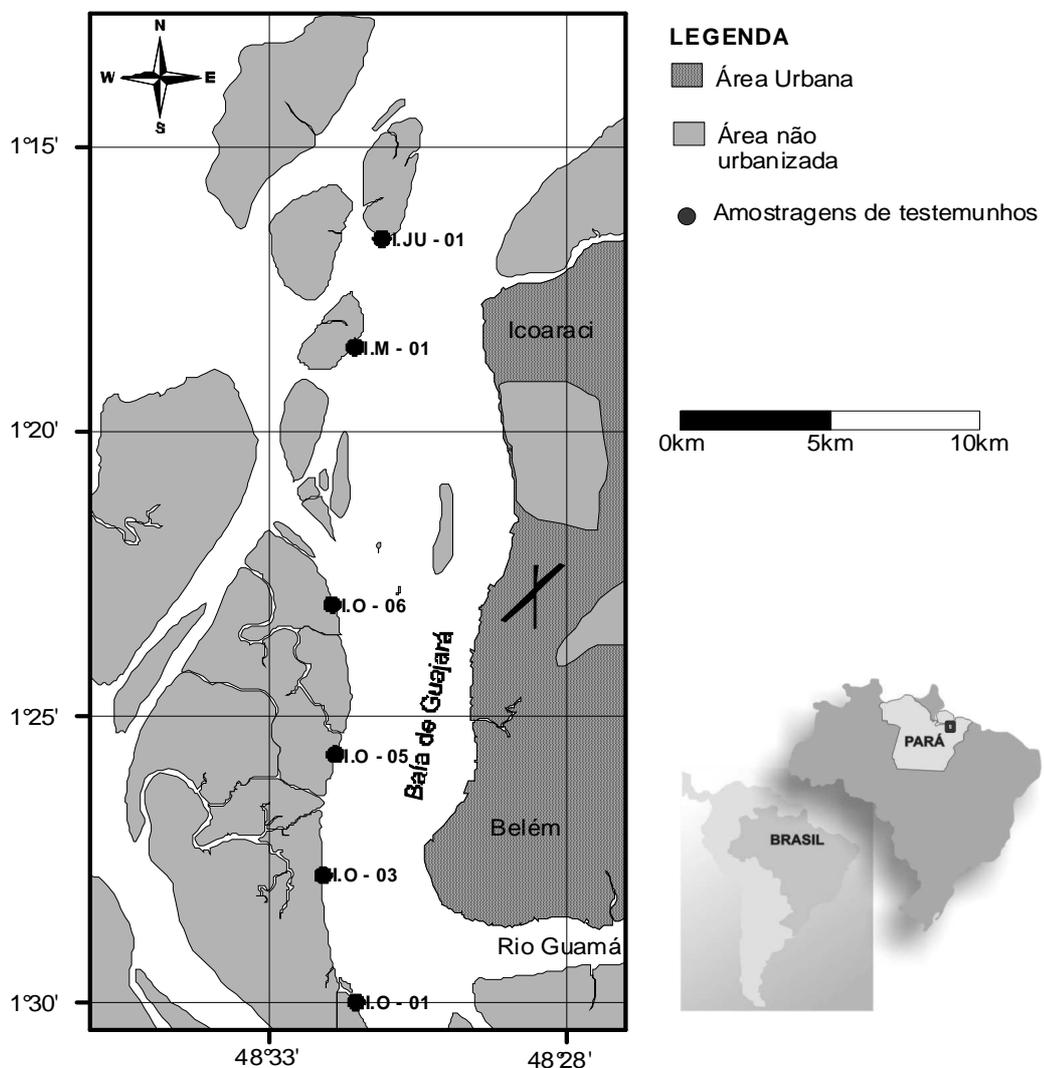


Figura 13 – Mapa de localização dos pontos de amostragem dos testemunhos.  
Fonte: Modificador de Pinheiro (1987).

### **5.1.1 Lama Arenosa com Laminação Plano-Paralela (LAp)**

Esta fácies, é constituída principalmente por silte arenoso com laminação plano-paralela, mostra variação de coloração entre as lâminas de cinza a cinza escuro. As lâminas de areia muito fina se destacam nas radiografias de raios-x pela cor esbranquiçada (Figuras 14, 15, 16,17 e 18).

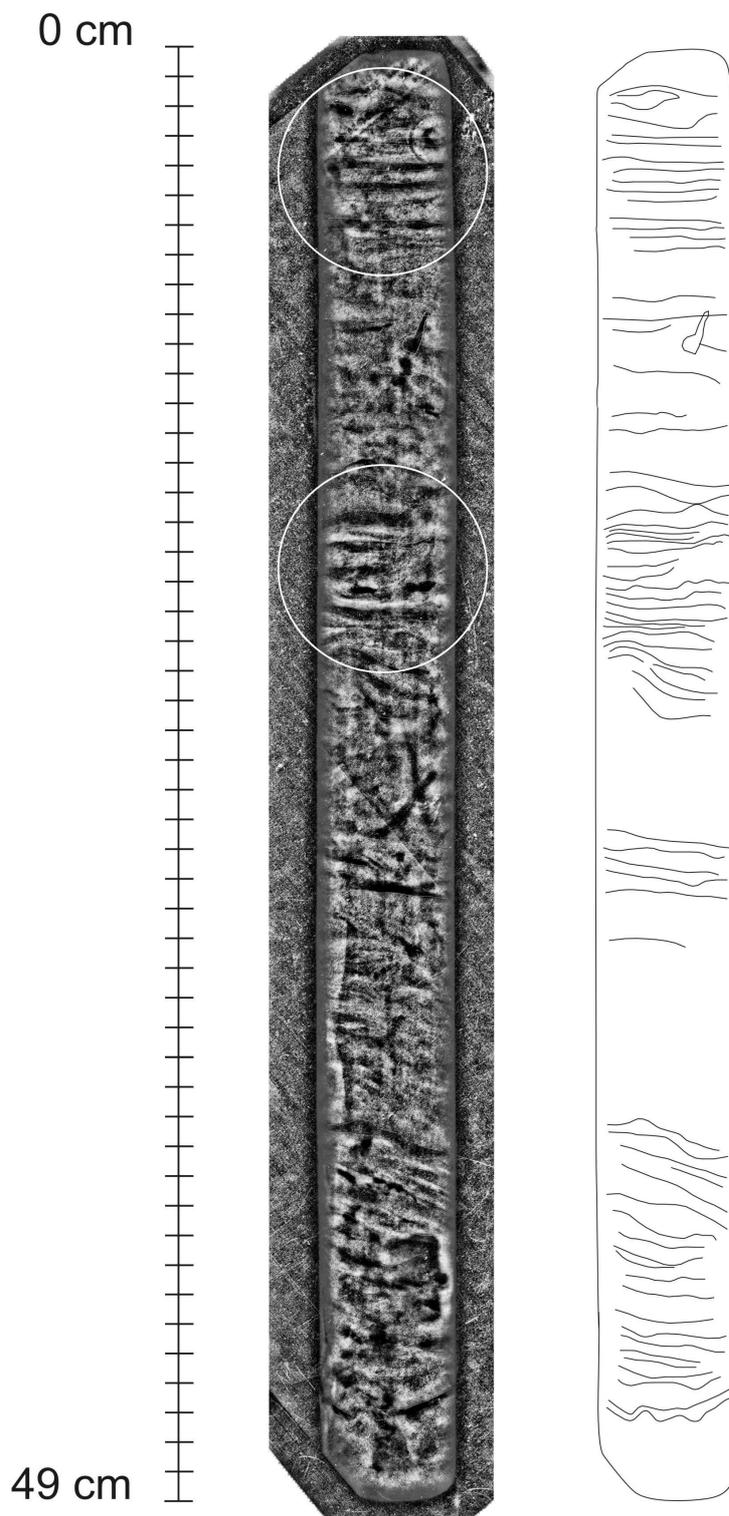


Figura 14 – Aspectos da fácies LAp (destacado pelo círculo) no testemunho IO-01, observa-se a laminação não muito ressaltada pela variação de coloração; radiografias de raios-X.

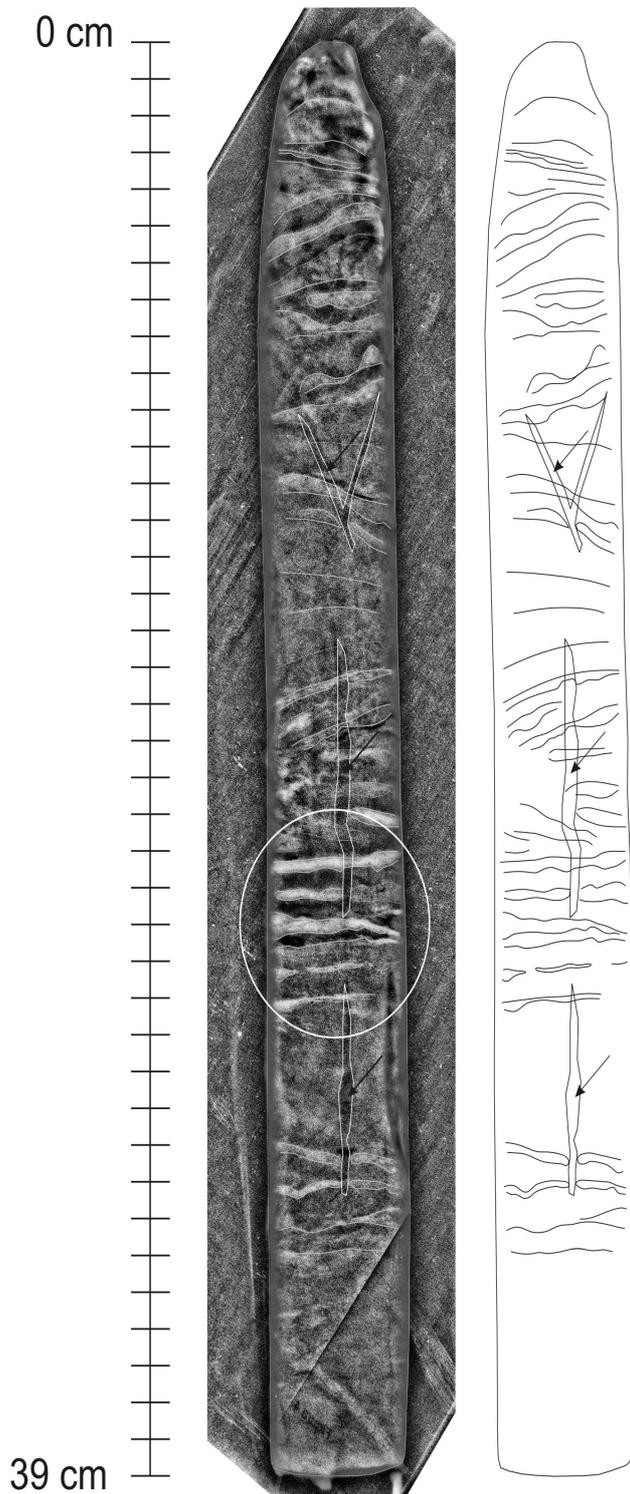


Figura 15 – Aspectos da fácies LAp (destacado pelo círculo) no testemunho IO-03, observa-se a laminação ressaltada pela variação de coloração, presença de resto vegetais (↓) destacado pela radiografia de raios-X.

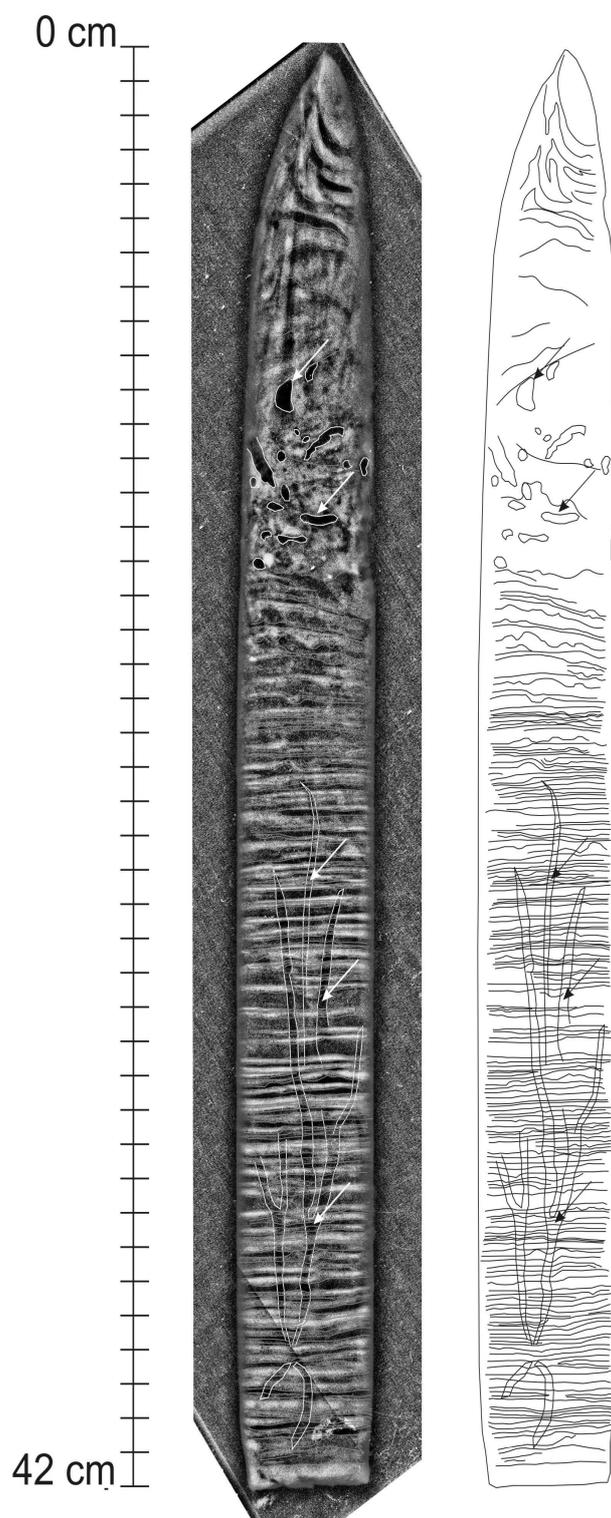


Figura 16 – Aspectos da fácies LAp (ao longo do perfil) no testemunho IO-05, observa-se a alternância de lâminas escuras (argila) e claras (arenosas) mostrando influencia de maré (ritmo de maré), resto vegetais (↓); radiografia de raios-X.

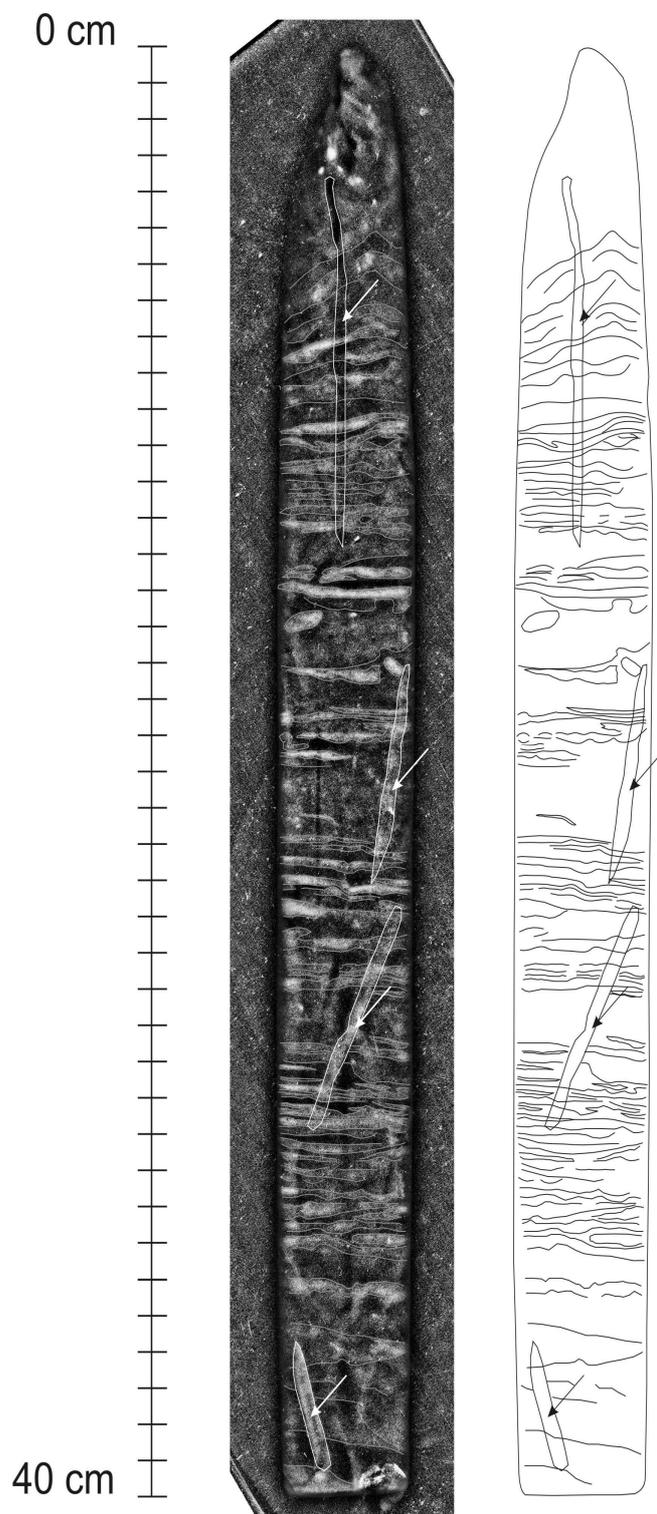


Figura 17 – Aspectos da fácies LAp (ao longo do perfil) no testemunho IO-06, observa-se a alternância de lâminas escuras (argila) e claras (arenosas) mostrando influencia de maré (ritmo de maré), resto vegetais (↓); radiografia de raios-X.

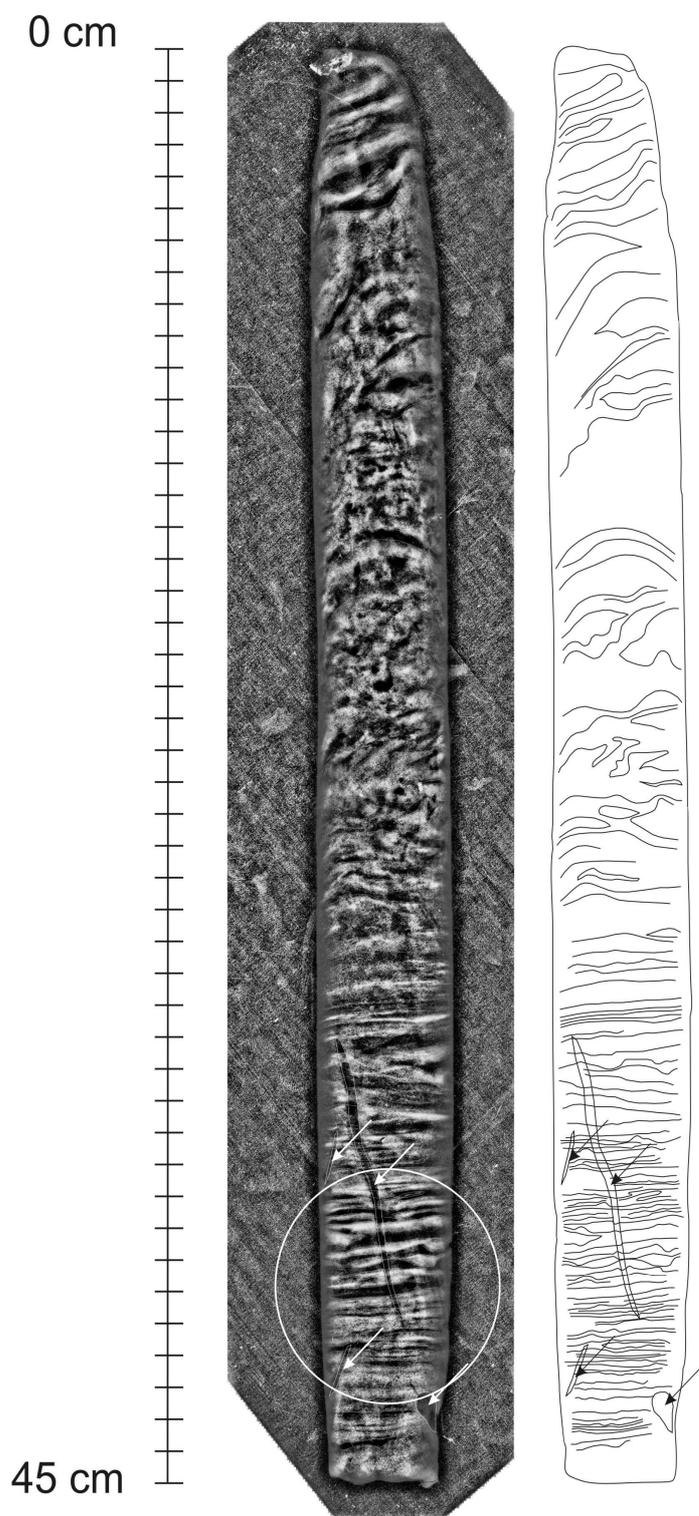


Figura 18 – Aspectos da fácies LAp (destacado pelo círculo) no testemunho IMI, observa-se a laminação ressaltada pela variação de coloração, presença de resto vegetais (↓) destacado pela radiografia de raios-X.

### **5.1.2 Lama Arenosa com Laminação Cruzada (L<sub>Ax</sub>)**

Esta fácies caracteriza-se pela presença de silte arenoso de coloração cinza a marrom acinzentado, com laminação cruzada (Figura 19), que é ressaltada por recobrimentos argilosos. Subordinaadamente ocorre laminação convoluta.

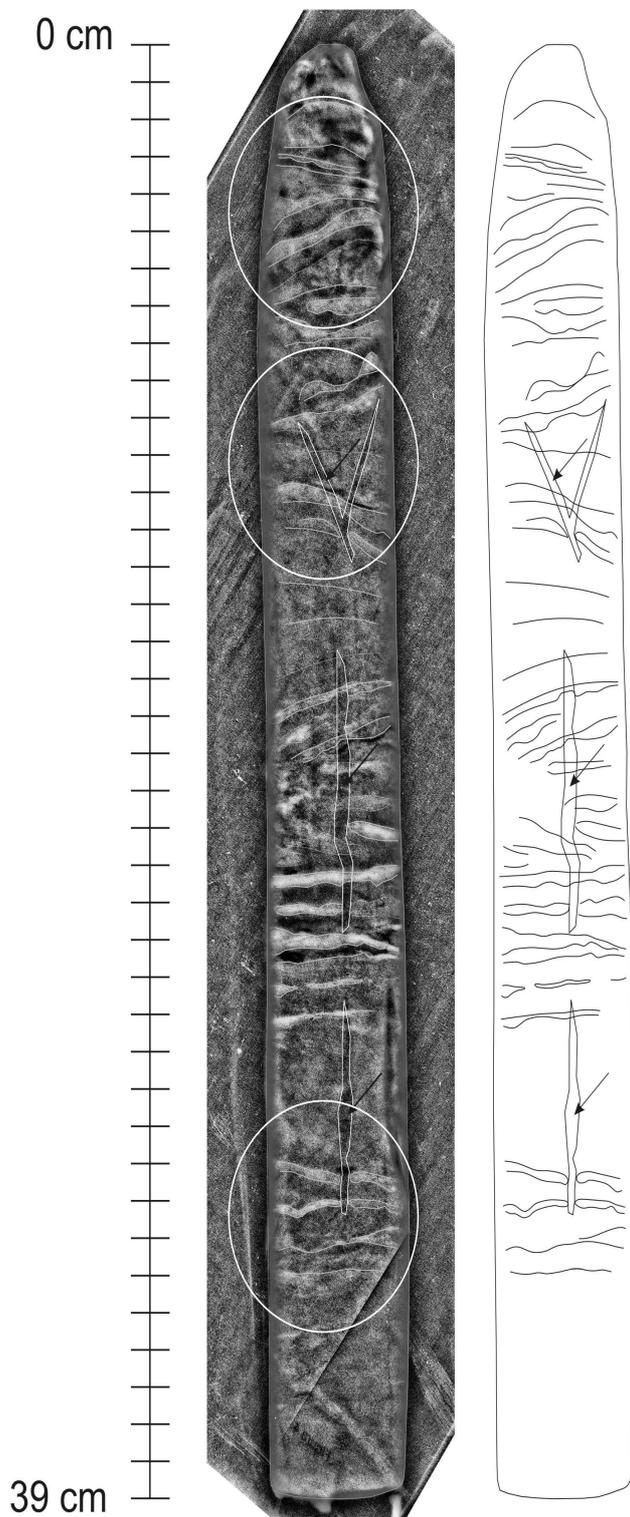


Figura 19 – Laminação cruzada (destacado pelo círculo) na fácies LAm no testemunho IO-03, presença de restos vegetais (↓) destacado pela radiografia de raios-X.

### **5.1.3 Lama Arenosa com Estratificação Cruzada Longitudinal (Barra em Pontal) (LAL)**

A laminação cruzada de barra em Pontal é bem visível em radiografia de raios-X (Figura 20). Além da laminação cruzada ocorrem nesta fácies feições de bioturbação, pedaços de madeira e/ou sementes.

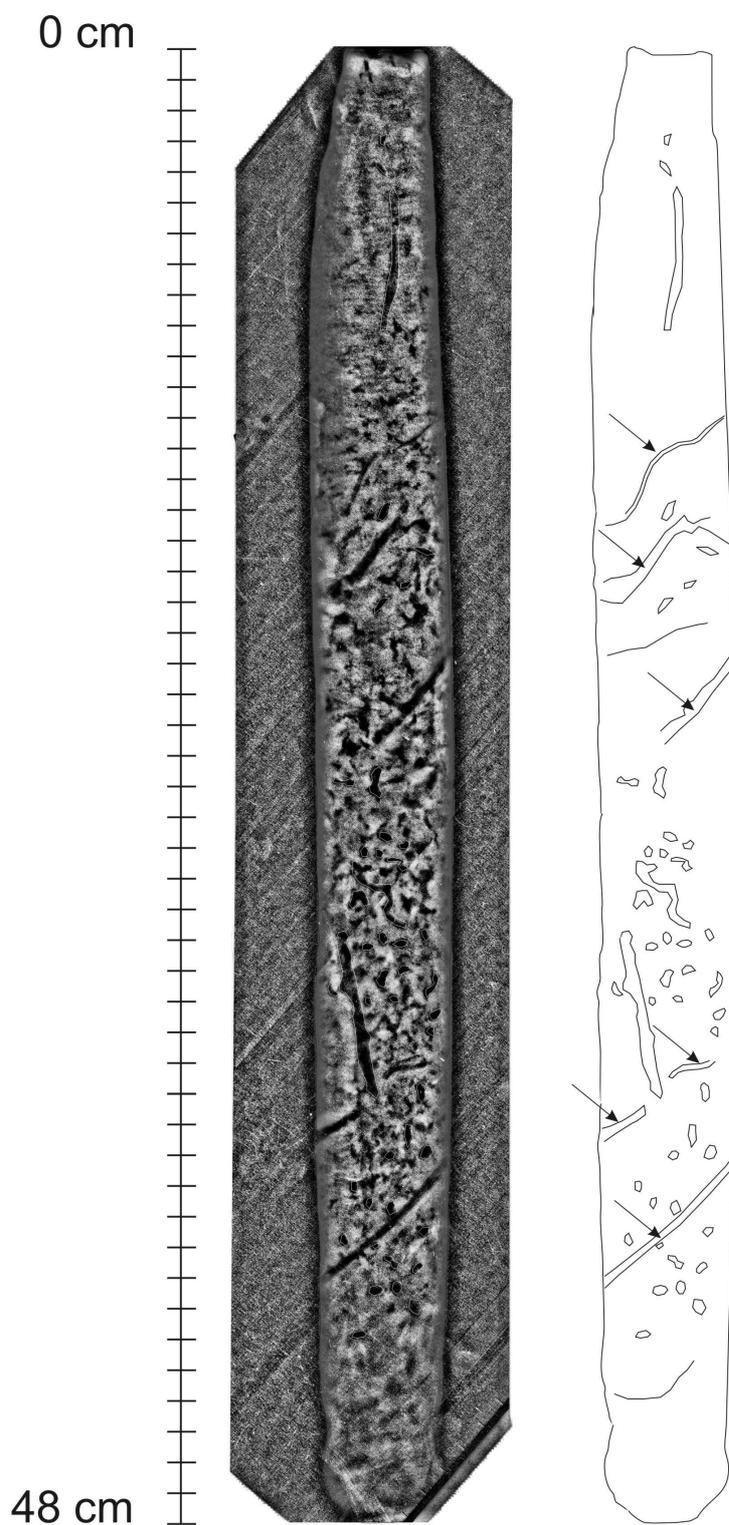


Figura 20 – Estratificação cruzada longitudinal da fácies LAL (J) no testemunho IJU, observa-se ainda feições de bioturbação; radiografia de raios-X.

#### **5.1.4 Lama Arenosa com Laminação Ondulada (LAo)**

Nesta fácies, lâminas onduladas compostas de silte arenoso de coloração cinza a cinza claro são feições marcantes. Estas lâminas apresentam-se com espessura centimétrica (até 1 cm), definido um acamamento ondulado (Figura 21).

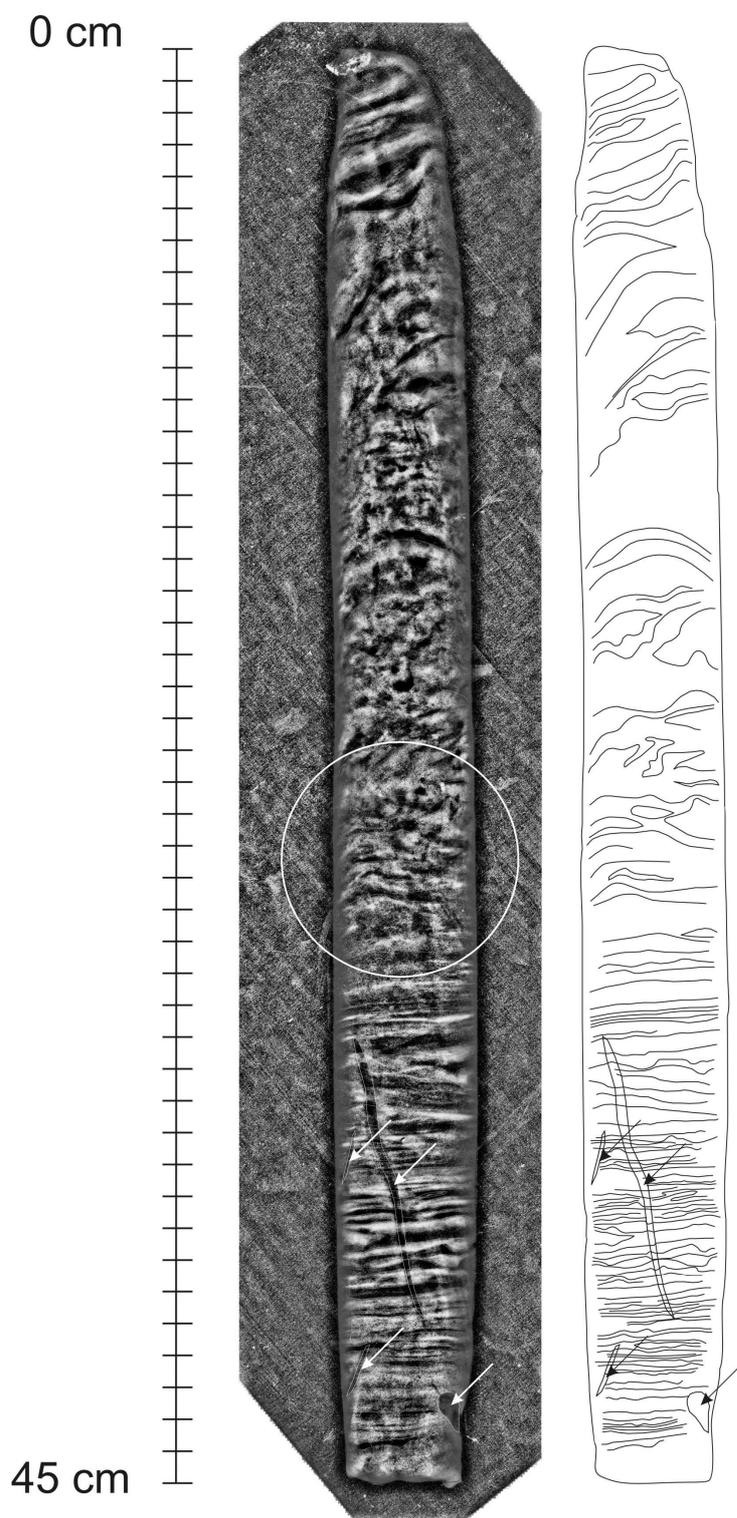


Figura 21 – Fácies LAo no testemunho IMI, observa-se a laminação ondulada ressaltada pela variação da coloração das lâminas destacado pelos raios-X.

## 5.2 GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS

Os sedimentos superficiais de fundo coletados nas proximidades da margem da ilha das Onças, Jararaquinha, Mirim, Jutuba e próximo do canal Val de Cans predomina a textura silte arenoso (Figura 22 e 23), devido à quebra de fluxo de energia das correntes ao encontra as ilhas como obstáculos, com exceção do ponto adjacente a ilha Jararaquinha que predominou a textura areia, isso pelo fato das condições hidrodinâmica serem fortes, tal como no Canal da ilhas das Onças que prevaleceu areia siltica, pois as forças das correntes são de caráter erosivo. Os sedimentos não discriminam a composição granulométrica de lâminas individuais misturadas pela técnica de amostragem (Tabela 2).

Os dados granulométricos dos sedimentos foram similares aos dados obtidos por Pinheiro (1987), realizado também na baía de Guajará, os quais mostraram em algumas amostras de sedimentos, concentrações de argila, silte e areia aproximadamente iguais, nas margens menos inclinadas, fora do trajeto principal das correntes, como é o caso das margens mais protegidas e em sedimentos essencialmente arenosos (+ 75% areia), encontrados nos diversos bancos e partes dos principais canais, onde predominam condições hidrodinâmica fortes.

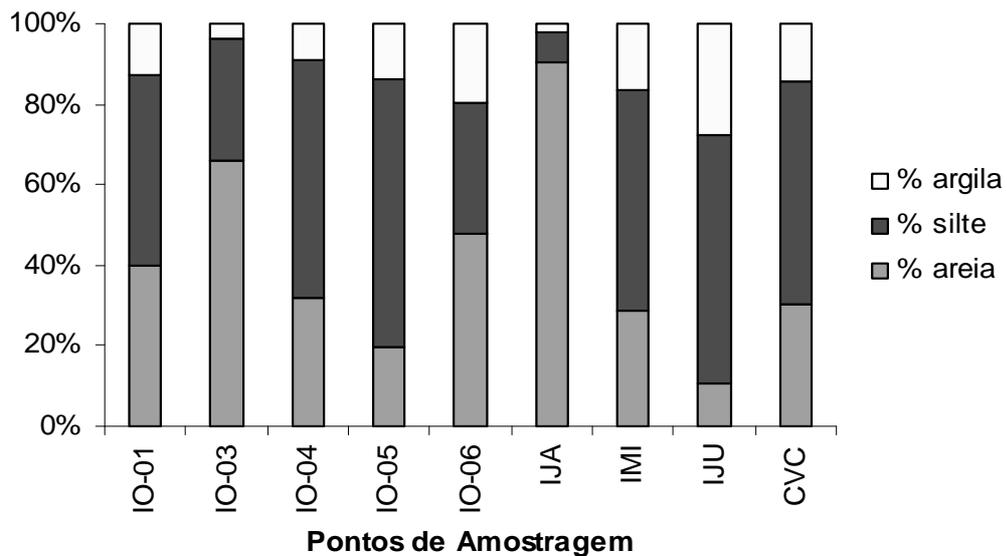


Figura 22 – Distribuição granulométrica nos sedimentos superficiais de fundo do estuário Guajará.

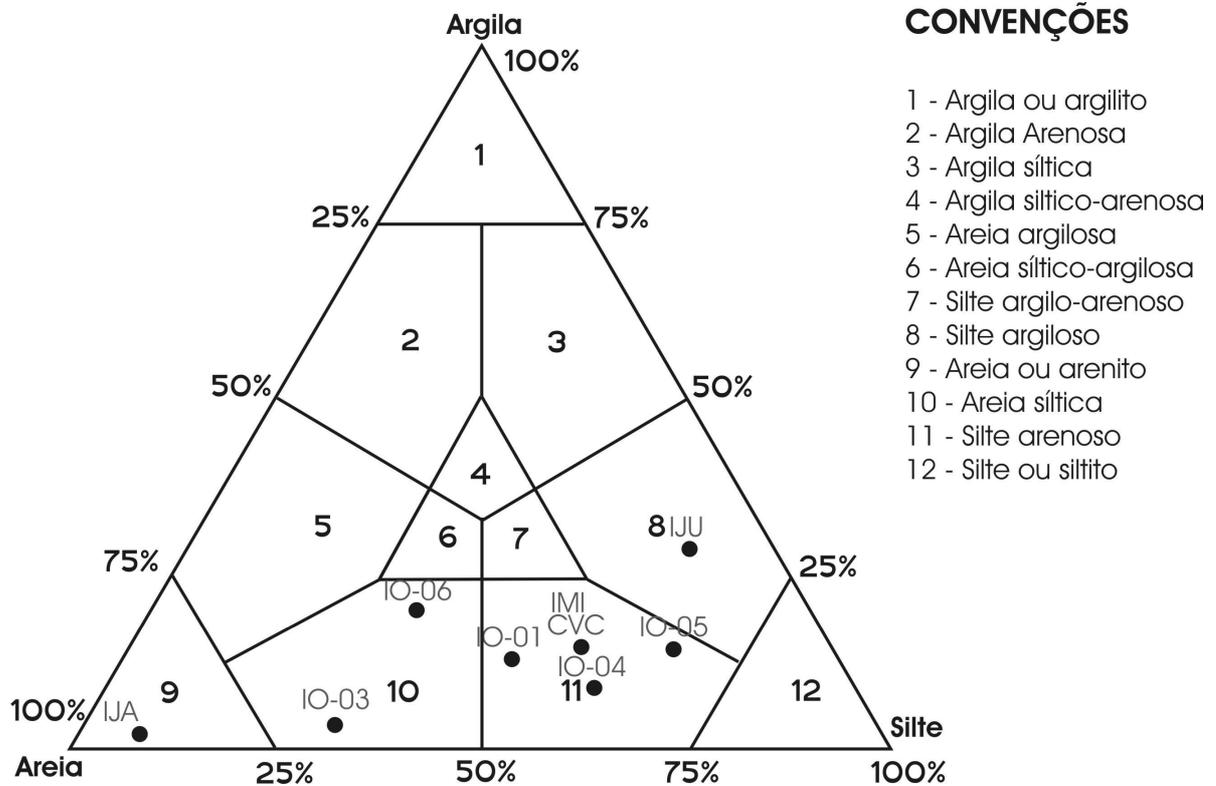


Figura 23 – Composição granulométrica das amostras de sedimentos de fundo do estuário de Guajará, no diagrama argila, silte e areia.

Tabela 2 – Percentagem de areia, silte e argila, nos sedimentos superficiais de fundo.

Amostras	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
IO-01	39,75	47,47	12,78
IO-03	65,92	30,55	3,53
IO-04	31,77	59,45	8,78
IO-05	19,59	66,62	13,78
IO-06	47,84	32,65	19,50
IJA	90,16	7,54	2,29
IMI	28,49	55,07	16,44
IJU	10,53	61,65	27,82
CVC	30,42	55,32	14,26

A análise granulométrica das amostras de sedimento demonstra que as regiões mais propícias ao acúmulo de metais pesados são aquelas localizadas nas partes mais

internas desse estuário, pois são regiões mais protegidas ao qual favorecem o acúmulo de sedimentos finos (silte+argila). De acordo com Solomons & Förstner (1984), os sedimentos finos têm mais afinidade com os metais do que à fração areia, devido à tendência da composição argilosa em adsorver metais, pois às argilas apresentam uma maior área superficial, propiciando os fenômenos de adsorção, ao contrário da fração arenosa ao quais os metais tendem a ser lixiviados através da percolação de fluidos ou de outros fatores produzidos pelo intemperismo atuante.

### 5.3 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

#### 5.3.1 Minerais argilosos

Os minerais argilosos são os principais constituintes minerais dos argilitos e estão misturados em varias proporções com outros minerais, tais como quartzo, feldspatos, mica, calcita, hematita, entre outros (GOMES, 1988).

Os argilominerais são constituídos por grupos tetraédricos e octaédricos são compostos por átomos ou íons oxigênio e por íons hidroxila, que estão ao redor de pequenos cátions, principalmente  $\text{Si}^{4+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , ocasionalmente  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$ , nos grupos tetraédricos e  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ , ocasionalmente  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Li}^{+}$ , nos grupos octaédricos, geralmente com certo grau de substituição isomórfica. Essas substituições isomórficas são responsáveis pelo excesso de cargas elétricas negativas na superfície das plaquetas. Todas as posições da camada octaédrica podem ser preenchidas (formas trioctaédricas) ou somente dois terços delas podem estar preenchidos (formas dioctaédricas) (SANTOS, 1989).

Os argilominerais são formados em ambientes de baixa pressão e temperatura, sendo a origem geralmente relacionada ao intemperismo, seguido de erosão, transporte (principalmente fluvial) e sedimentação. O tipo de argilomineral depende, basicamente, do tipo de cátion presente no sistema. Assim, a caulinita tende a não se formar em presença de alcalinos e alcalino-terrosos. A montmorilonita e a esmectita são formadas na presença de magnésio e metais alcalinos e a illita, a partir de soluções potássicas. Em vista disso, produtos de alteração distintos podem resultar de uma mesma rocha

mãe devido à variação de fatores como clima, tempo, topografia e vegetação (LEMES et al., 2003).

O tipo de solo (sedimento) também pode influenciar na mobilização dos metais. Em solos contendo argilominerais com diferentes capacidades de troca iônica e MO, a capacidade de troca aumenta, na ordem caulinita < ilita < esmectita < montmorilonita. Esse aumento está relacionado à redução do tamanho da partícula e, conseqüentemente, ao aumento da área superficial. Segundo Gomes (1988), os intervalos gerais da capacidade de troca catiônica (CTC) de aluminossilicatos são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Capacidade de troca catiônica (CTC) de aluminossilicatos determinada pelo método direto de saturação com cátion amônio.

<b>Argila</b>	<b>CTC (meq/100g da argila)</b>
Caulinita	3 - 15
Haloisita 2H <sub>2</sub> O	5 - 10
Haloisita 4H <sub>2</sub> O	10 - 40
Ilita	10 - 40
Clorita	10 - 40
Sepiolita-atapulgita	20 - 35
Esmectita	80 - 150
Montmorilonita	80 - 200
Vermiculita	100 - 150

Fonte: Gomes (1988).

Na área de estudo, as amostras coletadas apresentaram semelhanças entre si, mostrando a mesma natureza mineralógica, apontando como espécies predominantes os minerais caulinita, ilita e esmectita. O difratograma da amostra CVC (Figura 24) ilustra os resultados obtidos através de amostras orientadas (normais), saturadas em etileno-glicol e aquecidas (550 °C por 1 hora). A baixa "cristalinidade" da esmectita, entretanto, sugere a presença de interestratificado irregular ilita/esmectita (MOORE; REYNOLDS JR., 1997).

A presença de "esmectita" nos sedimentos argilosos do estuário sugere origem de área-fonte com clima semi-árido ou rochas esmectíticas mais antigas erodidas. Gibbs (1973) deduz a esmectita encontrada na desembocadura do Amazonas como

proveniente da cordilheira Andina. Bemerguy (1981) levanta a possibilidade de que a esmectita encontrada em sedimentos argilosos de paleocanais da Ilha do Marajó seja proveniente de sedimentos terciários de áreas baixas do Alto Amazonas, assim como da Bacia Sedimentar do Parnaíba onde se encontram rochas com estes argilomineral (FARIA JR.; TRUCKENBRODT, 1980). No caso dos sedimentos do Estuário Guajará, é possível aceitar como válidas as considerações referidas acima, visto que o mesmo recebe águas tanto do sistema amazônico como do rio Tocantins que drena parte da Bacia do Parnaíba. É possível, também, que parte da esmectita encontrada no estuário seja proveniente da Plataforma Continental trazida pelas fortes correntes de enchentes que adentram no estuário com as marés.

Segundo Pinheiro (1987), a caulinita e ilita do estuário podem ser provenientes de solos e sedimentos que bordejam o estuário e os canais e os principais rios que drenam a área tais como Guamá e Acará.

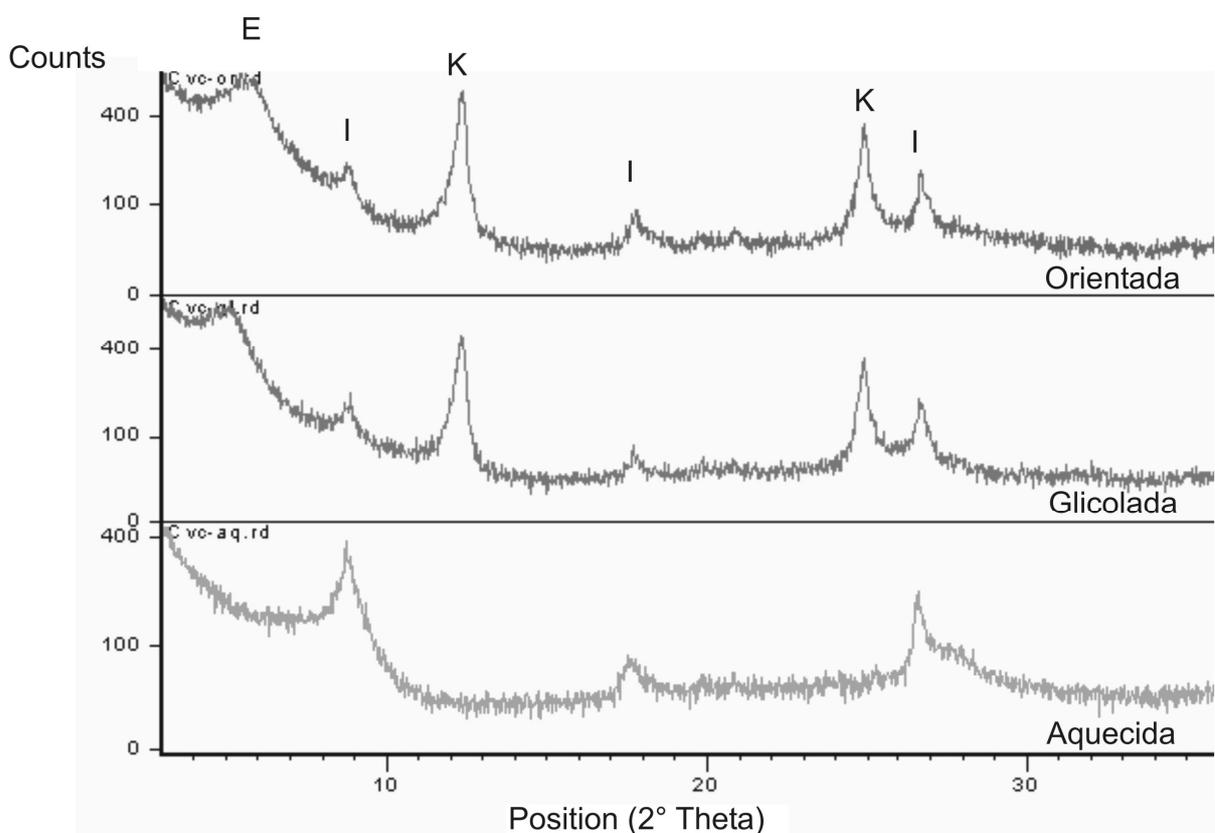


Figura 24 – Difratoograma de raios-X representativo das amostras estudadas (amostra CVC)

### 5.3.2 Minerais pesados

Minerais pesados não são apenas indicadores sensíveis de proveniência, mas contribuem também para compreensão da composição química de sedimentos.

Os minerais pesados do estuário do Guajará foram estudados em 20 amostras superficiais de fundo. Foram identificados oito minerais com a frequência média: turmalina ( $40 \pm 12,8\%$ ), cianita ( $25,8 \pm 5,1\%$ ), estaurolita ( $14,6 \pm 9,9\%$ ), zircão ( $12,4 \pm 5,4\%$ ), rutilo ( $6 \pm 3,8\%$ ), sillimanita ( $5,5 \pm 4,8\%$ ), epidoto ( $2,9 \pm 2,7\%$ ) e anfibólio ( $2,7 \pm 2,4\%$ ) como mostram as figuras 25 e 26, e descritos a seguir.

**Turmalina:** É um mineral ultra-estável muito abundante na baía de Guajará, sendo um borossilicato de cálcio-sódio-ferro-magnésio-lítio, ocorrendo como grãos sub-arredondados a arredondados e prismáticos. Apresenta-se em diversos tipos de cores, variando de marrom (dravita) a verde (schorlita).

**Cianita:** É um silicato de alumínio, com duas clivagens quase perpendiculares entre si. Ocorre como grãos irregulares angulosos a subarredondados e prismáticos. É um mineral comum na baía de Guajará.

**Estaurolita:** É um silicato de ferro-alumínio, monoclinico, com grãos irregulares, subarredondados a arredondados e grãos prismáticos. Ocorrem também grãos com feições de corrosão em forma de “cristas de galo”. As cores do mineral variam de vermelho amarronzado até vermelho amarelado. É um mineral comum na baía de Guajará.

**Zircão:** É um silicato de zircônio, incolor, mostrando; hábito prismático, piramidal e grãos arredondados, ambos com inclusões. O zircão é bastante abundante na baía de Guajará.

**Rutilo:** É um mineral de óxido de titânio que apresentam cores avermelhada, marrom até amarela, vários grãos apresentam germinação.

**Sillimanita:** Mineral de cor branco-acizentado; hábito prismático, estriado ou fibroso.

**Epidoto:** Silicato de cálcio-alumínio-ferro, monoclinico, com cristais prismáticos, ricos em faces; brilho vítreo. Cor amarelada a verde-escura característica, traço cinzento, clivagem perfeita em {001}; com dureza igual 6 – 7 e densidade de 3,35 - 3,45.

Hornblenda: É um silicato de cálcio-alumínio-ferro-magnésio. Pertence ao grupo dos anfibólios, silicato complexo de cálcio, magnésio, ferro e alumínio; monoclinico, hábito granular, brilho vítreo, cor preta a esverdeada, com duas direções perfeitas e oblíquas de clivagem. É um mineral de dureza entre 5 – 6 e densidade relativa de 2,9 – 3,5.

Os minerais ultraestáveis turmalina, zircão e rutilo bem como estaurolita e cianita, freqüentes também nos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras, apontam proveniência desses sedimentos que constituem as falésias sujeitas a erosão, localizados nas margens do estuário.

Já anfibólio e epidoto sugerem origem direta de rochas metamórficas/ígneas representando minerais do primeiro ciclo.

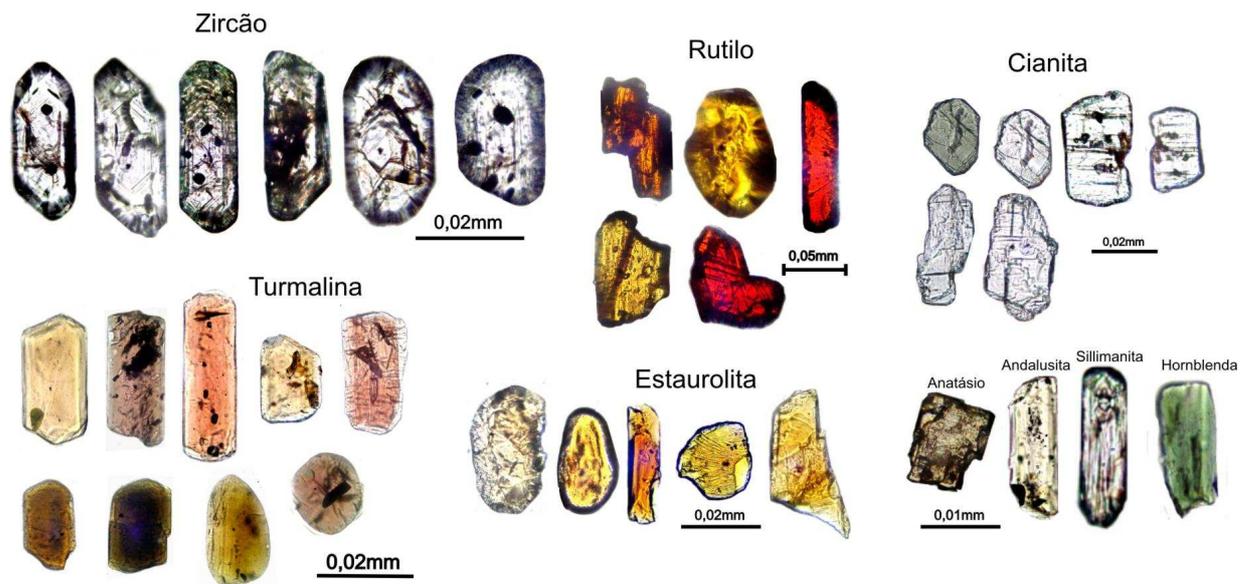


Figura 25 – Assembléia de minerais pesados de sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará.

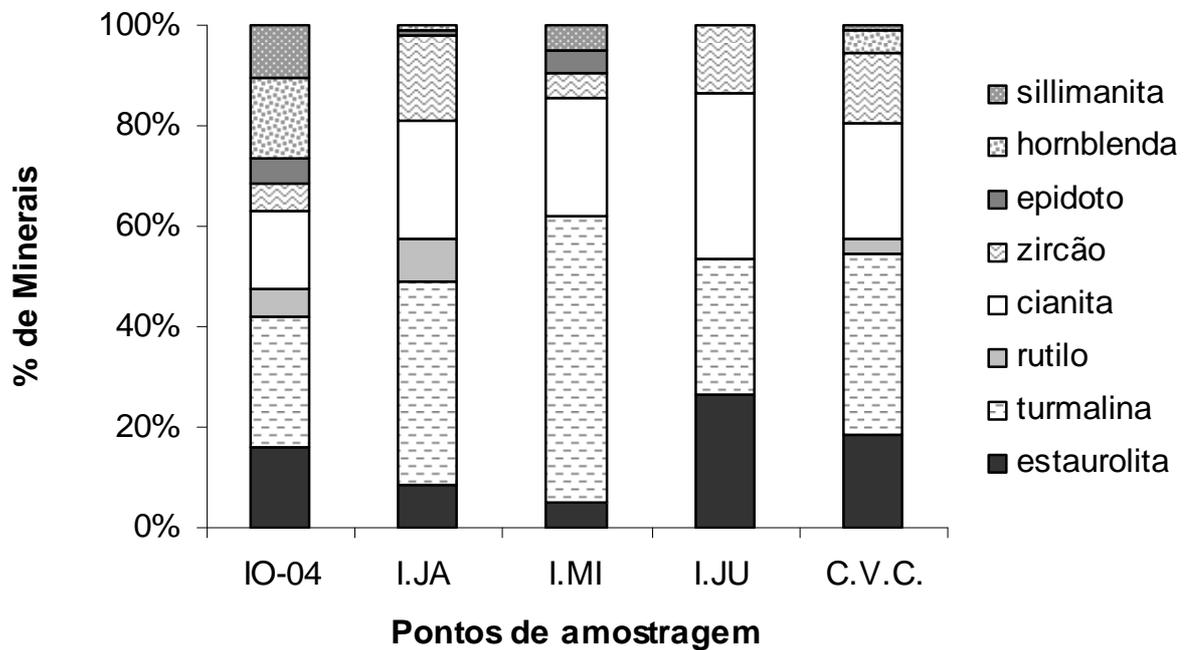


Figura 26 – Percentagem de minerais pesados de sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará (fração 62-125µm).

#### 5.4 MATÉRIA ORGÂNICA

A matéria orgânica é um dos componentes dos sedimentos e desempenha um importante papel nos processos físicos, químicos e biológicos (SCHWENDENMAN, 1998).

Ela tem uma comprovada capacidade de adsorção para metais pesados. Esta afinidade pode tanto concentrar metais no ambiente, quanto pode ser empregada na remoção de metais em ambientes impactados. Uma importante propriedade física da matéria orgânica está associada à textura fina dos sedimentos, contendo geralmente uma porcentagem natural de material húmico derivado de transformações biológicas de plantas e detritos de animais. O material húmico pode estar presente como uma discreta partícula ou como uma camada em partículas de argila, pois o material húmico aumenta a afinidade do sedimento com metais (FÖRSTNER; WITTMANN, 1983)

De acordo com o tempo de residência da água do rio pode ocorrer uma maior ou menor sedimentação dos materiais orgânicos que chegam através de entradas pontuais ou difusas. Além do maior carreamento de material alóctone no período chuvoso, deve-se também salientar a possibilidade de remoção e suspensão dos materiais orgânicos

nos sedimentos, devido ao aumento do fluxo de água ocasionado pelas chuvas (TUNDISI et al., 1999).

Na baía de Guajará, a distribuição da matéria orgânica nos sedimentos superficiais de fundo (Figura 27) mostrou os maiores valores nos pontos IO-01 e IO-06, de 2,77 e 2,76%, respectivamente, e o menor valor de 0,45% no ponto IJA. A média encontrada para matéria orgânica é  $1,90 \pm 0,89\%$  (Figura 28). Esses valores foram similares aos valores encontrados por Carvalho (2002) para sedimentos superficiais de fundo na baía de Guajará, na orla de Belém-PA, próxima a Icoaraci, em que o valor médio de matéria orgânica foi de  $2,6 \pm 0,67\%$ .

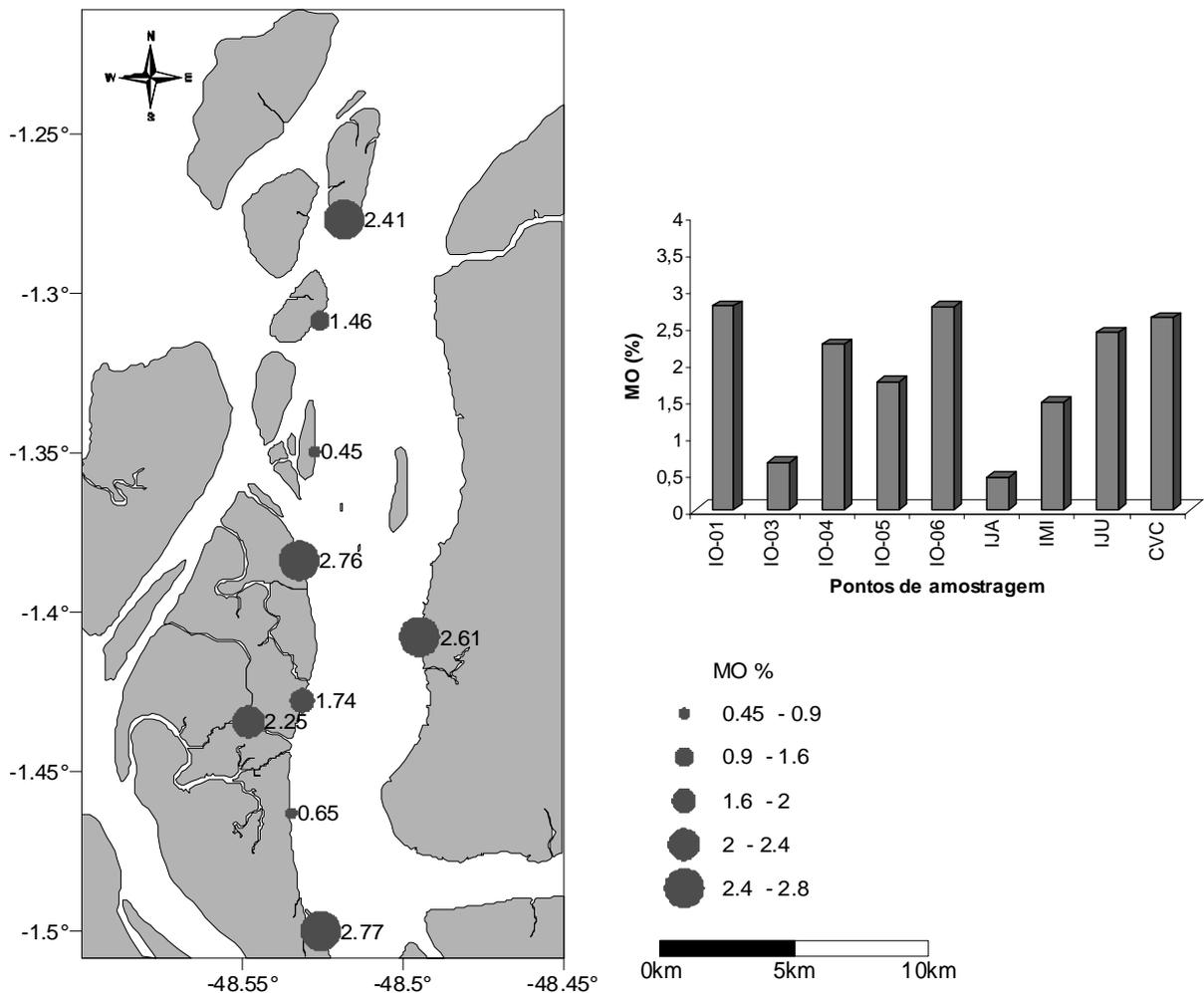


Figura 27 – Distribuição espacial da percentagem de matéria orgânica (MO) na baía de Guajará, nos sedimentos de fundo.

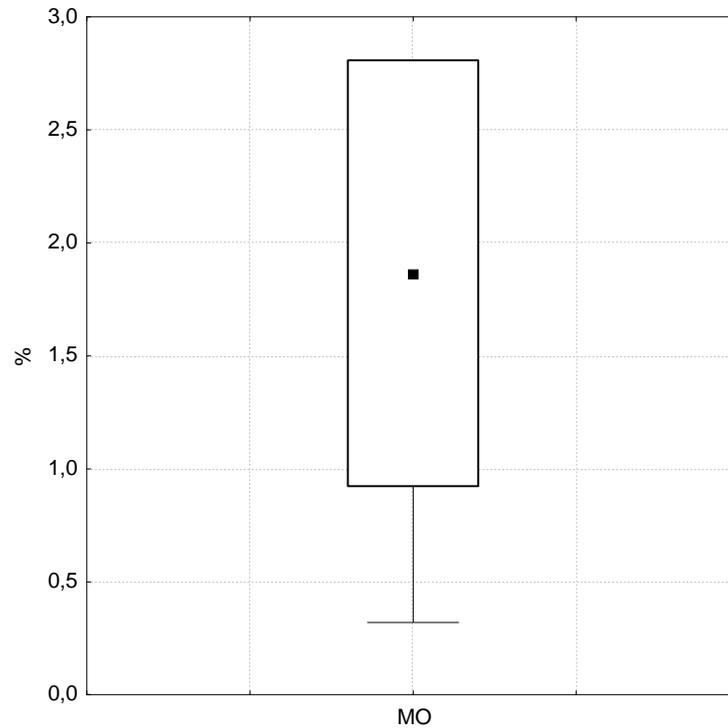


Figura 28 – Percentagem de matéria orgânica.

## 5.5 METAIS PESADOS

### 5.5.1 Cobre

O cobre ocupa o 26º lugar em abundância na crosta terrestre. Na natureza, o Cu ocorre em dois estados de oxidação (I e II). No estado de oxidação II, o Cu é isomórfico com o Zn, Mg e Fe, formando minerais como malaquita  $[\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2]$ , azurita  $[\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2]$ , calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), e bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ). De todos os minerais de Cu, calcopirita é o minério primário mais freqüente (MALAVOLTA, 1994).

O cobre é amplamente utilizado como fungicida na agricultura ou como pigmento para a fabricação de tintas, estando sempre presente em efluentes industriais e domésticos. Devido a suas propriedades como maleabilidade, ductilidade, condutividade e resistência à corrosão, o Cu é um metal universalmente utilizado na indústria elétrica, de construção, encanamento e automotiva. Para as indústrias elétricas esse metal é de grande utilização para transmissão energética e utilização em equipamentos elétricos e eletrônicos, que consomem mais de 50% de toda a produção

desse metal, assim sendo uma das maiores fontes poluidoras de origem industrial (MOORE; RAMAMMORTHY, 1984).

Em ambientes aquáticos, o cobre pode existir em três formas: particulada, coloidal e solúvel. A fase dissolvida pode conter tanto o cobre livre como o cobre complexado com ligantes orgânicos e inorgânicos (MOORE; RAMAMMORTHY, 1984).

Nos solos e sedimentos, a maioria do Cu também ocorre associado a partículas, como um constituinte da fase mineral, ou adsorvido às superfícies dos óxidos ou à matéria orgânica; A formação de sulfeto de Cu pode ser particularmente importante em sedimentos anóxicos (DI TORO et al., 1990).

Em sedimentos estuarinos, o Cu liga-se primariamente à matéria orgânica, a menos que o sedimento seja pobre neste tipo de material. A afinidade de ligação, segundo Davies-Colley, Nelson e Williamson (1984), varia por um fator superior a 10.000 na seguinte ordem: hidratos de óxido de Mn > matéria orgânica > óxidos de Fe hidratados > aluminossilicatos > argila. Os coeficientes de partição, em pH 7, para as fases de maior força de ligação (óxido de Mn, óxido de Fe e material estuarino húmico) são de 6.300, 1.300 e 2.500, respectivamente. A afinidade aumenta com o pH, não variando apreciavelmente com a redução da salinidade. Considerando as características dos sedimentos estuarinos, os resultados indicam que o Cu se liga predominantemente à matéria orgânica (material húmico) e óxidos de Fe, uma vez que as concentrações de óxidos de Mn são baixas nesses sedimentos, contribuindo com menos de 1%.

Nas amostras de sedimento de fundo da baía de Guajará, o Cu total analisado apresenta valor médio de  $18 \pm 2,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo o valor mínimo de  $12 \text{ mg.kg}^{-1}$  no ponto IO-03 e o valor máximo de  $21 \text{ mg.kg}^{-1}$  no ponto IJA (Figuras 29 e 30).

Nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI, os valores médios de Cu total são  $13,6 \pm 1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $20,1 \pm 1,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $13,5 \pm 4,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente (Figuras 31 e 32), com maiores valores de  $15,7 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 20 cm no testemunho IO-01;  $22,7 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 20 cm no testemunho IO-06 e  $18,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 20 cm e 33 cm no testemunho IMI.

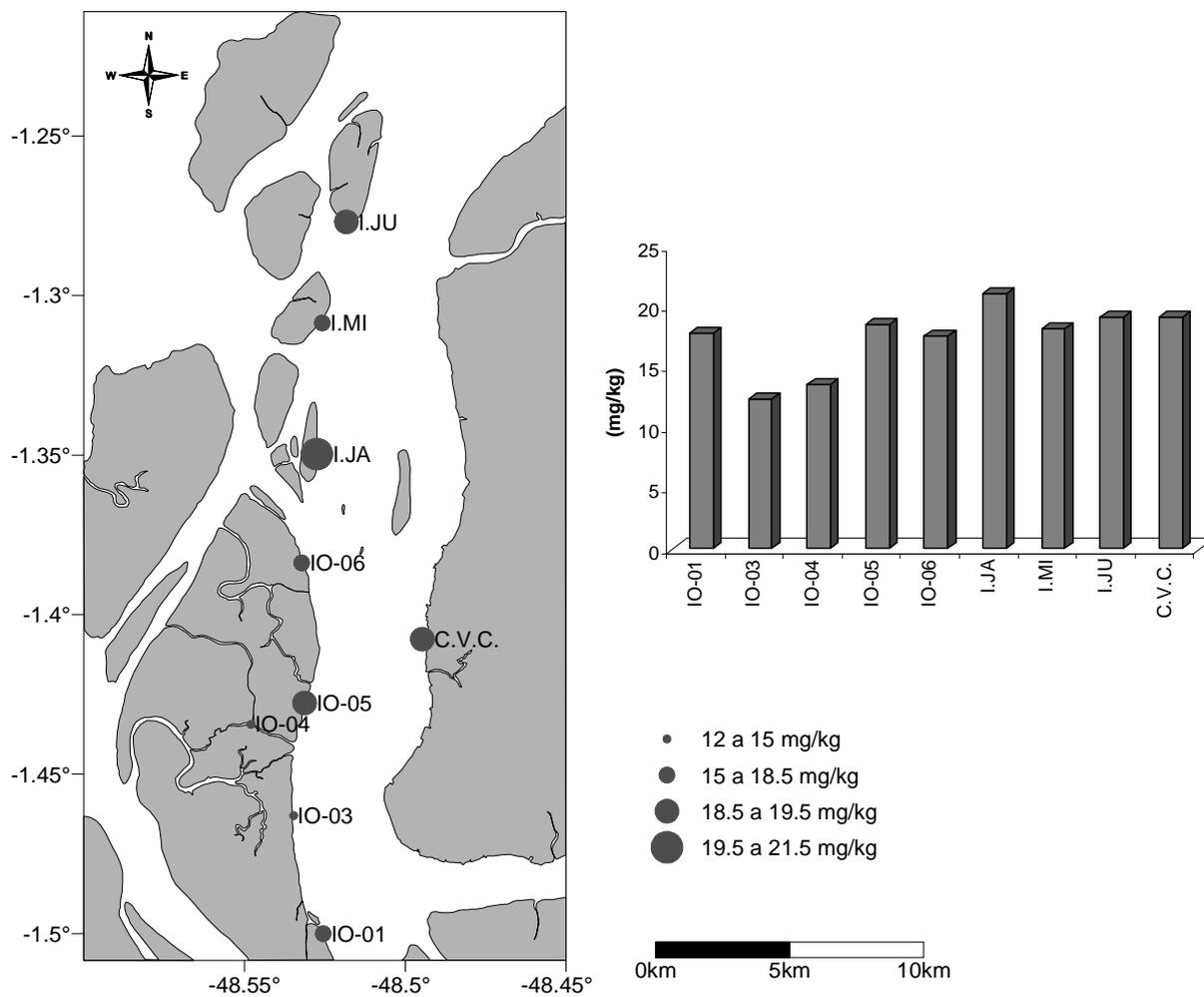


Figura 29 – Distribuição da concentração de Cu total nos sedimentos superficiais da baa de Guajará.

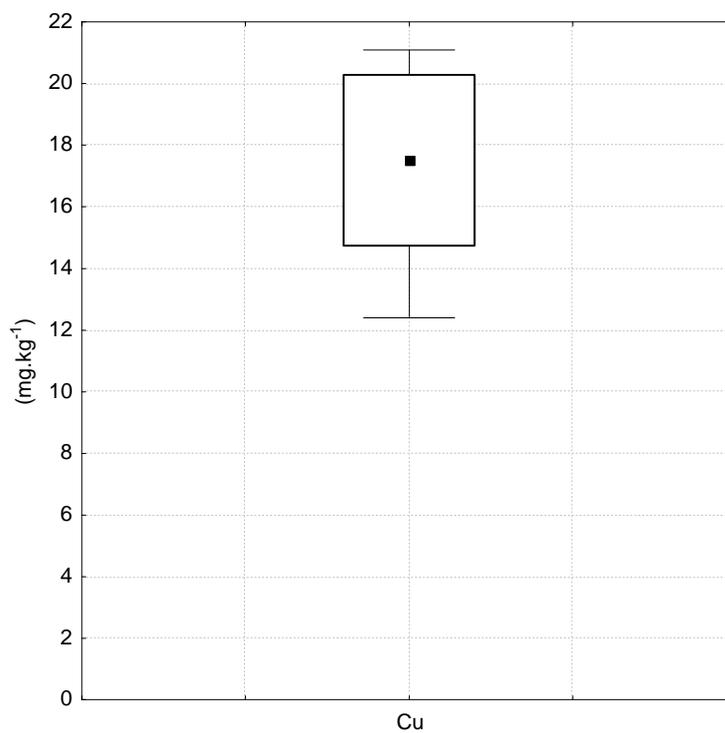


Figura 30 - Variação da concentração de Cu total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará.

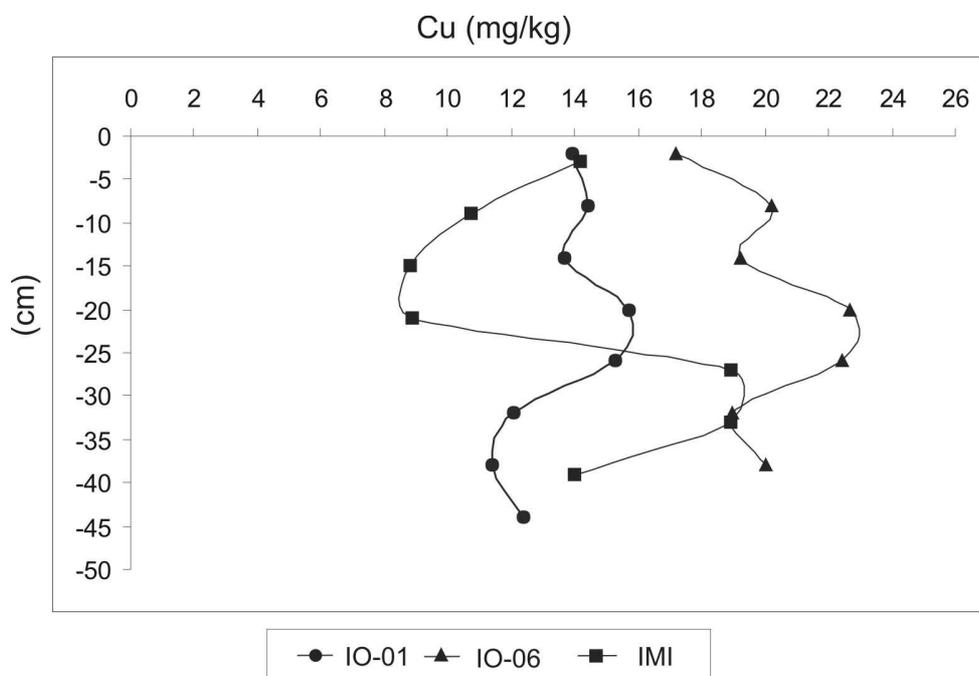


Figura 31 – Distribuição das concentrações de Cu total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI.

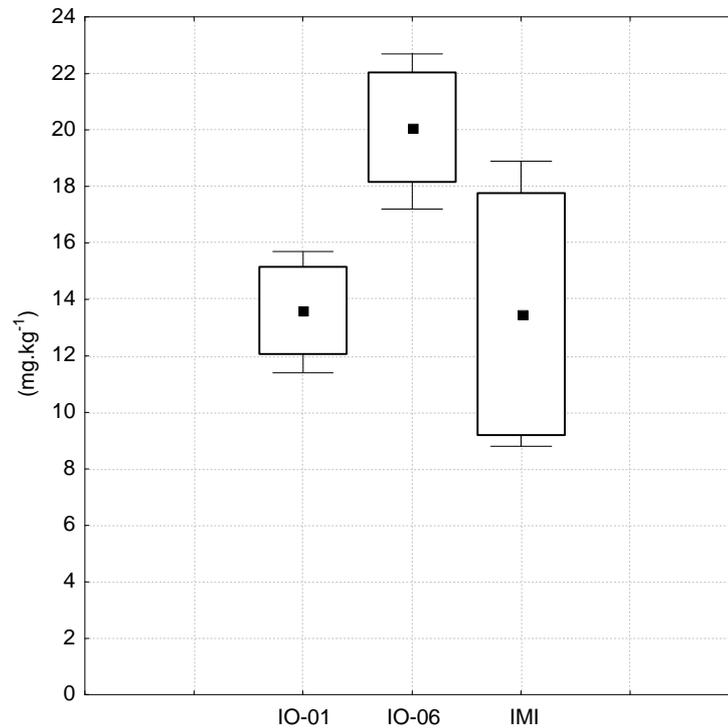


Figura 32 - Variação das concentrações de Cu total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI do baía de Guajará.

Comparando-se os valores das concentrações de Cu total dos sedimentos de fundo ( $18 \pm 2,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e dos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI; ( $13,6 \pm 1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ( $20,1 \pm 1,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e ( $13,5 \pm 4,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), respectivamente, com valores obtidos em outras partes da baía de Guajará, observa-se que os teores citados acima são similares aos valores encontrados na orla de Belém-PA ( $16,25 \pm 1,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Pereira (2001) e na margem próxima a Icoaraci ( $16 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Carvalho (2002).

Os valores médios de Cu obtidos por Nascimento (2003) para sedimentos fluviais das regiões do Alto Tietê ( $18 \pm 7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), e para sedimentos das represas de Ponta Nova ( $17 \pm 2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Ribeirão do Campo ( $20 \pm 4 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), localizadas em área de proteção ambiental no estado de São Paulo, são comparáveis aos da baía de Guajará.

Porém, os valores de Cu da baía de Guajará são inferiores ao valor médio de referência ( $50 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) encontrado em amostras de sedimentos da época pré-industrial em lagos da Europa, USA e Canadá por Hakanson (1980), ao valor médio de *background* ( $30 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) encontrado para sedimentos do mar Kara no Oceano Ártico (SIEGEL; KRAVITZ, 2001), aos valores médios para sedimentos fluviais das regiões do

Médio Tietê ( $61 \pm 13 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Médio-Baixo Tietê ( $135 \pm 43 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Baixo Tietê ( $33 \pm 8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) no estado de São Paulo (NASCIMENTO op. cit.), assim como também ao valor médio do *background* mundial ( $45 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para folhelhos e argilas (TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961). Além disso, os teores de Cu da baía de Guajará estão abaixo dos índices PEL ( $197 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e TEL ( $35,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e sugerem nenhuma influência antropogênica.

### 5.5.2 Chumbo

O chumbo, um elemento do grupo IV a, ocorre na crosta terrestre em uma concentração média aproximada de  $16 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo o mineral mais importante a galena (PbS) (OHLWEILER, 1972).

A concentração deste elemento em rochas magmáticas ácidas e em sedimentos argilosos varia de 10 a  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$ , ao passo que nas rochas ultramáficas e sedimentos calcários varia de 0,1 a  $10 \text{ mg.kg}^{-1}$ . As fontes naturais de Pb (erosão e emissão vulcânica) produzem em torno de 19.000t/ano e as antropogênicas (mineração e fundição) são estimadas em 400.000t/ano (MALAVOLTA, 1994).

O chumbo é conhecido pela humanidade há mais de 5000 anos, e sua toxicidade já foi relatada por estudiosos gregos e árabes. A intoxicação por Pb ocorria primeiramente entre a nobreza romana em decorrência do uso de vasilhames de chumbo para o tempero dos alimentos e armazenagem dos vinhos. Goya e outros pintores sofreram de problemas de saúde devido à inalação e ingestão acidental do chumbo presente nas tintas (HAMMOND et al., 1986). O chumbo, ingerido em quantidades acima do limite considerado "normal", pode ser muito prejudicial à saúde e até mesmo letal, pelo fato de ser acumulativo. Do ponto de vista de toxicidade crônica ao homem, a administração cotidiana de 1 mg Pb é suficiente para determinar a intoxicação por chumbo (FUNDAÇÃO DE AMPARO À TECNOLOGIA DO MEIO AMBIENTE - FATMA, 1981).

Uma vez absorvido, o chumbo passa à corrente sangüínea e mais de 95% fica ligado aos eritrócitos, causando aumento da fragilidade e redução do tempo de vida das células (SILVA, 2002).

O chumbo possui grande afinidade por ossos, bioacumulando-se com o tempo de exposição. A quantidade máxima que o homem pode suportar em seu organismo normalmente é estimada em 165 mg, todavia, já foi detectada, em trabalhadores sujeitos à exposição contínua, a quantidade de 566 mg. A meia-vida desse metal, no organismo humano, varia de dias a anos e sua excreção é feita principalmente por via urinária (SILVA, 2002).

A intoxicação nos adultos manifesta-se por anemia, irritação excessiva, constipação, cegueira noturna, cólicas e excesso de urina. Os sintomas em crianças incluem irritabilidade, perda de apetite, vômitos ocasionais, dor abdominal intermitente e constipação. Níveis maiores que 0,8 mg/L no sangue foram considerados como sendo uma evidência de intoxicação. Contudo, investigações feitas em trabalhadores mostraram que alguns possuíam concentrações acima de 1,5mg/L no sangue (SILVA, 2002). Para a Organização Mundial de Saúde (OMS) a dose semanal máxima tolerada por um adulto é de 3 mg.

O chumbo é usado na fabricação de baterias, munição, como antidetonante na gasolina, na preservação de madeira, em tintas, secantes para tintas, brinquedos, canos, indústria petrolífera, em óleos lubrificantes, entre outros (MAHAN, 1995).

No ambiente aquático (lagos, rios e oceanos), a deposição de Pb é proveniente da atmosfera ou do escoamento superficial do solo, oriundo de fontes naturais ou antropogênicas. Dentre as fontes antropogênicas mais importantes, destacam-se as operações de produção e processamento do metal, além das indústrias de ferro e aço. O escoamento superficial urbano e a deposição atmosférica são fontes indiretas significativas do chumbo encontrado em ambientes aquáticos. Neste ambiente, a concentração de Pb dissolvido é baixa, porque o Pb tende a formar compostos como hidróxidos, carbonatos, sulfatos, e fosfatos que apresentam baixa solubilidade (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR, 1999).

Segundo Malavolta (1994), os principais parâmetros que influenciam a disponibilidade do Pb no ambiente são: a textura do sedimento - maior teor de argila, maior capacidade de troca catiônica; o pH – pH baixo influencia nos mecanismos de solubilidade e disponibilidade; e a matéria orgânica que é eficaz na fixação do Pb.

Na baía de Guajará, o Pb total nas amostras coletadas com a draga apresentou valor médio de  $33,3\pm 4,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo o valor mínimo de  $28,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  e valor máximo de  $42,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  no ponto IJA (Figuras 33 e 34).

Nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI, os valores médios de Pb são  $19,3\pm 3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $22,8\pm 1,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $18,4\pm 3 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente (Figuras 35 e 36), com maiores valores  $25,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 8 cm no testemunho IO-01,  $24,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 26 cm no testemunho IO-06 e  $22 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 33 cm no testemunho IMI.

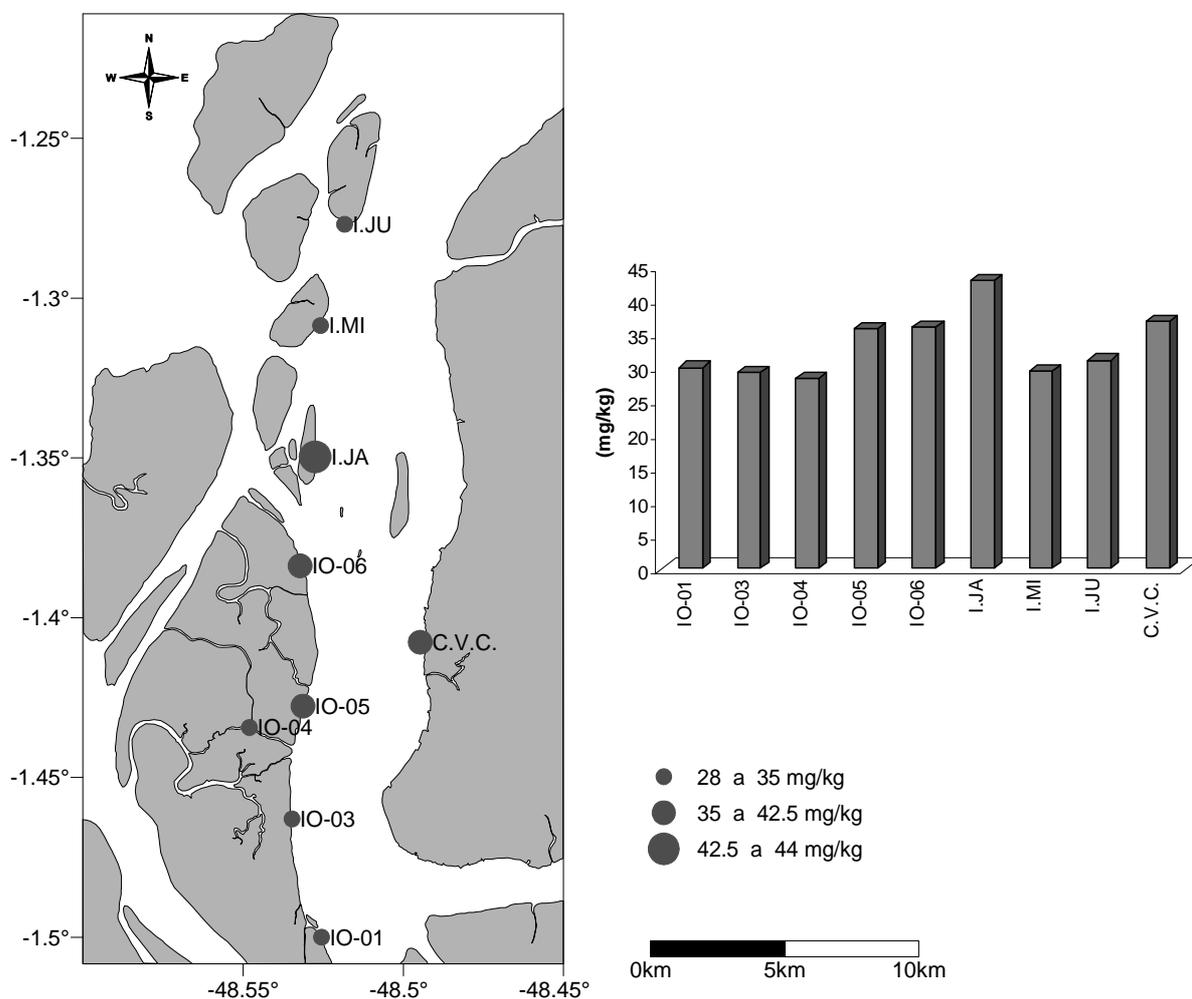


Figura 33 – Distribuiao da concentraao de Pb total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará.

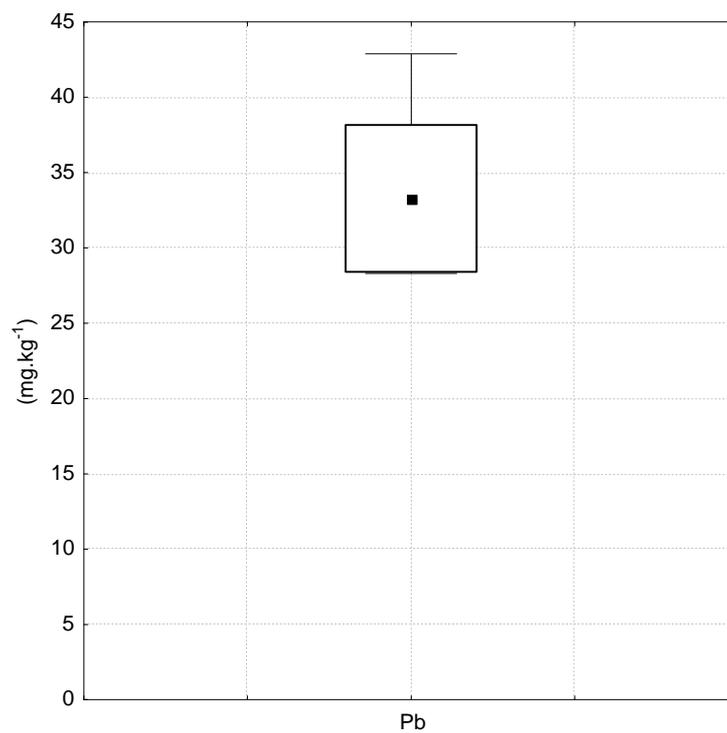


Figura 34 – Variação da concentração de Pb total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará.

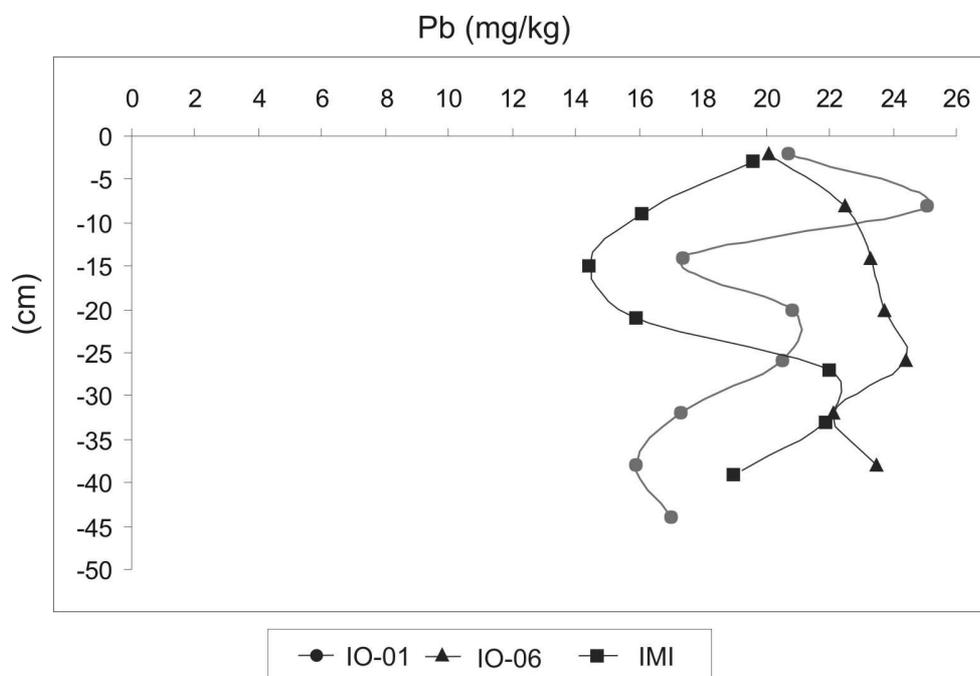


Figura 35 – Distribuição das concentrações de Pb total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI.

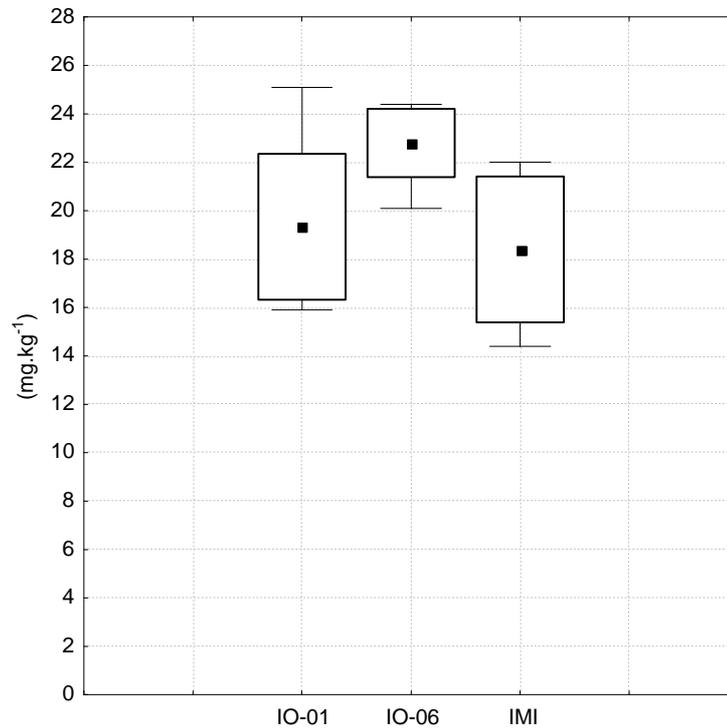


Figura 36 – Variação das concentrações de Pb total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará.

Comparando os valores das concentrações de Pb total dos sedimentos de fundo ( $33,3 \pm 4,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e dos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI; ( $19,3 \pm 3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ( $22,8 \pm 1,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e ( $18,4 \pm 3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), respectivamente, com valores obtidos em outras partes da baía de Guajará, observa-se que os teores citados acima são similares aos valores encontrados na orla de Belém-PA ( $38,3 \pm 5,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Pereira (2001), porém, mostram-se inferiores ao valor médio ( $59 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) próximo a Icoaraci (CARVALHO, 2002).

Os valores médios de Pb nos sedimentos da baía de Guajará são também inferiores aos valores de referência encontrados por Nascimento (2003) em sedimentos fluviais das regiões do Alto Tietê ( $61 \pm 9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Médio-Baixo Tietê ( $117 \pm 42 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Baixo Tietê ( $189 \pm 49 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) no estado de São Paulo, e ainda ao valor de referência ( $70 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) encontrado em amostras de sedimentos da época pré-industrial de lagos da Europa, USA e Canadá (HAKANSON, 1980), assim como aos valores médios das concentrações naturais obtidas para os sedimentos das represas de Ponta Nova ( $64 \pm 5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e de Ribeirão do Campo ( $58 \pm 6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) localizadas em área de proteção

ambiental no estado de São Paulo (NASCIMENTO, 2003). No entanto, na região do Médio Tietê o valor médio ( $44 \pm 14 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para sedimentos fluviais foi próximo aos teores de Pb na baía de Guajará (NASCIMENTO op. cit.).

Os teores de Pb em estudo mostram-se superiores ao valor médio de *background* ( $17 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) encontrado para sedimentos do mar Kara no Oceano Ártico (SIEGEL; KRAVITZ, 2001), ao valor médio ( $22 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) encontrado nos sedimentos da bacia do rio Ganges na Índia (SINGH, M; MÜLLER; SINGH, I, 2003), e ao valor médio do *background* mundial ( $20 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para folhelhos e argilas (TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961).

Ao comparar os valores de Pb da baía de Guajará (Anexo C) com os índices PEL ( $91,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e TEL ( $35 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) desse elemento, observa-se que os teores de Pb na baía estão abaixo do índice PEL, mas alguns valores ultrapassam o índice TEL, sugerindo influência antropogênica.

### 5.5.3 Zinco

O Zinco faz parte do Grupo II b e tem a habilidade de formar complexos com amônia, aminas e cianetos. O zinco de origem industrial, tanto urbano como agrícola, é encontrado usualmente na natureza na forma de sulfetos ou associado ao sulfeto de outros metais, principalmente Pb, Cd, Cu e Fe (RUSSEL, 1994).

O Zn ocorre nas águas superficiais como  $\text{Zn}^{2+}$  onde forma hidretos iônicos, carbonatos e complexos orgânicos (KADLEC; KNIGHT, 1996). Na forma dissolvida, o Zn pode ocorrer como íon livre (hidratado), como complexo dissolvido, ou como compostos com vários graus de estabilidade. O Zn em suspensão (insolúvel) pode ser dissolvido com mudanças nas condições da água (pH, Eh e especiação da solução) (ATSDR, 2003).

Em águas ricas em oxigênio, o Zn é transferido para os sedimentos através da adsorção a hidróxidos de Fe, óxidos de Mn, argilominerais e matéria orgânica. A eficiência desses materiais na remoção do Zn da água varia de acordo com pH, potencial redox (Eh), salinidade, concentração natural de complexos ligantes, capacidade de troca catiônica e a concentração do Zn. A precipitação de compostos de

Zn mostra-se importante somente sob condições redutoras em águas altamente poluídas. Geralmente, a baixos valores de pH, o Zn ficará na forma de íon livre. O íon livre ( $Zn^{2+}$ ) tende a ser adsorvido e transportado pelo material em suspensão em águas não poluídas. Em águas poluídas, nas quais as concentrações de Zn são elevadas, a remoção do Zn pela precipitação de hidróxidos é possível, especialmente quando o pH é maior que 8. Em ambientes anaeróbicos e na presença de íons sulfeto, há precipitação do sulfeto de Zn (Environmental Protection Agency - EPA, 1979).

O transporte do Zn no ambiente aquático é controlado por espécies aniônicas. Nas águas naturais, agentes complexantes, assim como ácidos húmicos, podem ligar-se ao Zn, e a estabilidade destes complexos é dependente do pH da água e da natureza do complexo. A dissociação do complexo pode determinar o total de íon Zn livre em solução. Os complexos de Zn com ácidos húmicos podem ser a 50% dissociados em pH 5.5 e a taxa de dissociação pode ser maior com uma diminuição no pH. Então, à medida que o pH da água diminui, a concentração de íons Zn aumenta na água na mesma proporção em que o Zn é liberado do sedimento (GUY; CHAKRABARTI, 1976).

Nos solos e sedimentos, em condições de pH igual a 7,7, o zinco se hidroliza e é facilmente adsorvido por argila, carbonatos ou óxidos. Em condições aeróbicas o  $Zn^{+2}$  é predominante para pH ácido e nas condições anaeróbicas forma ZnS entre pH 1 a 14 (QUINÁGLIA, 2001).

Na baía de Guajará, o Zn total nas amostras dragadas apresenta valor médio de  $73,7 \pm 15,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo o valor mínimo  $53 \text{ mg.kg}^{-1}$  e valor máximo  $94 \text{ mg.kg}^{-1}$  no ponto (IJA) (Figuras 37 e 38).

Nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI, os valores médios de Zn total são  $51,1 \pm 6,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $59,6 \pm 4,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $49 \pm 14,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente (Figuras 39 e 40), com valores maiores de  $59 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 20 cm no testemunho IO-01,  $65 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 20 cm no testemunho IO-06 e  $69 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 33 cm no testemunho IMI.

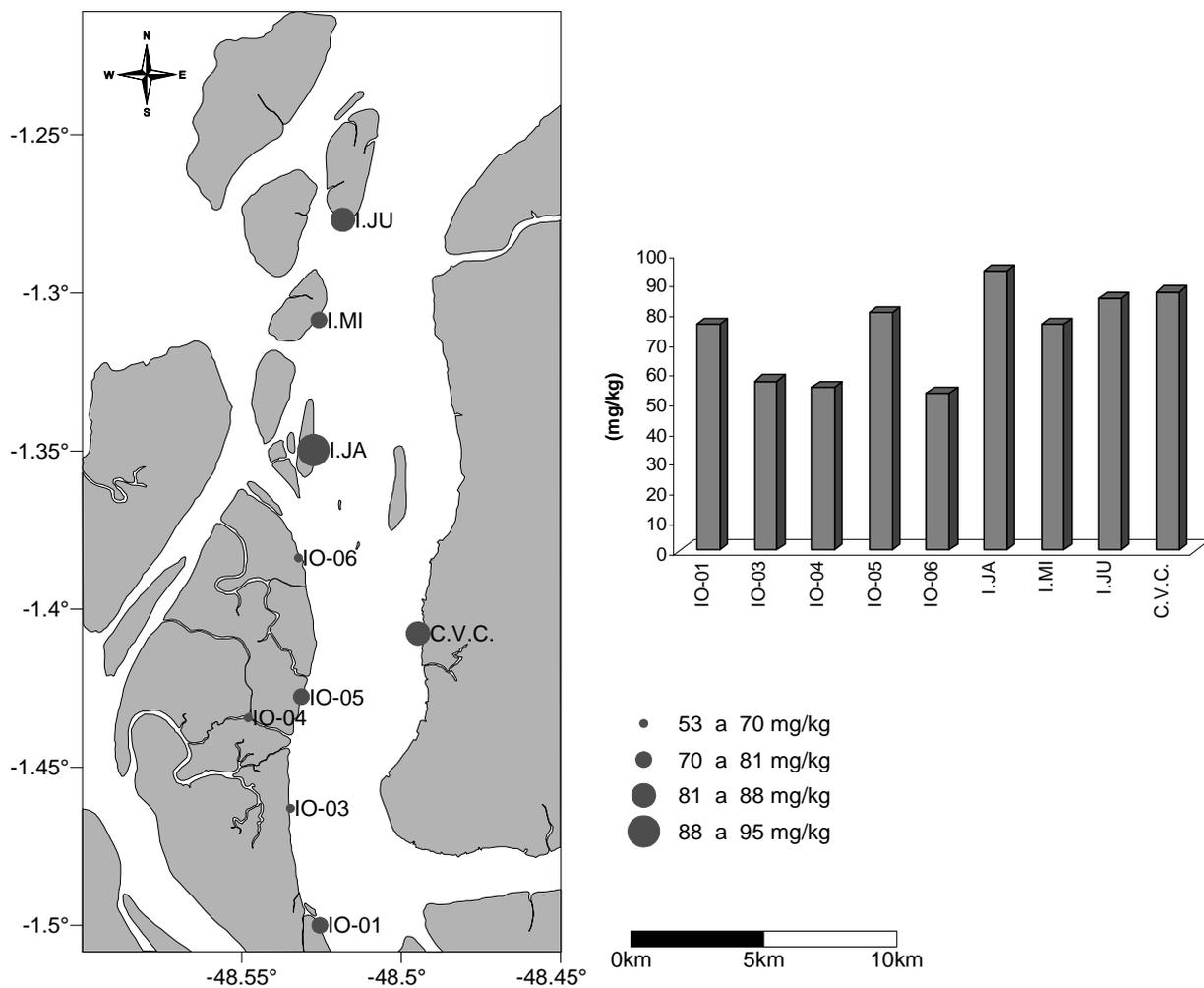


Figura 37 – Distribuição da concentração de Zn total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará.

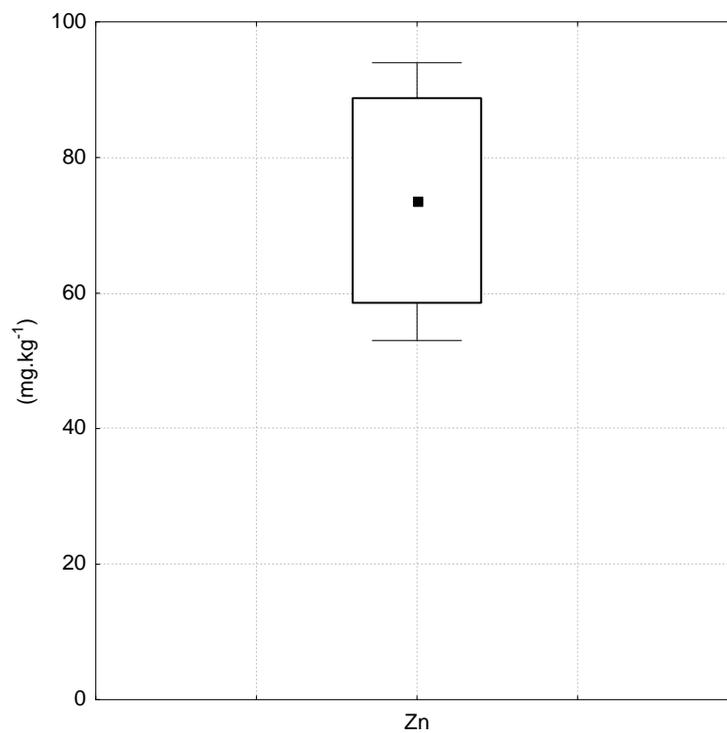


Figura 38 – Variação da concentração de Zn total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará.

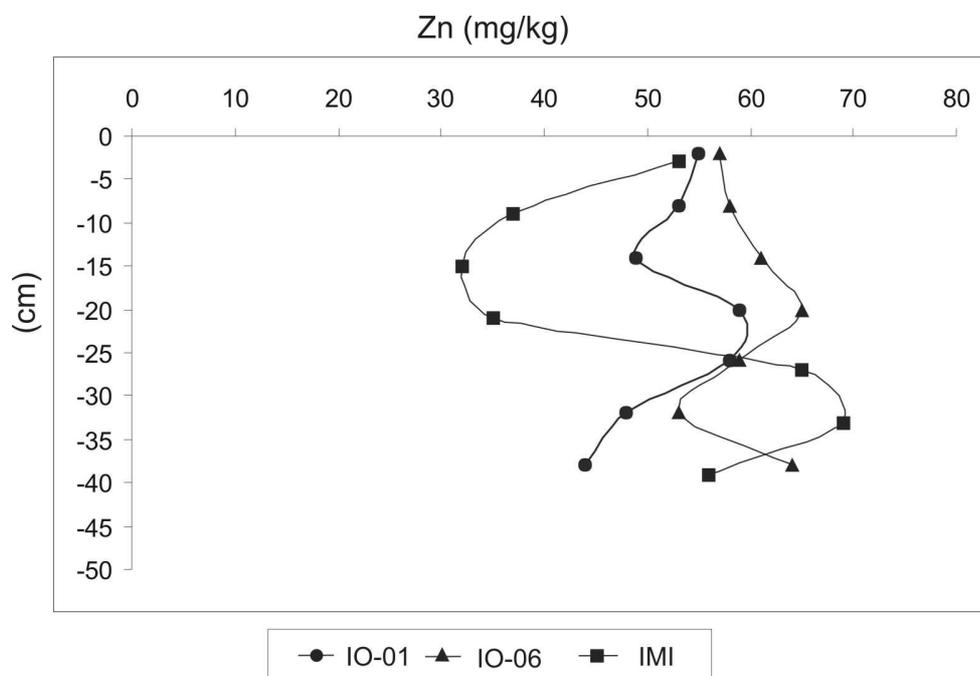


Figura 39 – Distribuição das concentrações de Zn total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI.

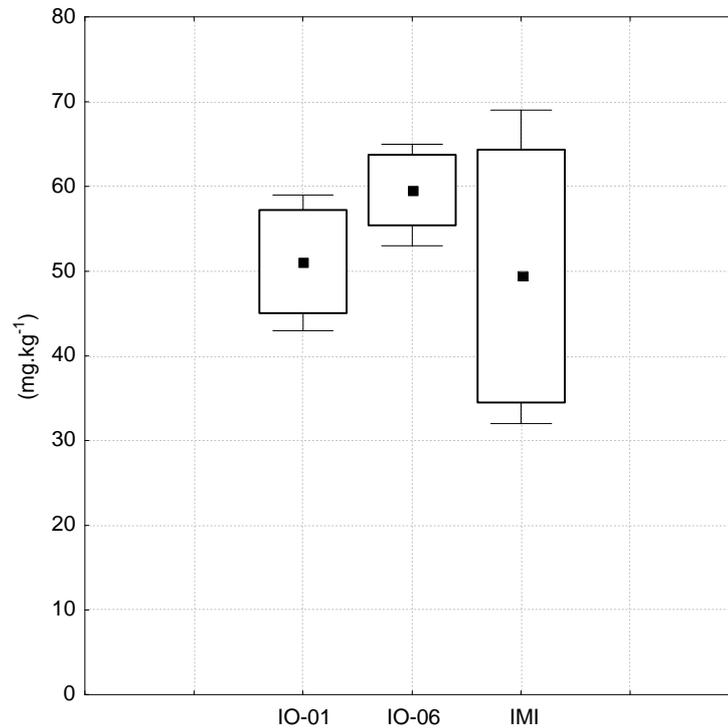


Figura 40 – Variação das concentrações de Zn total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará.

Comparando os valores das concentrações de Zn total dos sedimentos de fundo ( $73,7 \pm 15,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e dos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI; ( $51,1 \pm 6,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ( $59,6 \pm 4,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e ( $49 \pm 14,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), respectivamente, com valores obtidos em outras partes da baía de Guajará, observa-se que os teores citados acima são similares aos valores encontrados na orla de Belém-PA ( $73,8 \pm 7,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Pereira (2001) e na margem próxima a Icoaraci ( $70 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Carvalho (2002).

Valores de Zn comparáveis aos da baía de Guajará foram obtidos por Nascimento (2003) para sedimentos fluviais das regiões do Alto Tietê ( $82 \pm 16 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Baixo Tietê ( $73 \pm 9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), bem como para sedimentos das represas de Ponta Nova ( $74 \pm 7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

Os valores de Zn da baía de Guajará são inferiores ao valor médio de referência ( $175 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para sedimentos da época pré-industrial para lagos da Europa, USA e Canadá (HAKANSON, 1980), para sedimentos fluviais localizados em regiões do Médio Tietê ( $104 \pm 10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Baixo-Médio Tietê ( $126 \pm 31 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) em São Paulo (NASCIMENTO op. cit.), assim como também ao valor de *background* do Zn

(95 mg.kg<sup>-1</sup>) para folhelhos e argilas (TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961). Os teores de Zn da baía de Guajará são também abaixo dos índices PEL (315 mg.kg<sup>-1</sup>) e TEL (123 mg.kg<sup>-1</sup>).

No estuário do Guajará, não foram encontradas evidências de contaminação antrópica associadas ao metal zinco na fração total tanto para sedimento de fundo quanto para os testemunhos analisados.

#### 5.5.4 Níquel

O níquel, pertencente ao Grupo VIII b, é encontrado em apenas um estado de oxidação (Ni<sup>2+</sup>) na superfície terrestre; ocorre associado a carbonatos, óxidos, silicatos, ferro, mercúrio, arsenatos, sulfetos e teluriatos. O níquel tem papel fundamental no metabolismo bioquímico e, se presente em excesso, pode apresentar efeitos carcinogênicos (ALLOWAY, 1993; MOORE; RAMAMOORTHY 1984). Segundo a UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA (1998), não há registro de efeitos à saúde do homem quando exposto às concentrações de níquel superiores ao limite máximo aceitável, por curtos espaços de tempo. No entanto, quando a exposição ocorre por longo tempo, com concentrações acima do limite recomendado, provoca perda de peso, comprometimento do coração e fígado e irritação de pele.

A utilização de Ni concentra-se na produção de aço inoxidável por ser altamente resistente à corrosão. Também é usado no refino do petróleo e em fertilizantes. O Ni<sup>2+</sup> forma complexos estáveis com ligantes orgânicos e inorgânicos (SILVA, 2002).

Nos sedimentos esse elemento pode ser depositado por precipitação, complexação, adsorção sobre as argilas e também por agregação a biota. Parte do Ni é transportada pelos rios e estuários até os oceanos. Partículas suspensas fornecem cerca de 135 x 10<sup>7</sup> Kg/ano. Lixo Industrial e municipal, e partículas radioativas atmosféricas, contribuem com 0,38 x 10<sup>7</sup> e 2,5 x 10<sup>7</sup> Kg/ano, respectivamente (WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 1991).

No ambiente aquático, a toxicidade pelo níquel indica tolerâncias que variam amplamente e são influenciadas por vários fatores, entre eles o pH e o efeito sinérgico. Segundo a COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL -

CETESB (1996), a toxicidade crônica para peixes varia de 380 a 730  $\mu\text{g Ni/L}$ , sendo que em concentrações de 0,51  $\mu\text{g Ni/L}$ , pode causar danos a uma série de vegetais, como tomate e frutas cítricas.

Na baía de Guajará, o Ni total nas amostras dragadas apresenta valor médio de  $19,3\pm 4,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo o valor mínimo de  $13 \text{ mg.kg}^{-1}$  e valor máximo de  $25 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Figuras 41 e 42).

Nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI, os valores médios de Ni total são  $16,9\pm 2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $23,5\pm 2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $15\pm 5,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente (Figuras 43 e 44), com valores maiores de  $20,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 26 cm no testemunho IO-01,  $27,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 20 cm no testemunho IO-06 e  $23,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 33 cm no testemunho IMI.

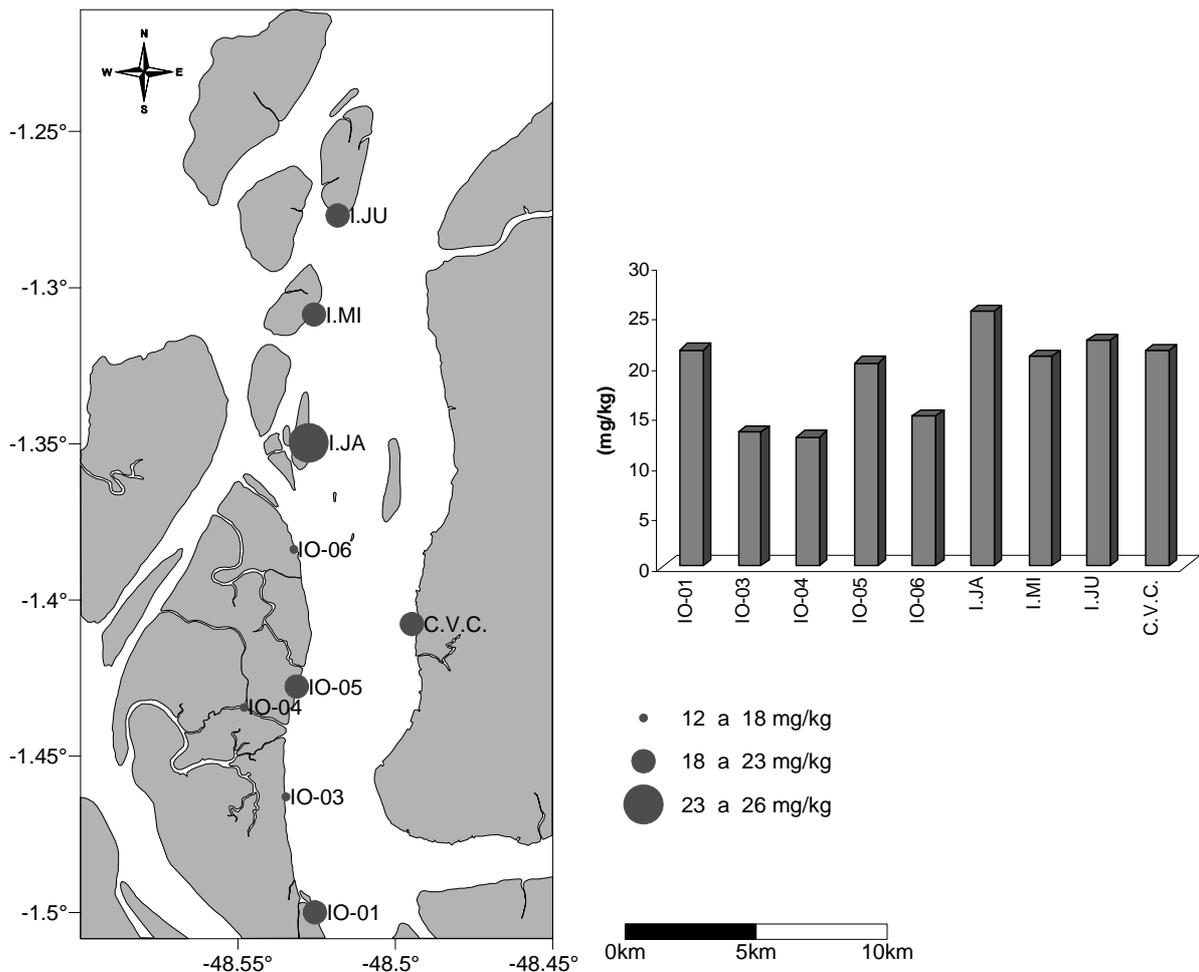


Figura 41 – Distribuição da concentração de Ni total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará.

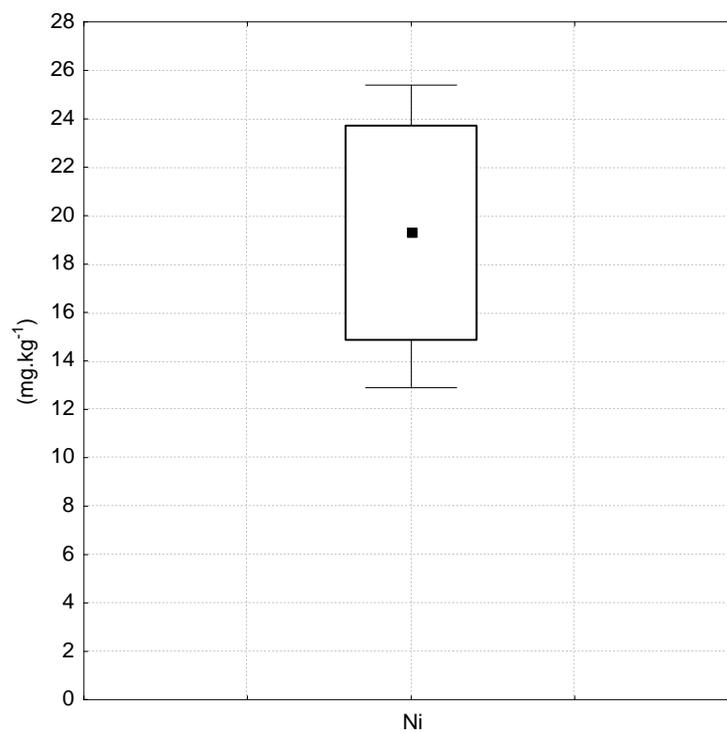


Figura 42 – Variação da concentração de Ni total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará.

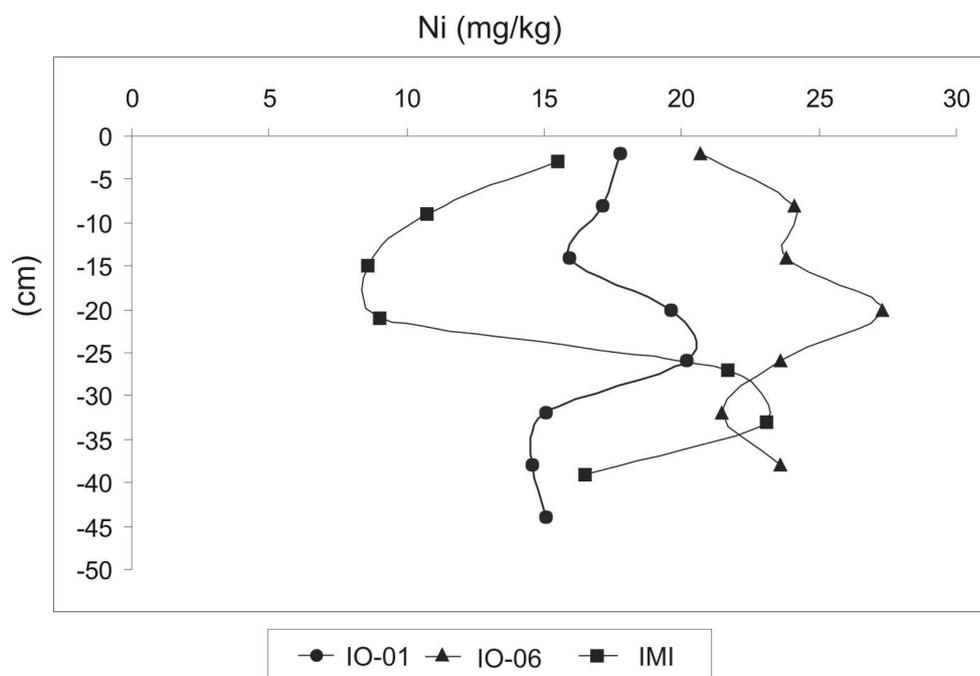


Figura 43 – Distribuição das concentrações de Ni total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI.

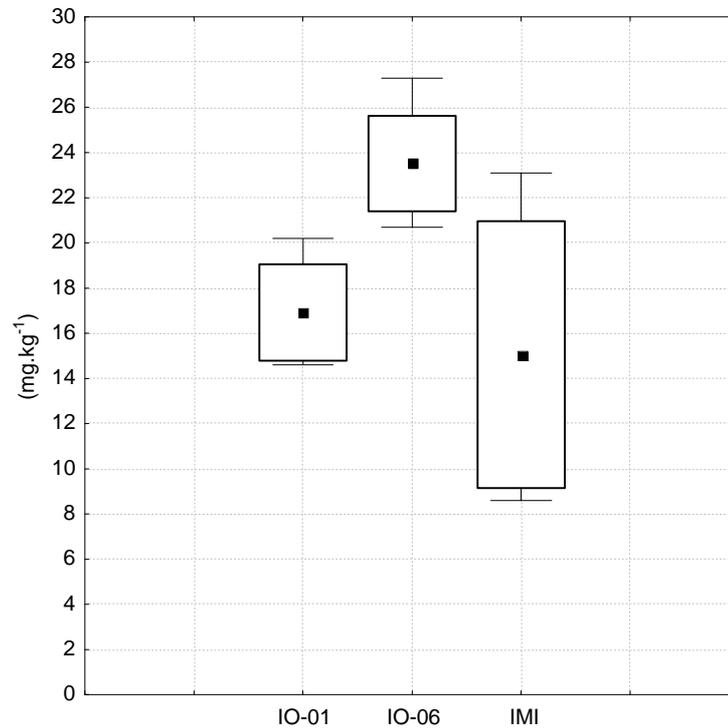


Figura 44 – Variação das concentrações de Ni total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará.

Comparando os valores das concentrações de Ni total dos sedimentos de fundo ( $19,3 \pm 4,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e dos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI; ( $16,9 \pm 2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ( $23,5 \pm 2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e ( $15 \pm 5,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), respectivamente, com valores obtidos em outras partes da baía de Guajará, observa-se que os teores citados acima são menores que os valores encontrados na orla de Belém-PA ( $38,8 \pm 8,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Pereira (2001) e na margem próxima a Icoaraci ( $24 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Carvalho (2002).

Valores similares de Ni aos da baía de Guajará foram encontrados para sedimentos fluviais da região do Alto Tietê ( $20 \pm 6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), e para os sedimentos das represas Ponta Nova ( $26 \pm 6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Ribeirão do Campo ( $25 \pm 7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), localizadas em área de proteção ambiental no estado de São Paulo (NASCIMENTO, 2003).

Os valores de Ni da baía de Guajará são inferiores aos valores médios obtidos por Nascimento (2003) para sedimentos fluviais das regiões do Médio Tietê ( $41 \pm 8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Médio-Baixo Tietê ( $65 \pm 10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Baixo rio Tietê ( $52 \pm 10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ao valor médio de referência ( $47 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) encontrado nos sedimentos da bacia do rio Ganges na Índia (SINGH, M; MÜLER; SINGH, I, 2003), ao valor de referência ( $70 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para

sedimentos da época pré-industrial para lagos da Europa, USA e Canadá (HAKANSON, 1980) e ao teor médio do *background* mundial ( $68 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para folhelhos e argilas (TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961). Além disso, os teores de Ni (Anexo C) da baía de Guajará estão também abaixo do índice PEL ( $36 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), mas, alguns valores de sedimentos de draga e testemunhos ultrapassam o índice TEL ( $18 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), sugerindo influência antropogênica deste metal.

#### 5.5.5 Cobalto

O cobalto, pertencente ao grupo VIIIb, ocorre no estado de oxidação  $\text{Co}^{2+}$  e apresenta propriedades similares às de Fe e Ni. Como o ferro, é ferromagnético e pode se tornar passivo por agentes oxidantes fortes. É amplamente usado em ligas com ferro, níquel, alumínio e outros metais.

O Co apresenta efeitos benéficos e prejudiciais à saúde humana. É amplamente distribuído no meio ambiente sendo essencial para os seres humanos, pois é um componente da vitamina B-12. Efeitos prejudiciais à saúde podem ocorrer quando ingerido em excesso pelo corpo humano, tais como doenças pulmonares (asma, pneumonia), alergias na pele e efeitos nos sistemas cardiovasculares e hematológicos e na glândula da tireóide. A agência internacional para a pesquisa sobre o câncer determinou que o Co seja possivelmente carcinogênico aos seres humanos baseada em dados com animais (SARYAN; ZENZ, 1994).

As fontes do Co para o meio ambiente são tanto de origem natural como antropogênica. Traços deste metal ocorrem em rochas, poeira, solos, sedimentos, água, plantas, fluido e tecido animal, e são mobilizados em erupções vulcânicas, emissões biogênicas e florestais (queimadas). As fontes artificiais são os subprodutos da queima do carvão e óleo, processos industriais, escapamento de veículos e de esgoto (TSALEV; ZAPRIANOV, 1985).

O tempo de residência do Co varia de alguns dias no ar a muitos anos na água e no solo. A contaminação da população com Co ocorre através da inalação e ingestão de ar, comida e água de ambientes contaminados.

Na baía de Guajará, o Co total nas amostras dragadas apresenta valor médio de  $10,8 \pm 2,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo o valor mínimo de  $8 \text{ mg.kg}^{-1}$  e o valor máximo de  $14,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Figuras 45 e 46).

Nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI, os valores médios de Co total são  $9,7 \pm 1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $11,7 \pm 0,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $8,5 \pm 2,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente (Figuras 47 e 48), com valores maiores de  $11,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 26 cm no testemunho IO-01,  $12,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 38 cm no testemunho IO-06 e  $12,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 33 cm no testemunho IMI.

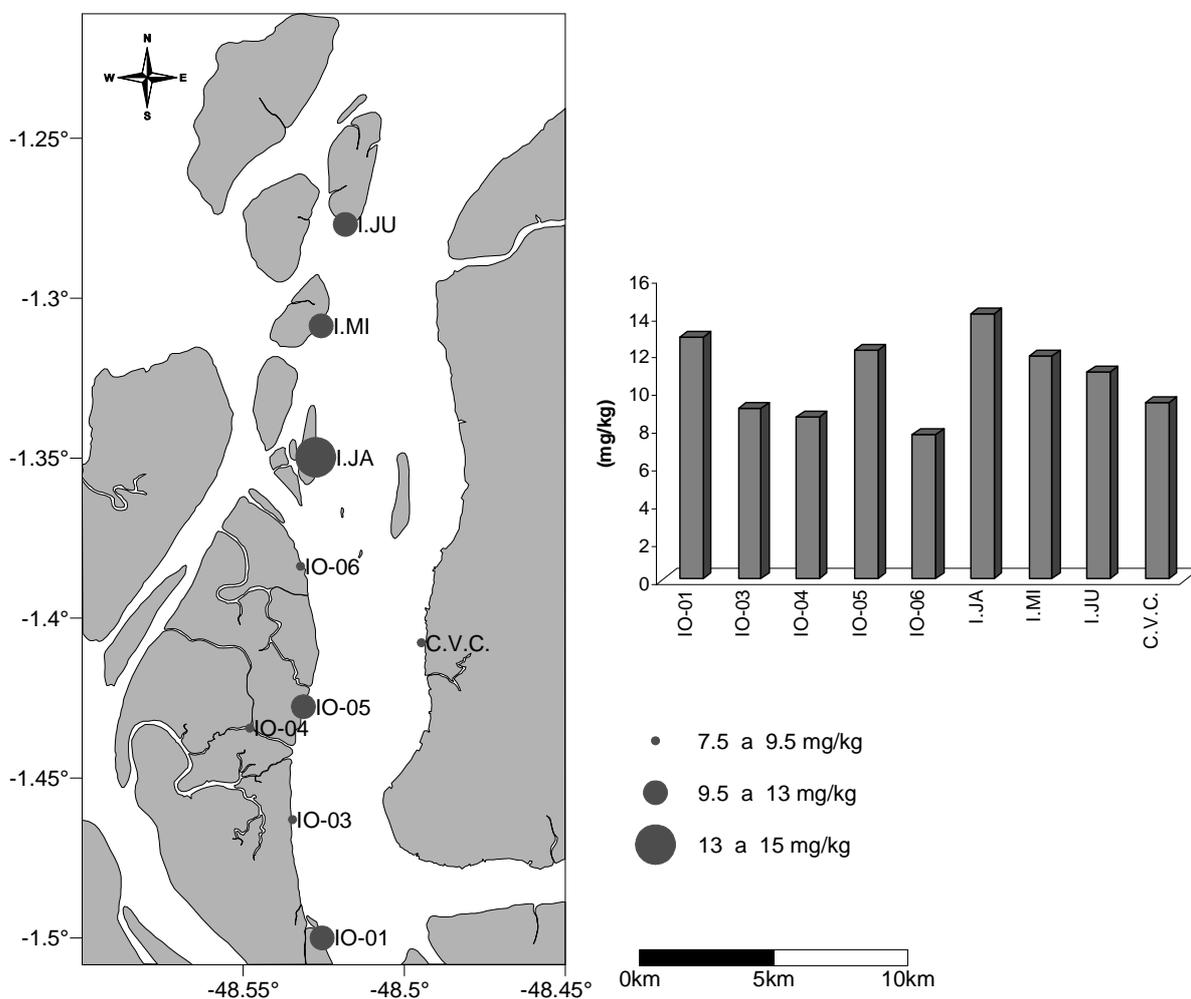


Figura 45 – Distribuio da concentrao de Co total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará.

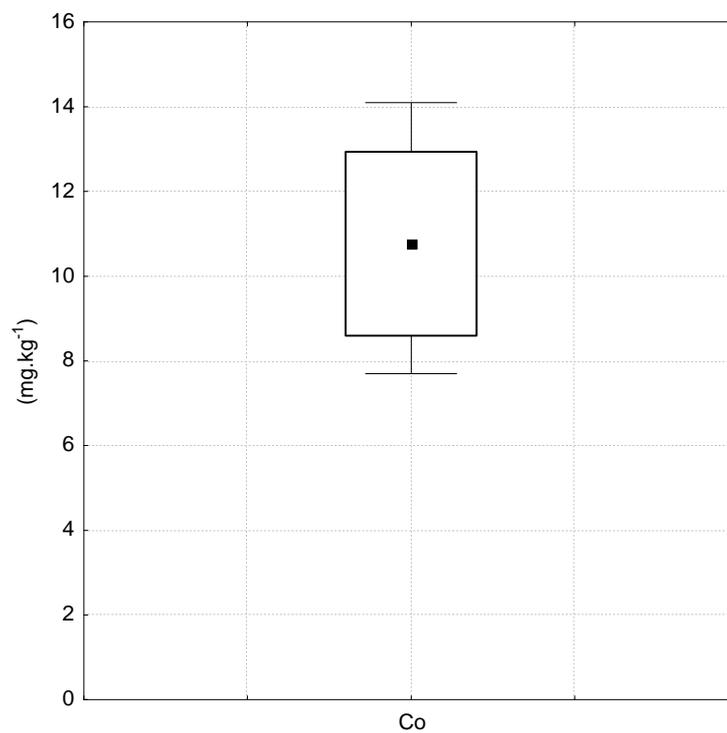


Figura 46 – Variação da concentração de Co total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará.

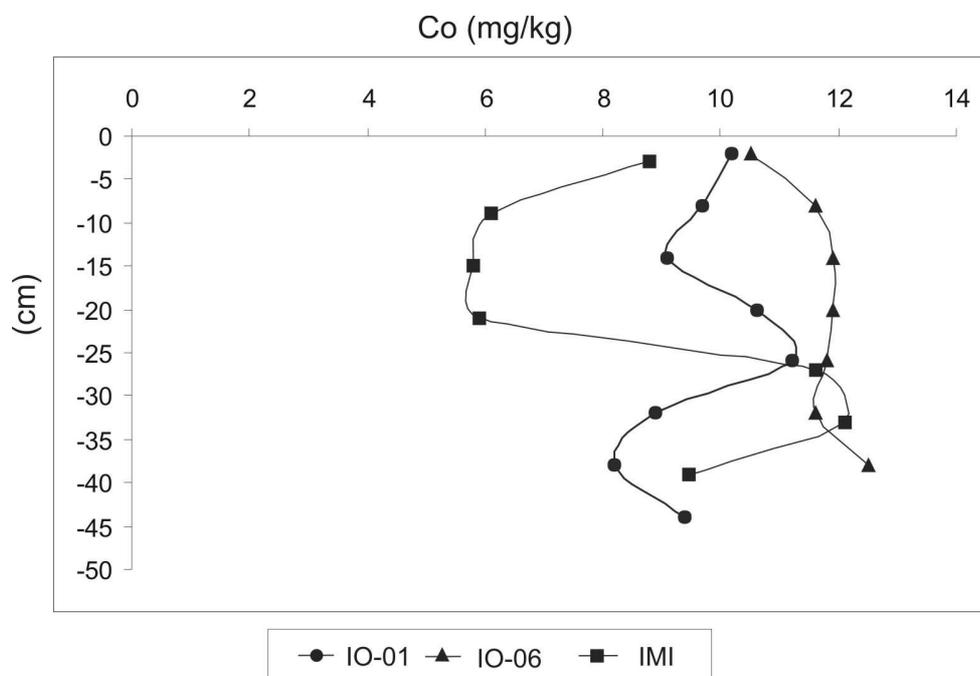


Figura 47 – Distribuição das concentrações de Co total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI.

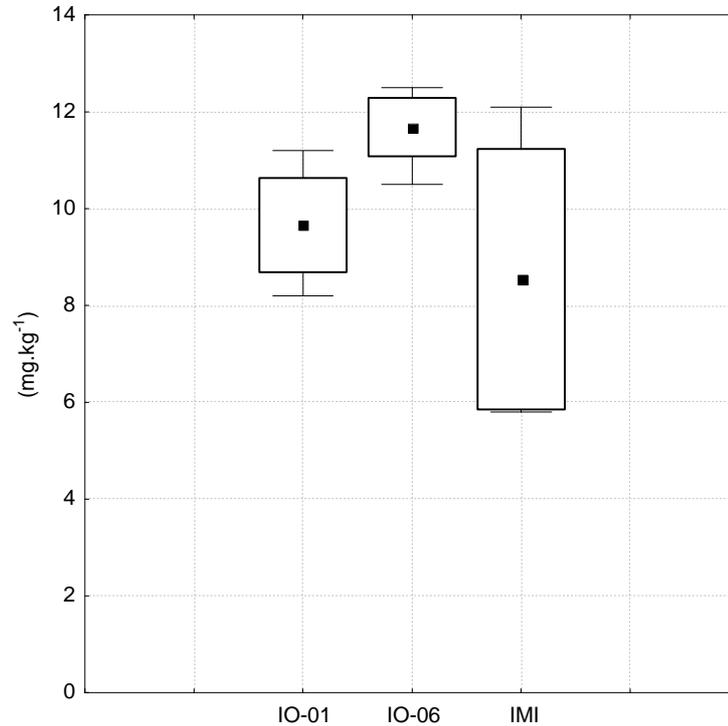


Figura 48 – Variação das concentrações de Co total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará.

Comparando os valores das concentrações de Co total das amostras dragadas ( $10,8 \pm 2,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e dos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI; ( $9,7 \pm 1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ( $11,7 \pm 0,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e ( $8,5 \pm 2,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), respectivamente, com valores obtidos em outras regiões, observa-se que os teores citados acima são inferiores aos valores de referência encontrados por NASCIMENTO (2003) para sedimentos fluviais das regiões do Alto Tietê ( $18 \pm 2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Médio Tietê ( $24 \pm 9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Médio-Baixo Tietê ( $29 \pm 8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Baixo Tietê ( $24 \pm 6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), inferiores aos valores médios obtidos pelo mesmo autor para os sedimentos das represas Ponta Nova ( $20 \pm 2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Ribeirão do Campo ( $20 \pm 2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), no estado de São Paulo, e inferiores aos valores médios para sedimentos da bacia do rio Ganges na Índia ( $19,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ , SINGH, M; MÜLER; SINGH, I, 2003) e do rio Maracanã ( $50 \pm 2,31 \text{ mg.kg}^{-1}$  DELFINO, 2006).

Os valores de Co nos sedimentos da baía de Guajará são também abaixo do valor de referência ( $30 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) encontrado em amostras de sedimentos da época pré-industrial para lagos da Europa, USA e Canadá por Hakanson (1980), abaixo do *background* ( $23 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para sedimentos do mar Kara no Oceano Ártico (SIEGEL;

KRAVITZ, 2001), assim como do valor médio de  $19 \text{ mg.kg}^{-1}$  para folhelhos e argilas (TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961).

Os teores obtidos para Co (Anexo A e B) na baía de Guajará não sugerem influência antropogênica.

### 5.5.6 Ferro e Manganês

O ferro é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, e seus compostos são encontrados em todos os corpos d'água, mesmo que em concentrações reduzidas. A geoquímica do ferro é muito complexa no ambiente terrestre, e é fortemente determinada pela diversidade de seus estados de oxidação (RUSSEL, 1994).

O manganês também está entre os elementos mais abundantes da crosta terrestre. Reage de maneira semelhante ao ferro, precipitando como  $\text{MnCO}_3$ ,  $\text{MnS}$  e  $\text{Mn(OH)}_2$  e solubiliza-se como  $\text{Mn(HCO}_3)_2$ . Os íons de manganês raramente são encontrados na água em concentrações superiores a  $1 \text{ mg Mn/L}$ . Em soluções com baixo pH e baixo Eh, Fe e Mn são estáveis na forma de íons bivalentes. O Mn apresenta os estados de oxidação,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{+3}$  e  $\text{Mn}^{+4}$ , mas apenas dois,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{+4}$ , são comuns na natureza. No Fe são conhecidos os estados de oxidação  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{+3}$ . Ambos os elementos formam carbonatos, sulfatos e silicatos que são facilmente oxidados nas condições superficiais, gerando óxidos e hidróxidos insolúveis. A oxidação dos compostos de Mn exige maiores potenciais do que os de Fe e o MnS é mais solúvel que o FeS (KRAUSKOPF, 1972).

Os íons de ferro e manganês entram no sistema aquático a partir das águas superficial e subterrânea. Nas águas subterrâneas, eles correm no estado de oxidação reduzido na forma de  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$ , porém em águas superficiais, na presença de oxigênio dissolvido e pH neutro ou levemente alcalino, o  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  são oxidados para a formas insolúveis  $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{H}_2\text{O})_x$  e  $\text{MnO}_x$  (FÖRSTNER; WITTMANN 1983).

Na zona de contato água-sedimento, a liberação do Fe e Mn ocorre principalmente sob condições anaeróbicas, porém, pode ocorrer de forma limitada sob condições aeróbicas. A mobilização dos íons de Fe e Mn pode também ocorrer induzida

por agentes orgânicos complexantes e através de atividades metabólicas de organismos, principalmente de bactérias (FÖRSTNER; WITTMANN, 1983).

Cátions que apresentam dimensões físicas semelhantes ao  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  ou  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{3+}$ , tais como  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$ , são retidos nos óxidos com diferentes graus de afinidade (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2000). A adsorção específica de metais pesados nos óxidos de Mn segue a ordem:  $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Co} > \text{Zn} > \text{Ni}$  (GILKES; MCKENZIE, 1988).

Cornell e Schwertmann (1996) sugeriram que a afinidade da goethita em reter metais pode ser descrita como:  $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Mn}$ . Para a hematita, segue-se a mesma seqüência, porém Pb é mais fortemente adsorvido que Cu.

Nas amostras coletadas com a draga na baía de Guajará, o Fe total analisado apresenta valor médio de  $3,6 \pm 0,6\%$ , sendo o valor mínimo de 2,9 % e valor máximo de 4,7 % (Figuras 49 e 50)

Nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI, os valores médios de Fe total são  $2,7 \pm 0,2\%$ ,  $4,2 \pm 0,5\%$  e  $2,7 \pm 0,8\%$ , respectivamente (Figuras 51 e 52), com valores maiores de 3,04 % a uma profundidade de 26 cm no testemunho IO-01, 4,91 % a uma profundidade de 20 cm no testemunho IO-06 e 3,78 % a uma profundidade de 33 cm no testemunho IMI.

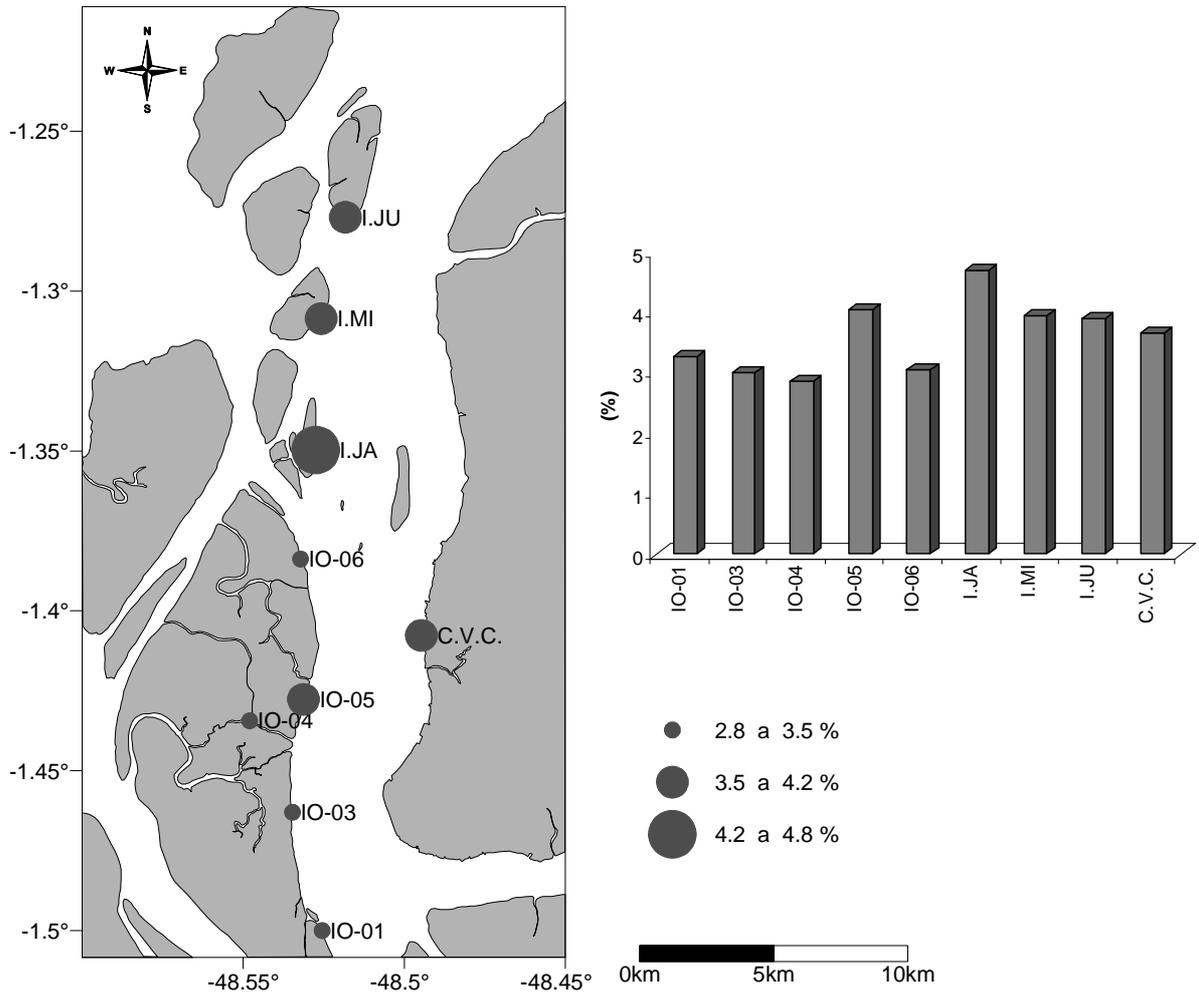


Figura 49 – Distribuição da concentração de Fe total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará.

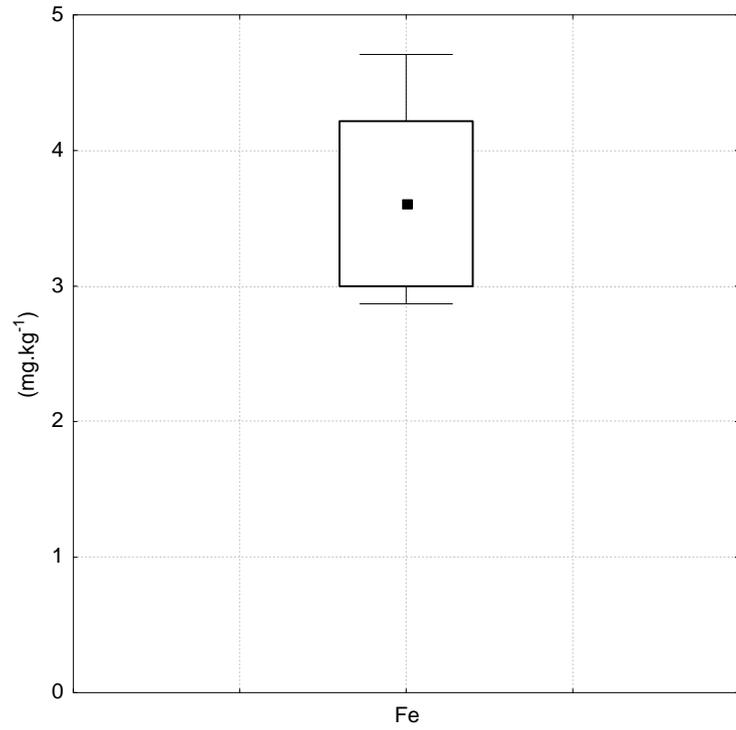


Figura 50 – Variação da concentração de Fe total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará.

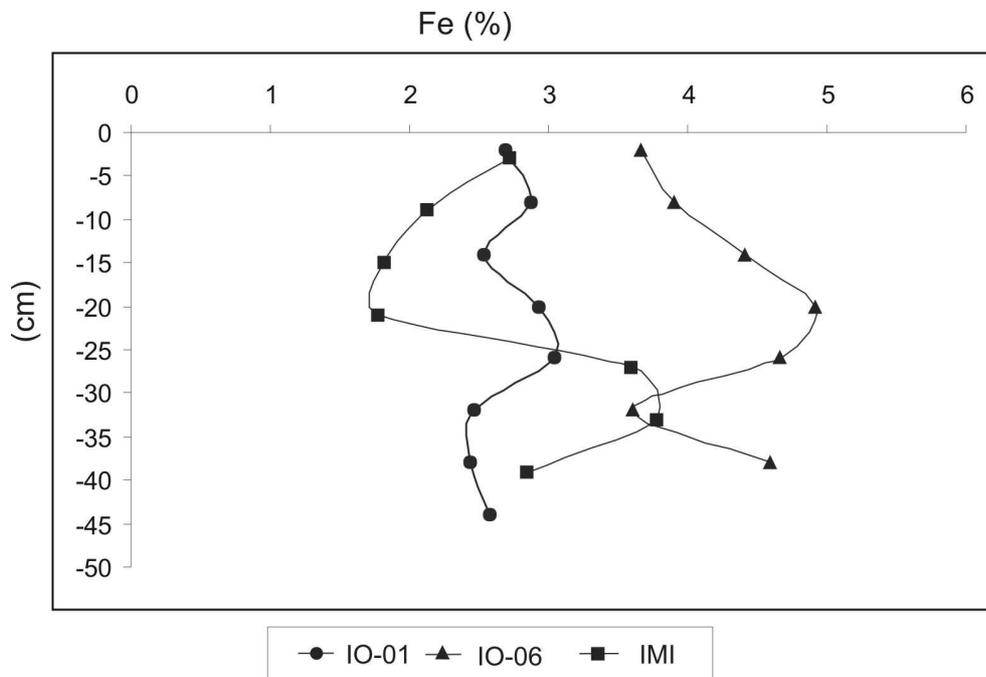


Figura 51 – Distribuição das concentrações de Fe total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI.

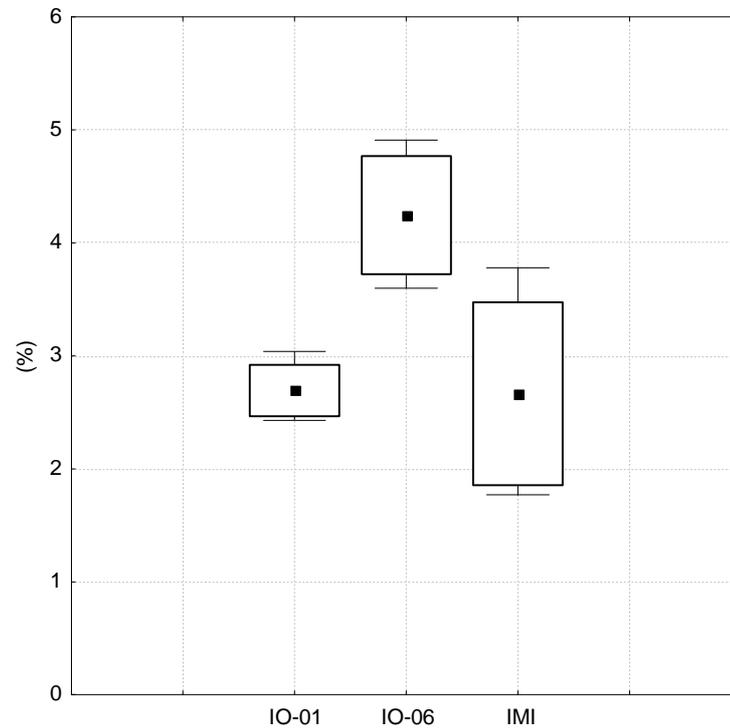


Figura 52 – Variação das concentrações de Fe total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará.

Comparando os valores das concentrações de Fe total dos sedimentos de fundo ( $3,6 \pm 0,6\%$ ) e dos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI; ( $2,7 \pm 0,2\%$ ), ( $4,2 \pm 0,5\%$ ) e ( $2,7 \pm 0,8\%$ ), respectivamente, com valores obtidos em outras partes da baía de Guajará, observa-se que os teores citados acima são similares aos valores encontrados na orla de Belém-PA ( $3,2 \pm 0,4\%$ ) por Pereira (2001) e na margem próxima a Icoaraci ( $3,7\%$ ) por Carvalho (2002).

Para sedimentos no estuário do rio Maracanã, Delfino (2006) obteve o valor médio de ( $4,14 \pm 0,24\%$ ). Os valores de Fe na baía de Guajará correspondem também aos valores médios dos sedimentos do rio Ganges na Índia ( $4,03\%$ , SINGH, M; MÜLER; SINGH, I, 2003) e de folhelhos e argilas ( $4,7\%$ , TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961).

Quanto ao Mn (Anexo A e B), o valor médio desse elemento nos sedimentos superficiais de fundo é  $489,2 \pm 166,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  com teores mínimo e máximo de  $290 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $720 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente (Figuras 53 e 54).

Nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI, os valores médios de Mn total são  $292,9 \pm 25,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $805,1 \pm 193,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $396,7 \pm 164,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente (Figuras 55 e 56), com valores maiores de  $344 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 44 cm no testemunho IO-01,  $1180 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 38 cm no testemunho IO-06 e  $620 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 33 cm no testemunho IMI.

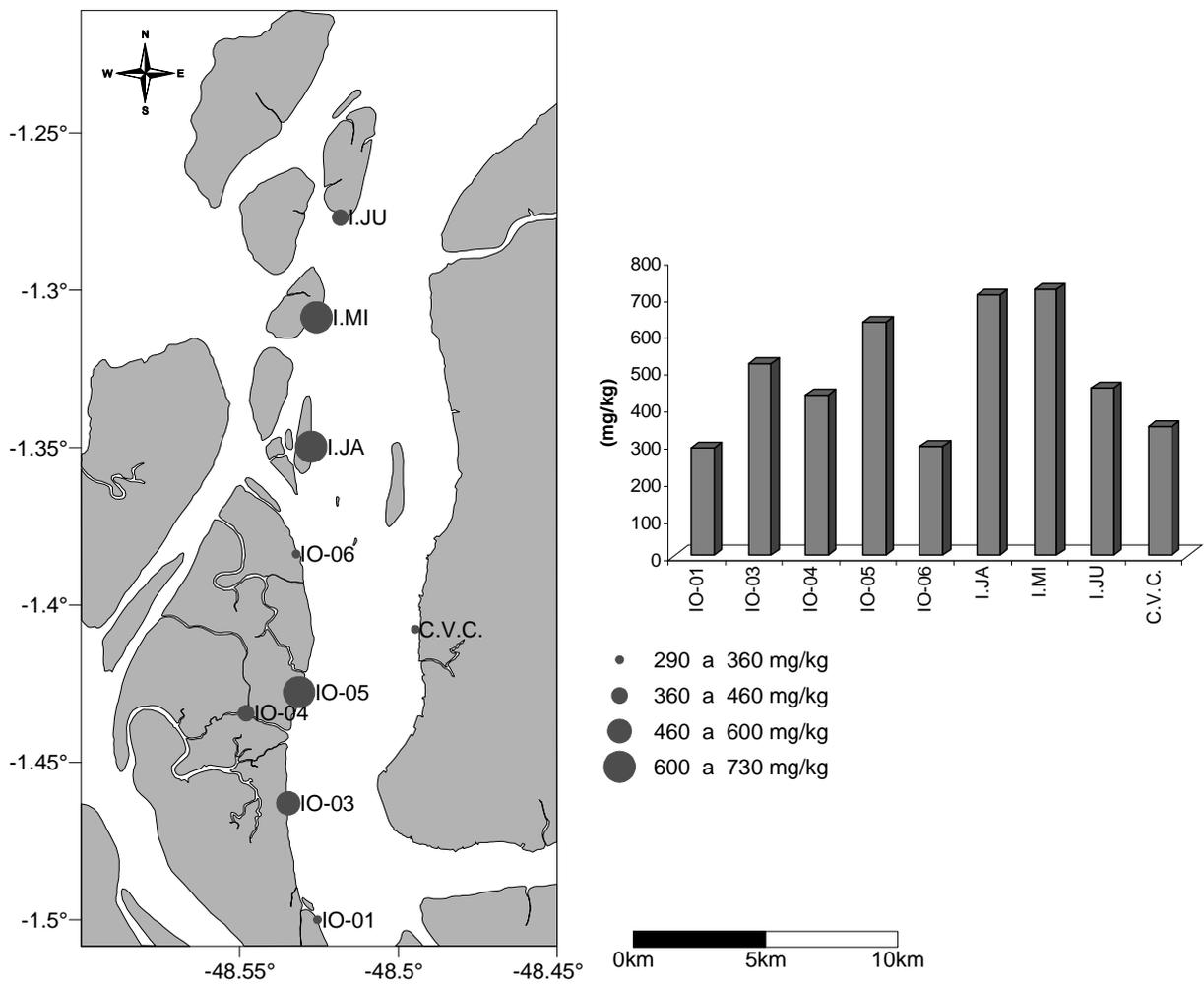


Figura 53 – Distribuição da concentração de Mn total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará.

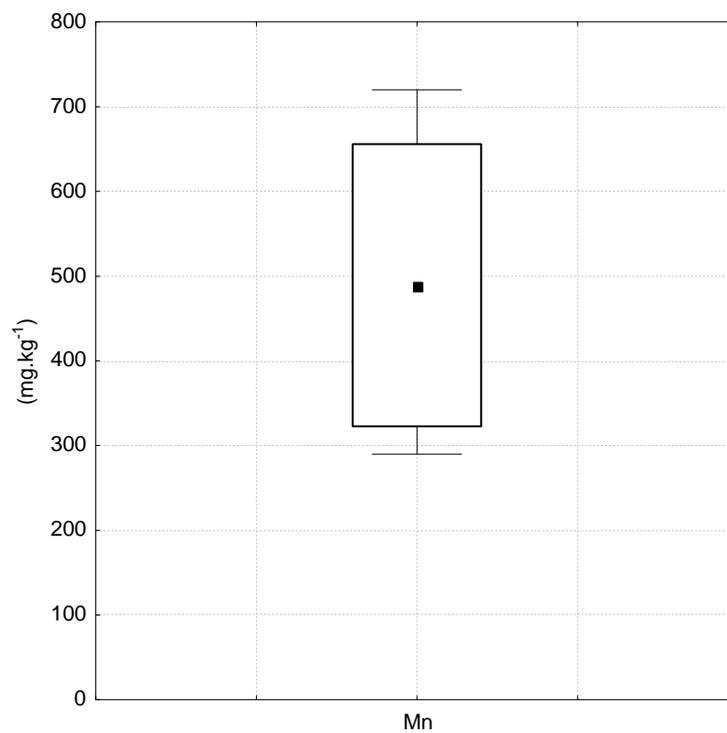


Figura 54 – Variação da concentração de Mn total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará.

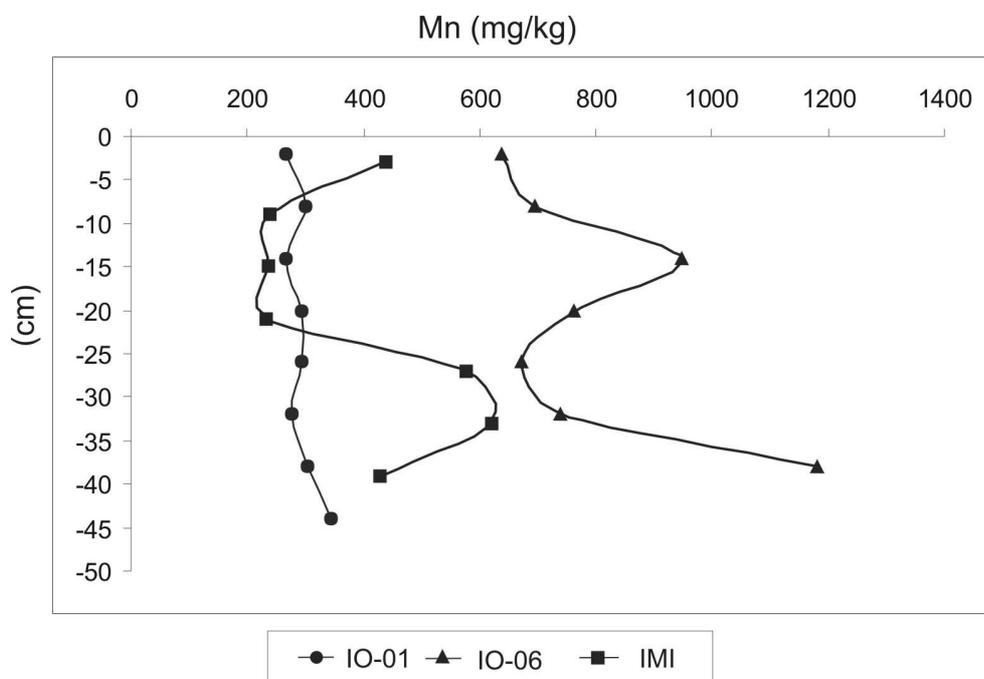


Figura 55 – Distribuição das concentrações de Mn total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI.

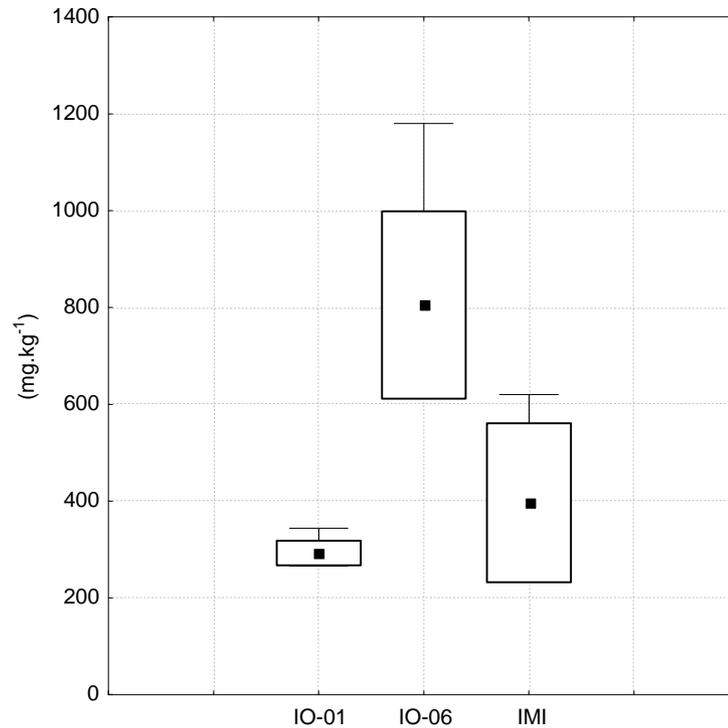


Figura 56 – Variação das concentrações de Mn total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará.

Comparando os valores das concentrações de Mn total dos sedimentos de fundo ( $489,2 \pm 166,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e dos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI; ( $292,9 \pm 25,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ( $805,1 \pm 193,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e ( $396,7 \pm 164,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), respectivamente, com valores obtidos em outras partes da baía de Guajará, observa-se que os teores citados acima são superiores e similares aos valores encontrados na orla de Belém-PA ( $289 \pm 65,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Pereira (2001) e na margem próxima a Icoaraci ( $531 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Carvalho (2002).

São também similares ao valor médio ( $423,53 \pm 74,63 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) encontrado em sedimentos do estuário do rio Maracanã (DELFINO, 2006).

Os valores médios de Mn encontrados em outras regiões do mundo são  $438,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  para sedimentos do estuário Huangle na China (ZHANG; HUANG; MARTIN 1988) e  $1764 \text{ mg.kg}^{-1}$  em sedimentos do rio Ganges na Índia (SINGH, M; MÜLER; SINGH, I, 2003). Turekian e Wedepohl (1961) indicam  $850 \text{ mg.kg}^{-1}$ , como teor médio mundial, para folhelhos e argilas que não é muito diferente dos valores obtidos neste trabalho para a baía de Guajará.

### 5.5.8 Cromo

O cromo é o 7º elemento mais abundante na Terra sendo seu principal minério a cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) (SILVA, 2002)

O cromo, que pertence ao grupo IV b no sistema periódico, ocorre normalmente nos estados de oxidação +3 e +6. No meio ambiente, são três os números de oxidação do metal: Cr(0), Cr(III) e Cr(VI). O Cr (III) tem ocorrência natural no meio ambiente, enquanto Cr (VI) e Cr (0) são geralmente produzidos por processos industriais (GIANNETTI; ALMEIDA; BONILLA, 2001).

As principais emissões de Cr em águas superficiais provem de processos de finalização metálica, como por exemplo a cromagem e galvanoplastia. Emissões descontroladas têm grande potencial para contaminação de ambientes de água doce com o Cr (VI), a forma mais tóxica do Cr. Outras descargas menores de Cr (VI) são providas de recirculação de águas de resfriamento e produtos químicos de lavanderia. Fontes de Cr (III) são provenientes de águas residuárias de couro (curtume) e produtos têxteis contendo corantes contaminados com altos valores de cromo (GUSMÃO, 2004; MOORE; RAMAMMORTHY, 1984).

O Cr (VI) eventualmente é convertido em Cr (III), por meio de espécies redutoras como substâncias orgânicas, sulfeto de hidrogênio, enxofre, sulfeto de ferro, amônio e nitrito (ATSDR, 2000). Essa forma trivalente, ao contrário da forma hexavalente, geralmente não migra significativamente em sistemas naturais. É rapidamente precipitada e adsorvida a partículas suspensas e sedimentos de fundo. No entanto, mudanças nas propriedades químicas e físicas de um ambiente aquático podem resultar em mudanças no equilíbrio Cr (III)-Cr (VI) (RICHARD; BOURG, 1991).

Cr é quase insolúvel e de baixa toxicidade como Cr(III), enquanto o Cr (VI) forma o complexo aniônico solúvel de  $\text{CrO}_4^{2-}$  que é mais tóxico e prontamente adsorvido pelas células vivas.

Na baía de Guajará, o Cr total nas amostras dragadas apresenta valor médio de  $59,7 \pm 8,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo o valor mínimo de  $48 \text{ mg.kg}^{-1}$  e valor máximo de  $70 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Figuras 57 e 58).

Nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI, os valores médios de Cr total são  $49,1 \pm 4,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $65,5 \pm 4,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $43,3 \pm 12,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente (Figuras 59 e 60), com

valores maiores de  $57,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 26 cm no testemunho IO-01,  $69,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 20 cm no testemunho IO-06 e  $60,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  a uma profundidade de 33 cm no testemunho IMI.

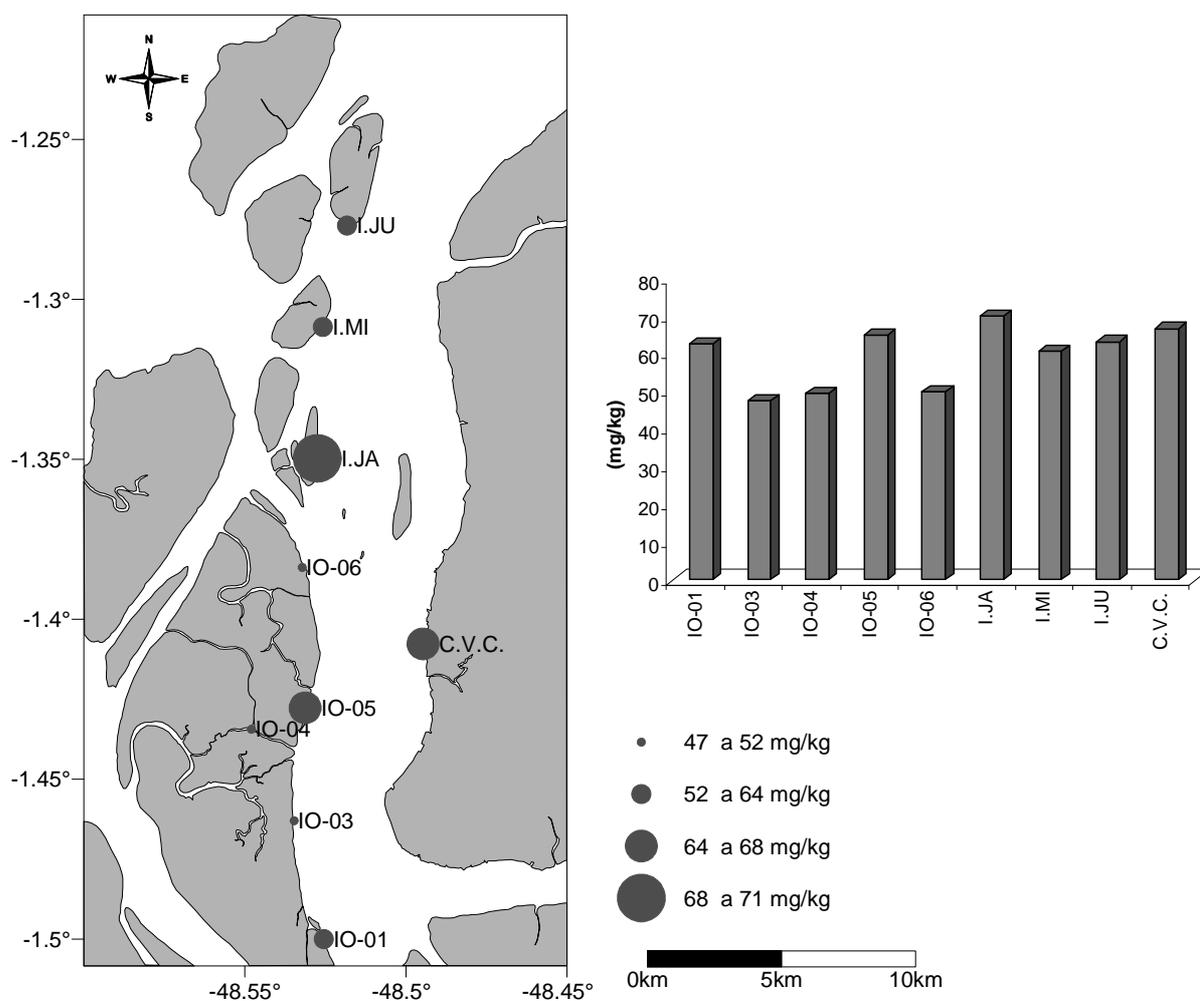


Figura 57 – Distribuição da concentração de Cr total nos sedimentos superficiais da baía de Guajará.

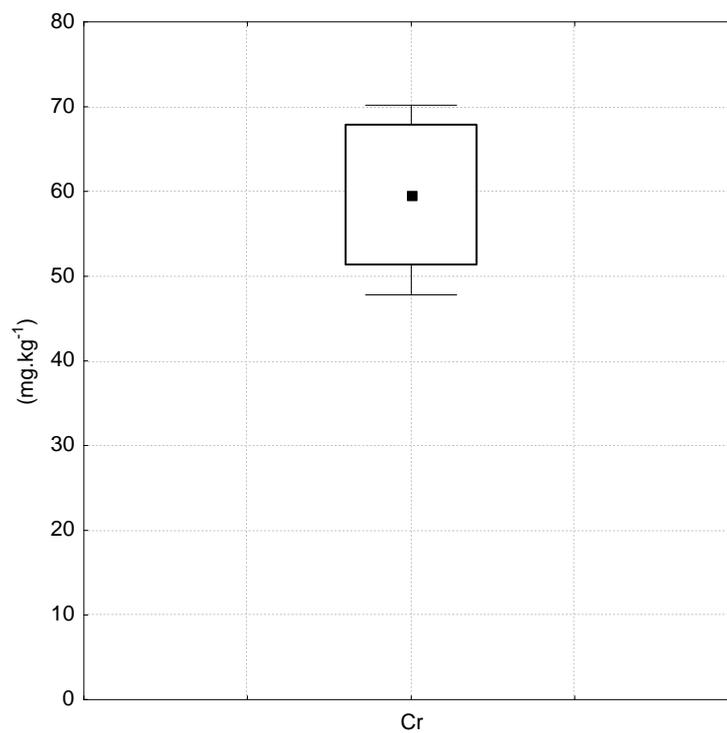


Figura 58 – Variação da concentração de Cr total nos sedimentos superficiais de fundo da baía de Guajará.

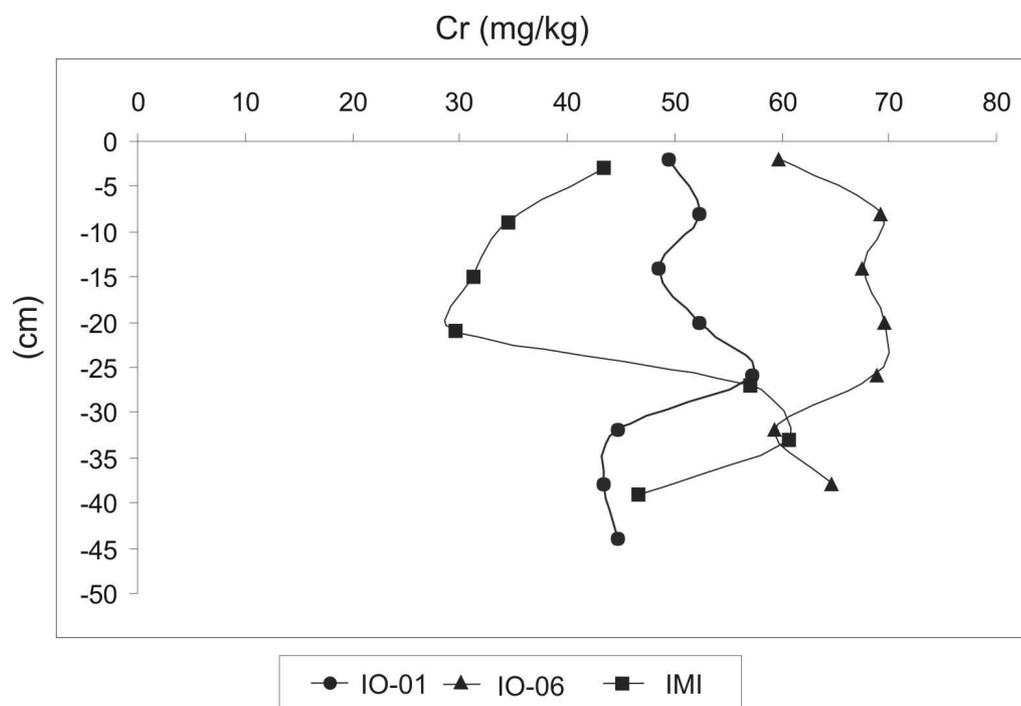


Figura 59 – Distribuição das concentrações de Cr total nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI.

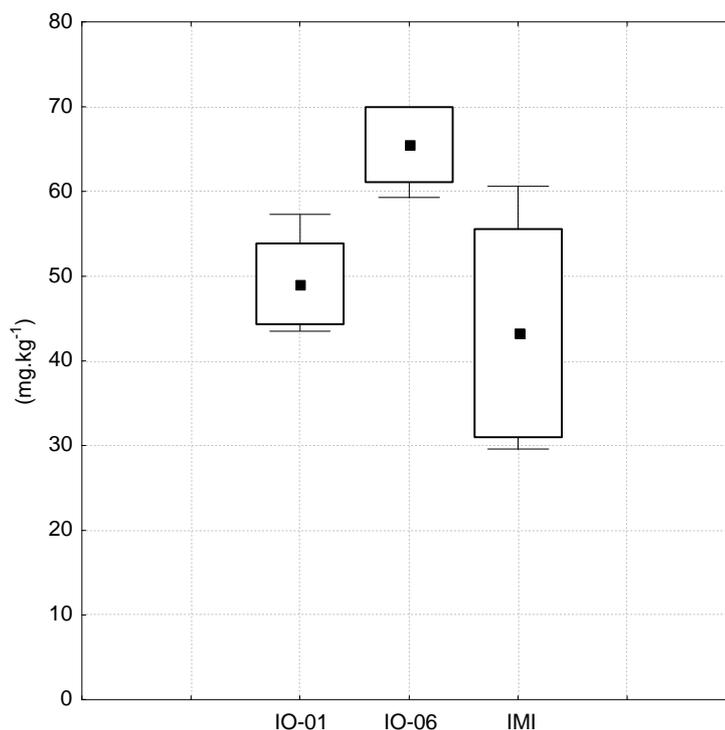


Figura 60 - Variação das concentrações do Cr total nos sedimentos de testemunhos IO-01, IO-06 e IMI da baía de Guajará.

Comparando os valores das concentrações de Cr total dos sedimentos de fundo ( $59,7 \pm 8,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e dos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI; ( $49,1 \pm 4,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ( $65,5 \pm 4,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e ( $43,3 \pm 12,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), respectivamente, com valores obtidos em outras partes da baía de Guajará, observa-se que os teores citados acima são próximos aos valores encontrados na orla de Belém-PA ( $65,5 \pm 6,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Pereira (2001) e na margem próxima a Icoaraci ( $66 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) por Carvalho (2002). São também similares ao valor médio em sedimentos fluviais da região do Médio Tietê ( $44 \pm 14 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) em São Paulo (NASCIMENTO, 2003).

No entanto, os teores de Cr total da baía são inferiores aos valores encontrados nos sedimentos fluviais das regiões do Médio-Baixo Tietê ( $117 \pm 42 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Baixo Tietê ( $189 \pm 49 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) (NASCIMENTO, op. cit.), inferiores ao valor médio ( $147 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para sedimentos na bacia do rio Ganges, na Índia (SINGH, M; MÜLER; SINGH, I, 2003), bem como ao valor médio de referência ( $90 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para sedimentos da época pré-industrial para lagos da Europa, USA e Canadá (HAKANSON, 1980). Os valores de

Cr da baía de Guajará são também inferiores ao teor médio global ( $90 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) para folhelhos e argilas (TUREKIAN; WEDEPOHL, 1961).

Por outro lado, valores de Cr da baía são superiores ao valor médio de referência encontrado por Nascimento (2003) para sedimentos fluviais das regiões do Alto Tietê ( $30 \pm 4 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), e superiores aos valores médios para os sedimentos das represas Ponta Nova ( $38 \pm 8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Ribeirão do Campo ( $38 \pm 7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), localizadas em área de proteção ambiental em São Paulo (NASCIMENTO, op. cit.).

Comparando os valores de Cr (Anexo C) da baía de Guajará com os índices TEL ( $37,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e PEL ( $90 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), nota-se que o Cr médio total na baía é inferior ao índice PEL, porém superior ao índice TEL sugerindo influência antropogênica.

## 5.6 ANÁLISE DE CLUSTER

Os resultados da análise obtidos no estuário do Guajará foram realizados análise de Cluster nos sedimentos superficiais de fundo e nos testemunhos, para avaliar a correlação entre os metais em estudo, MO e os metais Al, Mg e K que respondem pelos argilominerais, sendo que nos testemunhos não foi usado à matéria orgânica.

Verificou-se que nos sedimentos superficiais de fundo mostraram que o Mn teve pouca correlação aos metais que respondem pelo argilominerais e a matéria orgânica, enquanto que os demais metais pesados mostraram uma boa adsorção nos argilominerais e a matéria orgânica (Figura 61), o qual pode ser considerado a valência dos íons, a hidratação, a eletronegatividade e o potencial de ionização.

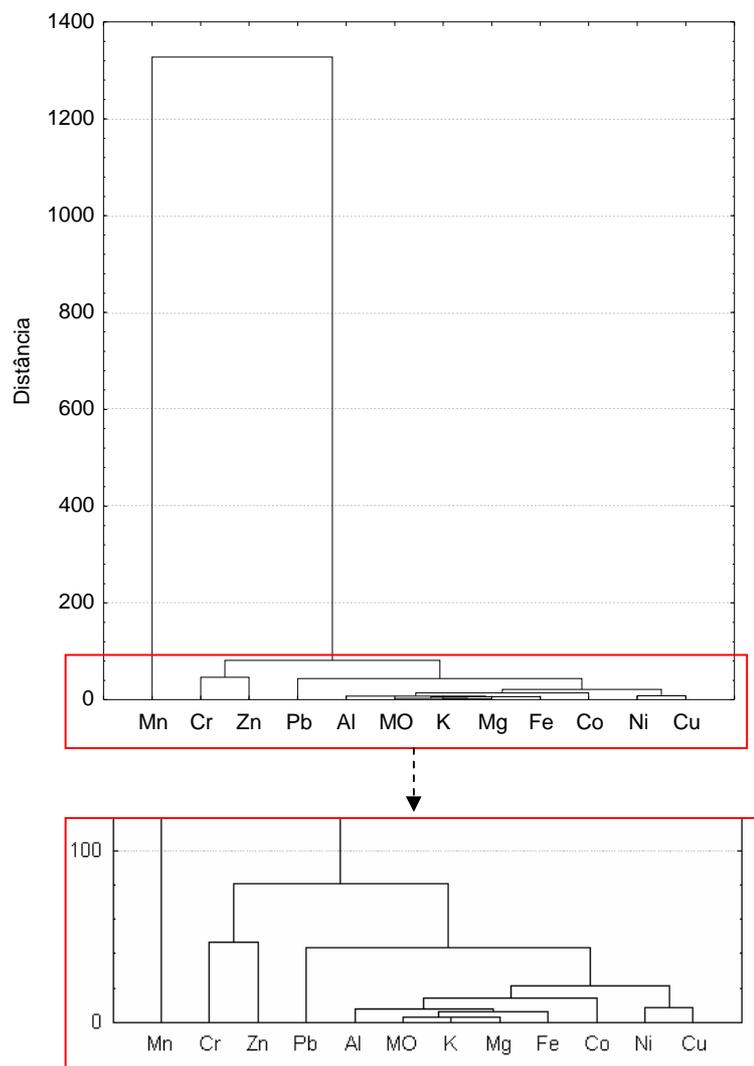


Figura 61 – A análise de agrupamento de Cluster dos metais em estudo, MO e os metais (Al, Mg e K), verificado nos sedimentos superficiais de fundo.

Nos testemunhos IO-01, IO-06 e IMI mostraram similaridades na análise de Cluster (Figura 62, 63 e 64), onde o Mn teve pouca correlação aos metais que respondem pelo argilominerais, enquanto que os demais metais pesados mostraram uma boa adsorção nos argilominerais (Figura 61).

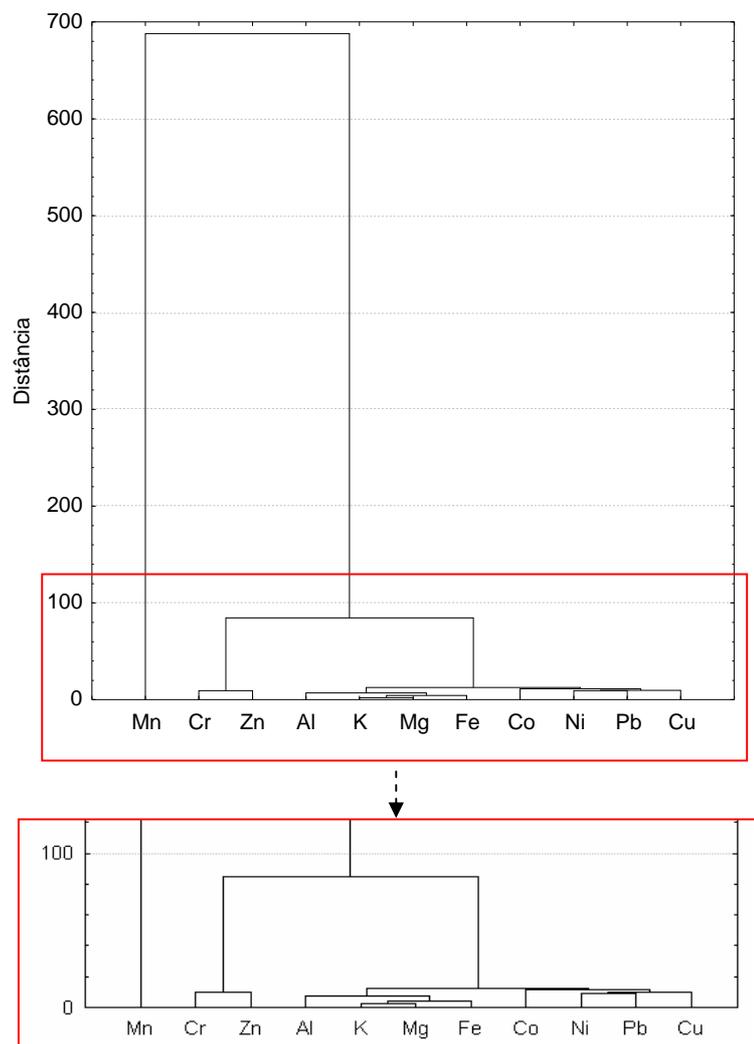


Figura 62 – A análise de agrupamento de Cluster dos metais em estudo e os metais (Al, Mg e K), verificado no testemunho IO-01.

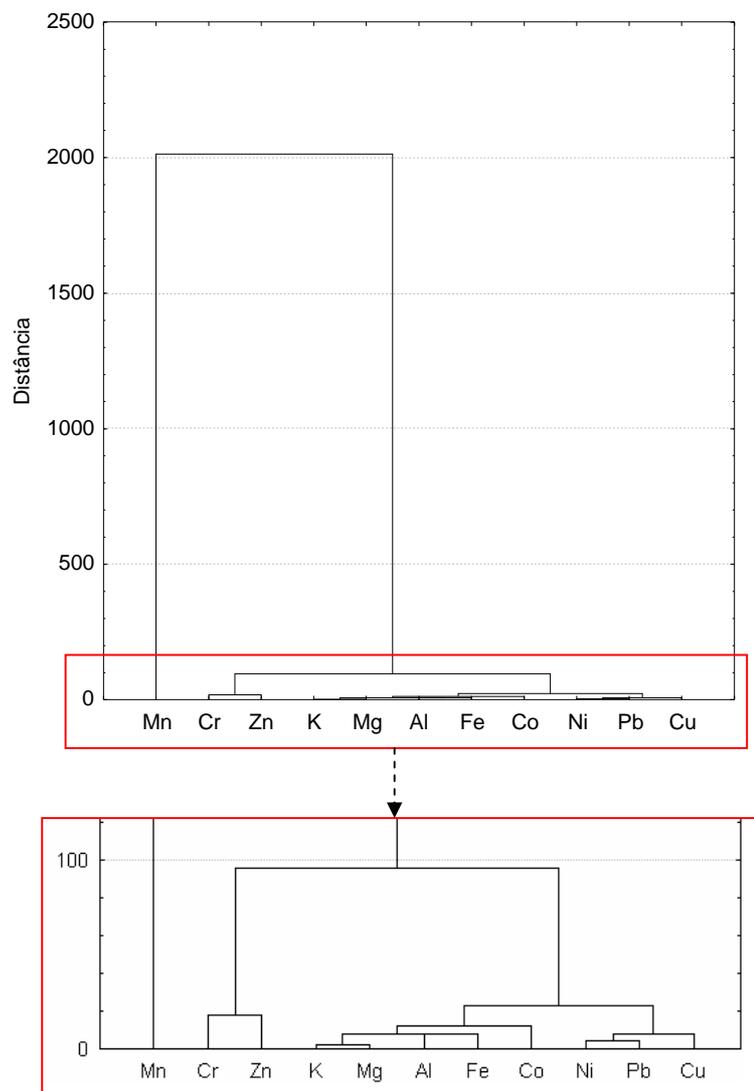


Figura 63 – A análise de agrupamento de Cluster dos metais em estudo e os metais (Al, Mg e K), verificado no testemunho IO-06.

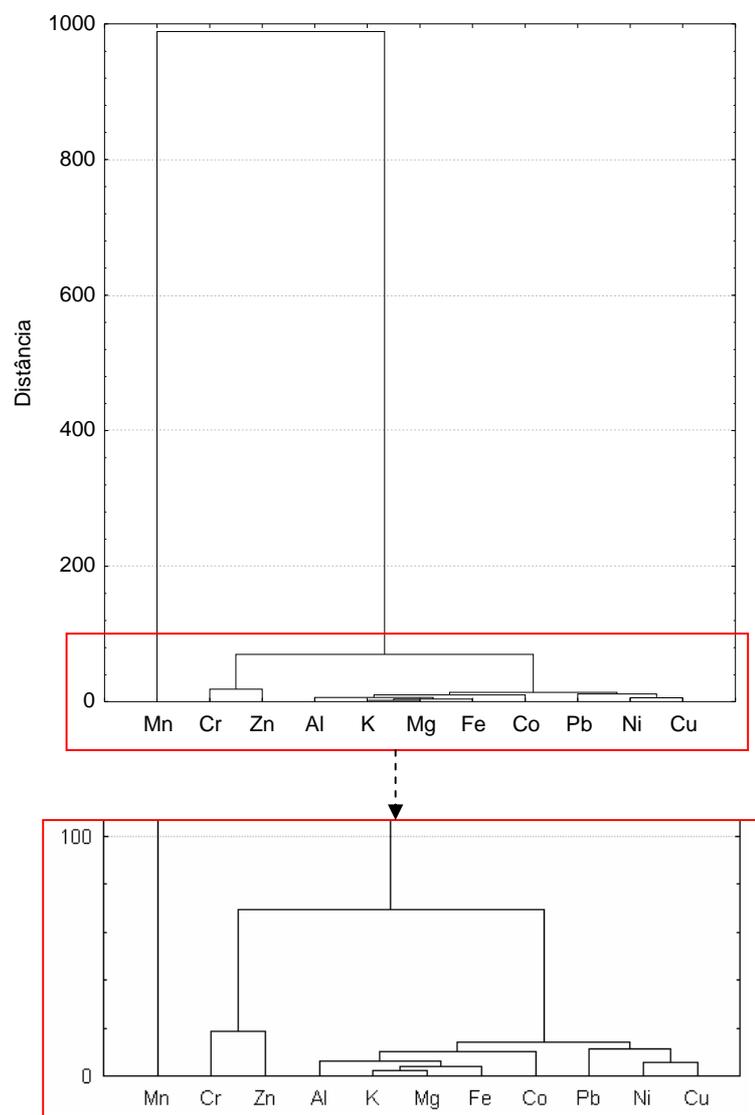


Figura 64 – A análise de agrupamento de Cluster dos metais em estudo e os metais (Al, Mg e K), verificado no testemunho IMI.

## 6 CONCLUSÕES

1) As fácies sedimentares identificadas nos testemunhos de fundo da baía de Guajará foram lama arenosa com laminação plano-paralela, lama arenosa com laminação cruzada, lama arenosa com estratificação cruzada longitudinal (barra em pontal) e laminação ondulada.

2) Os resultados granulométricos mostraram a predominância de silte arenoso, devido à quebra de fluxo de energia das correntes ao encontrar as ilhas como obstáculos, com exceção de uma amostra classificada como areia que é oriunda da margem adjacente à ilha Jararaquinha caracterizada por fortes correntes, tal como no Canal da Ilhas das Onças que prevaleceu areia siltica, pois as forças das correntes são de caráter erosivo. Essa análise granulométrica de sedimento demonstra que as regiões mais propícias ao acúmulo de metais pesados são aquelas localizadas nas partes mais internas desse estuário, pois são regiões mais protegidas e que favorecem o acúmulo de sedimentos finos (silte+argila).

3) Os argilominerais identificados por difração de raio-x na fração menor que 2  $\mu\text{m}$  são os mesmos em todas as amostras analisadas e compreendem caulinita, illita e esmectita. A baixa “cristalinidade” da esmectita, entretanto, sugere a presença de interestratificado irregular illita/esmectita.

4) Grande parte dos minerais pesados é provavelmente oriunda de Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras por retrabalhamento, com exceção de epidoto e hornblenda, que sugerem proveniência direta (primeiro ciclo) de rochas metamórficas/ígneas.

5) Os teores de matéria orgânica nos sedimentos não ultrapassam 3% e estão distribuídos de forma coerente à dinâmica estuarina, onde os menores valores de matéria orgânica foram encontrados em locais com hidrodinâmica fortes e/ou de caráter erosivo, como no Canal da Ilhas das Onças.

6) As concentrações obtidas dos metais analisados nos sedimentos superficiais de fundo estão abaixo dos índices PEL. Entretanto, Pb, Cr, Ni e Mn apresentam valores máximos superiores aos índices TEL e sugerem influência antropogênica.

7) Tanto nos sedimentos superficiais de fundo quanto nos testemunhos, o Mn pela análise de Cluster apresentou pouca correlação com metais (Al, Fe, Mg e K) que respondem pelos argilominerais e também com a matéria orgânica, enquanto que os demais metais pesados mostraram uma boa adsorção nos argilominerais e na matéria orgânica.

8) A baía de Guajará, que recebe um input de materiais poluentes, oriundos do lançamento de esgoto doméstico *in natura*, não apresenta, ainda, índices alarmantes de contaminação. Isso se deve principalmente à falta de fontes de poluentes (indústrias metalúrgicas principalmente) na cidade de Belém.

## REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Toxicological profile for lead*. Atlanta: Department of Health and Human Services, 1999. 587p. (Public Health Service).

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Toxicological profile for chromium*. Atlanta: Department of Health and Human Services, 2000. 461p. (Public Health Service).

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2003. *Draft toxicological profile for zinc*. Atlanta: Department of Health and Human Services, 309p. (Public Health Service).

AGENDA 21 - *Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento*. 1992. Disponível em: <http://www.sectam.pa.gov.br>. Acesso em 12 de março de 2007.

ALMEIDA, S. S. Ecossistemas de manguezal na Amazônia: uma abordagem ecológica sobre a presença humana, a flora e a fauna. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v .1, p.1-15. 1995.

ALLOWAY, B. J. *Heavy metal in soils*. New Yoek: John Wiley, 1993. 6p.

BEMERGUY, R. L. *Estudo sedimentológico dos paleocanais da região do rio Paracauari, Ilha do Marajó – Estado do Pará*. 1981. 95f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1981.

BIRCH, G. F.; TAYLOR, S. E. Assesment of possible sediment toxicity of contaminated sediments in Port Jackson, Sydney. *Hydrobiology*, v. 472, p. 19-27. 2002.

BOYLES, J. M.; SCOTT, A. J.; RINE, J. M. A logging from for graphic description of core and outcrop. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.56,n. 4., p.567-568. 1986.

CARVALHO, Z. L. *Caracterização geoquímica de sedimentos de fundo nas proximidades do distrito de Icoaraci – PA*. 2002. 75f Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2002.

CHAPMAN, P. M., et al. Appropriate applications of sediment quality values for metals and metalloids. *Environmental Science & Thechnology*, v.33, n. 22, p.3937-3941. 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo*. São Paulo, 1996. 251p. (Série Relatórios).

CORDEIRO, C. A. *Estudo da salinização no estuário do Rio Pará no trecho Belém-Moqueiro*. 1987. 109f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA, 1987.

CORNELL, R. M.; SCHWETMANN, U. *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses*. Weinheim: VCH, 1996. 573p.

DAVIES-COLLEY, R. J.; NELSON, P. O.; WILLIAMSON, K. J. Copper and cadmium uptake by estuarine sedimentary phases. *Environ Sci Technol*, v.18, p. 491-499. 1984.

DELFINO, I. B. *Geoquímica dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio maracanã, NE do Pará*. 2006. 150f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA, 2006.

DI TORO, D. M.; et al. Toxicity of cadmium in sediments: the role of acid volatile sulfide. *Environ Toxicol Chem*, v.9, p.1487-1502. 1990.

DYER, K. R. *Estuaries: a physical introduction*. 2 ed., Chichester: Wiley, 1997. 195p.

Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA). *Manual de métodos de análises de solo*. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 1997. 212p.

Environmental Protection Agency (EPA). The environmental lead problem: an assessment of lead in drinking water from a multimedia perspective. Washington, DC: U.S. 570/9-79-003, NTIS PB-296556. 1979.

EYSINK, G. G. J. *Subsídios para o manejo e recuperação de ecossistemas aquáticos contaminados por metais pesados*. 1995. 177f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia da USP, São Paulo, 1995.

FARIA JR, L. E.; TRUCKENBRODT, W. Estratigrafia e petrologia da formação Pedra de Fogo – Permiano da Bacia do Maranhão. In: Cong. Brás. Geol. 31º, 1980, Camboriú, *Anais...* Camboriú: SBG, 1980. 2, p.740 – 754.

FARIAS, E. dos S.; NASCIMENTO, F. S. do; FERREIRA, M. A. A. Estágio de Campo III. Relatório Final, área Belém/Outeiro. Belém/UFGA: Centro de Geociências. Departamento de geologia, 247p. 1992.

FOLK, R. L. *Petrology of sedimentary rocks*. 1974. 182p.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. 2º ed. Berlin; Springer – Verlag. 1983.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À TECNOLOGIA DO MEIO AMBIENTE (FATMA). *Presença de metais pesados na bacia de Babitonga*. Santa Catarina: FATMA, 1981. p. 47-53. (Diagnostico Preliminar).

GIBBS, R. J. The bottom sediments on the Amazon Shelf and Tropical Atlantic Ocean. *Marine Geology*, v.14, p.39 – 45. 1973.

GIANNETTI, B. F., et al. Nosso cromo de cada dia: Benefícios e riscos. *Revista de Graduação da Engenharia Química*, v.4. n. 8, p.10-17. 2001.

GILKES, R. J.; MCKENZIE, R. M. Geochemistry and mineralogy of manganese in soils. In: GRAHAM, R. D., HANNAM, R. J., UREN, N. C. (Ed.) *Manganese in soils and plants*. Dordrecht, kluwer Academic, p.23-35. 1988.

GOMES, C.F. *Argilas*. O que são e para que servem. Lisboa, Calouste Gulbenkian. 1988. 205p.

GRIM, R. E. *Clay mineralogy*. New York: McGraw-Hill, 1968. 596p.

GUSMÃO, L. F. M. *Efeitos do cobre e cromo na comunidade zooplanctônica: um estudo experimental em mesocosmos*. São Carlos. 2004. 268f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 2004.

GUY, R. D.; CHAKRABARTI, C. L. Studies of metal-organic interactions in model systems pertaining to natural waters. *Canadian Journal of Chemistry*, v.54, p.2600-2611. 1976.

HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Resource*, v.14, p. 975-1001. 1980.

HAMMOND, P. B.; FOULKES, E. C. Metal íon toxicity in man and animals. In: SIGEL, H. *Metal ions in biological systems*. New York: Marcel Dekker, v.20, p.157-200. 1986.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*, 4th ed. Boca Raton: CRC Press. 2000. 311p.

KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. *Treatment wetlands*. Florida: CRC Press/Lewis Publisher. Boca Raton. 1996. 893p.

KRAUSKOPF, K. B. *Introdução à geoquímica*. São Paulo: USP-EDUSP. 1972. 311p.

LEITE, M. A. *Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana-SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema*. 1998. 146f. Dissertação (Mestrado) – Universidade São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

LEMES, M. J. L. Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo. 2001. 248f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear) – USP, São Paulo, 2001.

LEMES, M.J.L., FIGUEIREDO FILHO, P.M., PIRES, M.A.F. Influência da mineralogia dos sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo na composição química das águas de abastecimento público. *Química Nova*, v.26 n.1, p. 13-20. 2003.

LIMA, R. R. A agricultura na várzea do estuário do Amazonas. Belém. 1956. 164p. *Bol. Tec. do Inst. Agron. do Norte*, 33.

LIMA, R. R. *Influência da água do mar no Rio Pará*. Belém, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP). 1979. (Inf. Téc, 3).

LORING, D. M.; RANTALA, R. T. T. Manual for the geochemical analyses of marina sediments and suspended particulate matter. *Eart – Science Riviews*, v.32, p.235-283. 1992.

MAHAN, B. H. *Química: um curso universitário*. 4ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1995. 452p.

MALAVOLTA, E. *Fertilizantes e impactos ambientais: micronutrientes e metais pesados: mitos mistificações e fatos*. São Paulo: Produquímica, 1994. 153p.

MARQUES, M. N. Cromatografia de íons aplicada na especiação de cromo hexavalente em amostras de interesse ambiental. 1999. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear e Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN. 1999.

MARTIN, R. B.; SIGEL, H. *Bioinorganic chemistry of metal ion toxicity*. In: SIGEL, H., ed. *Metal in ions biological systems*. New York, Marcel Dekker, v.18, p.21-65. 1980.

MAZZEO, T. E. Avaliação ambiental das vias de drenagem da região metropolitana de Belém-PA quanto à distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn. 1991. 141f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA, 1991.

MENDES, F. DA C ; PEREIRA, J. A. R. Programas de esgotamento sanitário na região metropolitana de Belém. In: *Saneamento ambiental em áreas urbanas: esgotamento sanitário na região metropolitana de Belém*. Belém: Ed. Jose Almir Rodrigues Pereira, 2003. 203p

MENEZES, L. B. C., Considerações biogeoquímicas de ecossistemas amazônicos: rios e lagos selecionados nas microregiões bragantina, do salgado, e guajarina. 1999. 169f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA, 1999.

MIALL, A. D. A review of the braided-river depositional environment. *Earth Science Reviews*, v. 13, Issue1, p.1-62. 1977.

MIRANDA, L. B. de; CASTRO, B. M. de; KJERFVE, B. *Princípios de oceanografia física de estuários*: Editora Universidade de São Paulo,. 2002. 418p.

MITCHELL, R. L. Trace elements in soil. In: BEAR, F. E. (Ed.). *Chemistry of the soil*. New York : Reinhold. 1964. p. 320-368.

MOORE, J. W.; RAMAMOORTHY, S. *Heavy metals in natural water*. Applied monitoring and impact assessment. New York: Springer-Varlag. 1984. 268p.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, JR. R. C. *X-ray diffraction and the analysis of clays minerals*. Oxford, Oxford: University Press. 1992. 332p

MORA, S. et al. An assessment of metal contamination in coastal sediment, Clark Fork river, Montana. *Environmental Geology and Water Research*, v.14, p. 107-115. 2004.

MOZETO, A. A. O. *Manejo da qualidade da água e da dinâmica do sedimento e do particulado das represas do Guarapiranga e do rio Grande, RMSP*. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 1996. (Projeto RHAE, Processo nº10419/95-1)

NASCIMENTO, M. R. L. *Proposição de valores de referência para concentração de metais e metalóides em sedimentos limnicos e fluviais da bacia hidrográfica do Rio Tietê-SP*. 2003. 111f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, 2003.

NASCIMENTO, F. S. do. *Dinâmica da distribuição dos poluentes metálicos e orgânicos nos sedimentos de fundo dos canais de drenagem de Belém – PA*. 1995. 127f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA, 1995.

OHLWEILER, O. A. *Química inorgânica*. São Paulo, EDUSP, p. 298-310. 1972.

PARKER, A. RAE, J. E. (eds) *Environment Interactions of clays (Clays and the environment)*. Alemanha, Spring-Verlag, 1998, 271p.

PENTEADO, A. R. *Geografia urbana de Belém*. Belém: Universidade Federal do Pará, 1967. 2v.

PEREIRA, K. R. *Caracterização geoquímica de sedimentos e águas superficiais da orla de Belém entre o canal do Una e o de Val de Cans (PA)*. 2001. 81f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA, 2001.

PINHEIRO, R. V. L. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará – Belém (PA)*. 1987. 164f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA, 1987.

QUINÁGLIA, G. A. *Estabelecimento de um protocolo analítico de preparação de amostras de solo para determinação de metais e sua aplicação em um estudo de caso*. 2001. 164f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2001.

RAMOS, J. F. F. Poluição e Contaminação da Orla de Belém – PA. In: UHLY, S.; SOUZA, E. L. de (Org.) *A questão da água na grande Belém*. Belém: Casa dos Estudos Germânicos; Fundação Heinrich Böll. 2004. p 121 –148.

RIBEIRO, K. T. S. *Qualidade sanitária da água em área de influência de duas bacias hidrográficas e saúde humana em Belém – Pará*. 280f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém, 2002.

RICHARD, F. C.; BOURG, A. C. M. Aqueous geochemistry of chromium: a review. *Water Resources*, v.25, p. 807- 816. 1991.

ROSSETTI, D. F. Late Cenozoic Sedimentary Evolution in Northeastern Pará, Brazil, Within The Context of Sea Level Changes. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 14, p. 77-89. 2001.

RUSSEL, J. B. *Química geral*. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1994. v.2, p.1048-1060.

SANTOS, P.S. *Ciência e Tecnologia das Argilas*, São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda. 1989. 96p.

SARYAN, L. A.; ZENZ, C. Lead and its compounds, In: ZENZ, O.C.; DICKERSON, B.; HORVATH, E.P. (Eds.), *Occupational medicine, mosby-year book Inc*, MO. 1994. 506 p.

SCHWENDENMAN, L. *Tidal and seasonal of soil and water properties in a Brazilian mangrove ecosystem*. Germany University of Karlsruhe. 1998. 101p.

SIEGEL, F. R.; KRAVITZ, J. H. Natural background levels of heavy metals and associated elements in trough sediment. *Geological Society of America*. Annual meeting. Boston, MA, USA, 2001. p.1-10.

SILVA, M. R. C. *Estudo de sedimento da bacia hidrográfica do Moji-Guaçu, com ênfase na determinação de metais*. 2002. 113f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, São Paulo, 2002.

SILVÉRIO, P. F. *Bases técnico - científicas para a derivação de valores-guias de qualidade de sedimentos para metais: experimentos de campo e laboratório*. 2003. 145f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003.

SINGH, M.; MÜLER, G.; SINGH, I. B. Geogenic distribution and baseline concentration of heavy metals in sediments of the Ganges River, India. *Journal of Geochemical Exploration*, v.80, p.1-17. 2003.

SOLOMONS, W., FORSTNER, U. *Metals in the hidrocycle*. Berlin: Springer- Verlag. 1984. 349p.

SUGUIO, K. *Rocha sedimentares: propriedades, gênese e importância econômica*. Edgard Blücher Ltda, 1980. 500p.

TSALEV, D. L.; ZAPRIANOV, Z. K. *Lead, Atomic absorption spectrometry in occupational and environmental health practice*, CRC Press, FL, 1985. vol. 1, 137 p.

THORTON, W. K. Perspectives on reservoir limnology. In THORTON, K. W. et al. (Ed.) *Reservoir limnology: ecological perspectives*. John Wiley ; Sons, Inc. 1990.

TUNDISI, J. G., MATSUMURA-TUNDISI, T, ROCHA, O. Limnologia de Água doce Interiores. Impactos, Conservação e Recuperação de Ecossistemas Aquáticos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Orgs.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, 1999. Cap.6, p.195-225.

TUREKIAN, K. K. ; WEDEPOHL, K. H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Am.*, v.72, p.175 – 192. 1961.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Contaminated national primary drinking water regulations*. Washington, 1998. 1v.

VALLE, C. E., *Qualidade ambiental*. O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente. São Paulo, Livraria Pioneira. 1995. 250p.

VELDE, B. (ed.). *Origin and mineralogy of clays*. Clays and the environment. Belin: Springer Verlag. 1995. 327p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Nickel. In: INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY, 108., 1991, Geneva. *Environmental Health Criteria*.. Disponível em: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc108.htm>>. Acesso em: 4 Jun. 2005.

ZHANG, J.; HUANG, W. W.; MARTIN, J. M. Trace metals distribution in Huangle (Yellow river) estuarine sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.26, p.:499-516. 1988.

**ANEXOS**

**ANEXO A – CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS E MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO**

<b>Amostras</b>	<b>Cu</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Pb</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Zn</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Ni</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Co</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Mn</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Fe</b> (%)	<b>Cr</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Mg</b> (%)	<b>Al</b> (%)	<b>K</b> (%)	<b>MO</b> (%)
IO-01	18	30,0	76	21,6	12,9	290	3,3	62,7	0,52	6,82	1,5	2,77
IO-03	12	29,2	57	13,4	9,1	519	3,0	47,8	0,34	4,93	1,21	0,65
IO-04	14	28,3	55	12,9	8,6	435	2,9	49,8	0,36	4,63	1,11	2,25
IO-05	19	35,8	80	20,3	12,2	633	4,1	65,1	0,49	6,5	1,36	1,74
IO-06	18	36,0	53	15,0	7,7	296	3,1	50,2	0,32	5,4	1,11	2,76
I.JA	21	42,9	94	25,4	14,1	705	4,7	70,2	0,63	7,35	1,4	0,45
I.MI	18	29,5	76	21,0	11,9	720	4,0	60,8	0,57	6,69	1,38	1,46
I.JU	19	31,1	85	22,6	11,0	455	3,9	63,4	0,58	6,6	1,47	2,41
C.V.C.	19	36,8	87	21,5	9,4	350	3,7	66,9	0,49	6,53	1,39	2,61
<b>Média</b>	18	33,3	73,7	19,3	10,8	489,2	3,6	59,7	0,48	6,16	1,35	1,90
<b>Mínimo</b>	12	28,3	53	12,9	7,7	290	2,9	47,8	0,32	4,63	1,11	0,45
<b>Máximo</b>	21	42,9	94	25,4	14,1	720	4,7	70,2	0,63	7,35	1,5	2,77
<b>D. Padrão</b>	2,8	4,9	15,1	4,4	2,2	166,5	0,6	8,3	0,1	0,9	0,1	0,89

**ANEXO B – CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NOS TESTEMUNHOS**

PONTOS	PROF (cm)	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ni (mg.kg <sup>-1</sup> )	Co (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Fe (%)	Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )
IO-01A	-2	13,9	20,7	55	17,8	10,2	266	2,69	49,5
IO-01B	-8	14,4	25,1	53	17,1	9,7	300	2,87	52,3
IO-01C	-14	13,7	17,4	49	15,9	9,1	267	2,54	48,6
IO-01D	-20	15,7	20,8	59	19,6	10,6	292	2,93	52,3
IO-01E	-26	15,3	20,5	58	20,2	11,2	292	3,04	57,3
IO-01F	-32	12,1	17,3	48	15,1	8,9	277	2,47	44,7
IO-01G	-38	11,4	15,9	44	14,6	8,2	305	2,43	43,5
IO-01H	-44	12,4	17	43	15,1	9,4	344	2,58	44,7
<b>MÉDIA</b>		13,6	19,3	51,1	16,9	9,7	292,9	2,7	49,1
<b>MÁX</b>		15,7	25,1	59	20,2	11,2	344	3,04	57,3
<b>MIN</b>		11,4	15,9	43	14,6	8,2	266	2,43	43,5
<b>D. PADRÃO</b>		1,5	3,0	6,1	2,1	1,0	25,2	0,2	4,8
IO-06A	-2	17,2	20,1	57	20,7	10,5	637	3,66	59,7
IO-06B	-8	20,2	22,5	58	24,1	11,6	695	3,9	69,1
IO-06C	-14	19,2	23,3	61	23,8	11,9	948	4,41	67,4
IO-06D	-20	22,7	23,7	65	27,3	11,9	764	4,91	69,6
IO-06E	-26	22,4	24,4	59	23,6	11,8	673	4,66	68,9
IO-06F	-32	19	22,1	53	21,5	11,6	739	3,6	59,3
IO-06G	-38	20	23,5	64	23,6	12,5	1180	4,59	64,6
<b>MÉDIA</b>		20,1	22,8	59,6	23,5	11,7	805,1	4,2	65,5
<b>MÁX</b>		22,7	24,4	65	27,3	12,5	1180	4,91	69,6
<b>MIN</b>		17,2	20,1	53	20,7	10,5	637	3,6	59,3
<b>D. PADRÃO</b>		1,9	1,4	4,2	2,1	0,6	193,6	0,5	4,4
IMI - A	-3	14,2	19,6	53	15,5	8,8	438	2,72	43,4
IMI - B	-9	10,7	16,1	37	10,7	6,1	241	2,13	34,5
IMI - C	-15	8,8	14,4	32	8,6	5,8	236	1,82	31,3
IMI - D	-21	8,9	15,9	35	9	5,9	233	1,77	29,6
IMI - E	-27	18,9	22	65	21,7	11,6	578	3,59	57
IMI - F	-33	18,9	21,9	69	23,1	12,1	620	3,78	60,6
IMI - G	-39	14,4	18,9	56	16,8	9,5	431	2,86	46,5
<b>MÉDIA</b>		13,5	18,4	49,6	15,1	8,5	396,7	2,7	43,3
<b>MÁX</b>		18,9	22	69	23,1	12,1	620	3,78	60,6
<b>MIN</b>		8,8	14,4	32	8,6	5,8	233	1,77	29,6
<b>D. PADRÃO</b>		4,3	3,0	15,0	5,9	2,7	164,6	0,8	12,3

## ANEXO C – ÍNDICES PEL E TEL

<b>Elementos</b>	<b>Dados mg.kg<sup>-1</sup> Máx. – Min.</b>	<b>Dados mg.kg<sup>-1</sup> média</b>	<b>PEL mg.kg<sup>-1</sup> média</b>	<b>TEL mg.kg<sup>-1</sup> média</b>
Cu	21,1 – 12,4	17,73	197	35,7
Cr	70,2 – 47,8	60,62	90	37,3
Ni	25,4 – 12,9	19,43	36	18
Pb	46,2 – 28,3	34,58	91,3	35
Zn	94 – 53	74,90	315	123
Mn	1027 – 290	543	-	-
Fe	4,71 – 2,87	3,71	-	-
Co	16 – 7,7	11,29	-	-