

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA – LAGEMAR**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**Caracterização do Registro Sedimentar Quaternário  
da Baía de Guanabara**

**IGOR KESTEMBERG MARINO**

Monografia apresentada  
para obtenção do título  
de bacharel em Geofísica  
– Universidade Federal  
Fluminense

**Niterói - RJ**  
**Dezembro 2011**

**Caracterização do Registro Sedimentar Quaternário  
da Baía de Guanabara**

Monografia apresentada  
para obtenção do título  
de bacharel em Geofísica  
– Universidade Federal  
Fluminense

**Orientador: Prof. Dr. Cleverson Guizan Silva**  
**Coorientador: Prof. Dr. José Antônio Baptista Neto**

**Niterói - RJ**  
**Dezembro 2011**

**Caracterização do Registro Sedimentar Quaternário**  
**da Baía de Guanabara**

Monografia apresentada à  
disciplina Projeto Final II do  
curso de Graduação em  
Geofísica – Universidade  
Federal Fluminense

**Aprovada por:**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dsc. Arthur A. Neto**

---

**Prof. Dsc. Gilberto T. M. Dias**

---

**Dsc. Estefan M. da Fonseca**

**Niterói - RJ**  
**Dezembro 2011**  
**AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pelas oportunidades que foram postas no meu caminho e por sempre me auxiliar em minhas escolhas.

À minha família, pelo apoio, incentivo, amizade, carinho, pelos bons momentos proporcionados e por estarem sempre ao meu lado nos momentos difíceis.

Aos amigos de infância pelas boas, e eternas, recordações

Aos amigos da turma de 2009 do curso de graduação em Geofísica por todos os momentos felizes.

Aos meus orientadores, Prof. Dsc. Cleverson Guizan e Prof. Dsc. José Antônio Baptista Neto por acreditarem no meu potencial e pela oportunidade de trabalhar no projeto atual.

Aos demais professores do Laboratório de Geologia Marinha da Universidade Federal Fluminense pelas discussões na literatura.

À Glória Caramuru e família, pela oportunidade de ensinar e aprender todos os dias nessa escola que é a vida.

Ao Carlos, da Biblioteca do Instituto de Geociências, por toda ajuda com a pesquisa bibliográfica e normas ABNT.

Ao Estefan Monteiro, pelo auxílio e paciência com algumas questões relevantes para o desenvolvimento do presente trabalho.

À minha namorada, e melhor amiga, Tamirys Novaes, sempre ao meu lado me incentivando e trazendo alegria e tranquilidade nos momentos em que mais precisei.

Ao CNPQ, pela bolsa de Iniciação Científica.

Ao DHN por ceder as cotas batimétricas.

E a todos os outros que contribuíram de alguma forma.

## RESUMO

O presente trabalho apresenta uma re-análise das informações sedimentológicas, geoquímicas, morfológicas e oceanográficas da baía de Guanabara associadas aos dados de levantamentos de sísmica de alta resolução. A batimetria de detalhe revela a relação entre as principais drenagens emersas e os canais submersos na Baía de Guanabara, demonstrando que os sistemas fluviais do entorno da baía convergiam para o canal central.

O preenchimento sedimentar observado nos perfis apresenta pelo menos três unidades sísmicas distintas, sendo que a inferior tem características acústicas e de geometria deposicional compatíveis com deposição em ambiente fluvial, recobertos pelas unidades superiores que representam o preenchimento estuarino subatual e atual. Não foi possível observar os depósitos da Fm. Macacu nos dados coletados. Os sedimentos superficiais predominantemente lamosos, ricos em matéria orgânica, apresentam altas concentrações de metais pesados, oriundos das atividades antrópicas principalmente nas regiões de fundo da Baía. A análise dos testemunhos coletados revelou aumento nas concentrações de metais pesados associado ao desenvolvimento da área do entorno da Baía de Guanabara.

## **ABSTRACT**

This paper presents a re-analysis of sedimentological, geochemical, morphological and oceanographic information from Guanabara Bay associated with high resolution seismic data surveys. The detailed bathymetry reveals the correlation between main drainage systems emerged and submerged channels, showing that the river systems around the bay converged for the central channel.

The sedimentary deposits observed in profiles has at least three different seismic units, the bottom one has acoustic characteristics and depositional geometry compatible with deposition in fluvial environment, covered by the units that represent the upper sub actual and recent estuarine fill. There was no evidence of Macacu Formation deposits among the collected data. The predominantly muddy bottom sediments rich in organic matter, presents high concentrations of heavy metals from human activities, especially in the bottom of the bay. The analysis of the collected cores revealed increasing in heavy metals concentrations associated with the development of the surrounding area.

## LISTA DE FIGURAS

**FIGURA 1** – Perfilagem Sísmica Contínua – geometria e arranjo dos hidrofones (modificado de Souza, 1988)

**FIGURA 2** – Geometria do sinal e tipo de dado gerado pelo ecobatímetro (modificado de Barros, 2006)

**FIGURA 3** – Área de estudo (Imagens Landstat 7 – Fonte: INPE)

**FIGURA 4** – Aporte de água doce na Baía de Guanabara (modificado de Kjerfve *et al*, 1997)

**FIGURA 5** – Geocronologia da Baía de Guanabara durante o Quaternário, depósitos associados (Amador, 1980; Angulo & Lessa, 1997) e respectivos paleocenários: (a) Último período glacial – 20.000-18.000 A.P; (b) Máximo transgressivo – 6.000-5.000 A.P. (modificado de Amador, 1997)**FIGURA 6** – Geometria do sinal e tipo de dado gerado pelo ecobatímetro (modificado de Barros, 2006)

**FIGURA 6** – Mapa Geomorfológico proposto por Ruellan (1944)

**FIGURA 7** – Pontos de coleta das 92 amostras e 16 testemunhos

**FIGURA 8** – Material utilizado na coleta das 92 amostras.

**FIGURA 9** – Linhas sísmicas efetuadas

**FIGURA 10** – Batimetria 3D associada à altimetria da bacia de drenagem.

**FIGURA 11** – Mapa batimétrico da Baía de Guanabara

**FIGURA 12** – Distribuição pontual dos sedimentos de fundo e localização das 92 amostras coletadas

**FIGURA 13** – Mapas interpolados de distribuição dos sedimentos de fundo

**FIGURA 14** – Distribuição de M.O. nos sedimentos de fundo e associação com a granulometria.

**FIGURA 15** – Perfil sísmico 23(12)/(11)

**FIGURA 16** – Perfil sísmico 23(10)/(9)

**FIGURA 17** – Perfil sísmico 23(6)

**FIGURA 18** – Perfis sísmicos e correlação com o testemunho coletado

**FIGURA 19** – Descrição dos testemunhos 7,8 e 9 coletados e sua relação com os pacotes sedimentares

**FIGURA 20** – Localização dos testemunhos coletados

**FIGURA 21** – CORES 3 e 6

**FIGURA 22** – CORES 8 e 13

**FIGURA 23** – CORES 14 e 15

**FIGURA 24** – CORE 16

**FIGURA 25** – Concentrações de metais pesados nos sedimentos de fundo

**FIGURA 26** – Possíveis erros associados ao interpolador, representados por “falsas” drenagens

## LISTA DE TABELAS

**TABELA 1** – Possíveis fontes de Metais Pesados encontrados nos sedimentos de *runoff* (proposto por Harrop, 1983)

**TABELA 2** – Fontes naturais e antropogênicas dos metais pesados. Fontes: ATSDR, 1997; Mushak, 1980; HSDB, 2000; WHO, 1998; ATSDR, 1990; ATSDR, 1994; ATSDR, 2000; WHO, 1988.

**TABELA 3** – Síntese comparativa entre as taxas de sedimentação na porção norte da Baía de Guanabara

**ANEXO V** – Tabela com a localização das 92 amostras coletadas

**ANEXO VI** – Tabela com a localização dos 16 testemunhos.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
1.1	PRINCÍPIOS DA SÍSMICA RASA	13
1.2	PRINCÍPIOS DA ECOBATIMETRIA	14
1.3	GEOFÍSICA APLICADA A PROBLEMAS AMBIENTAIS	15
1.4	ÁREA DE ESTUDO	16
1.4.1	<b>Evolução Geológica</b>	19
1.4.2	<b>Características Ambientais</b>	23
1.4.3	<b>Histórico das Pesquisas Realizadas</b>	24
1.4.4	<b>Poluição por Metais Pesados</b>	27
1.5	PRINCIPAIS OBJETIVOS	31
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	32
2.1	INTERPRETAÇÃO DAS AMOSTRAS E TESTEMUNHOS	32
2.2	LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS	34
2.3	INTERPOLAÇÃO E PLOTAGEM DOS DADOS	37
<b>3</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	38
3.1	MAPA BATIMÉTRICO	38
3.2	ANÁLISE DOS SEDIMENTOS DE FUNDO	40
<b>3.2.1</b>	<b>Distribuição espacial</b>	40
<b>3.2.2</b>	<b>Concentrações de matéria orgânica</b>	40
3.3	PERFÍS SÍSMICOS	52
<b>3.3.1</b>	<b>Caracterização dos depósitos sedimentares</b>	52
3.3.1.1	Setor sul	56
3.3.1.2	Setor central	41
3.3.1.3	Setor norte	42
3.4	VARIAÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS	45
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	58
<b>5</b>	<b>ANÁLISE QUALITATIVA DE ERROS</b>	59
<b>6</b>	<b>PROPOSTAS PARA PESQUISAS FUTURAS</b>	60
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	62

<b>8</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>69</b>
8.1	I - MAPA BATIMÉTRICO	69
8.2	II - MAPA DE ISOLINHAS	70
8.3	III - MAPA DE SELECIONAMENTO	71
8.4	IV - MAPA DE ATIVIDADES NO ENTORNO DA BAÍA	72
8.5	V - LOCALIZAÇÃO DAS 92 AMOSTRAS	73
8.6	VI - LOCALIZAÇÃO DOS 16 TESTEMUNHOS	74

## **1 INTRODUÇÃO:**

Nos últimos anos com o desenvolvimento dos grandes centros urbanos e das atividades industriais, juntamente com o aumento da demanda por recursos naturais, os ecossistemas vêm sendo cada vez mais pressionados. Mediante tal cenário o estudo das características geoambientais e geofísicas, tal como da influência antrópica, se torna cada vez mais imprescindível para o entendimento dos principais fatores de controle de tais mudanças. O presente trabalho se insere no contexto de evolução geológica e de caracterização do preenchimento sedimentar de ambientes costeiros, como baías e estuários, com particular atenção para a Baía de Guanabara. Faz parte de uma das linhas de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense, no que concerne a investigação dos sistemas sedimentares siliciclásticos costeiros, com foco na organização do registro sedimentar e dos processos deposicionais sob influência das variações eustáticas globais e climáticas e das modificações ambientais sob a intervenção antrópica.

Estudos realizados pela equipe de pesquisadores do Departamento de Geologia da UFF, têm se voltado para a análise de dados geológicos, geofísicos, oceanográficos e geoquímicos de sedimentos de fundo e de material particulado em suspensão, para caracterização da distribuição sedimentar na baía e da presença e teores de poluentes. Outra linha de ação visa à determinação das taxas de sedimentação para caracterizar os níveis de assoreamento nas últimas décadas em decorrência da ação antrópica.

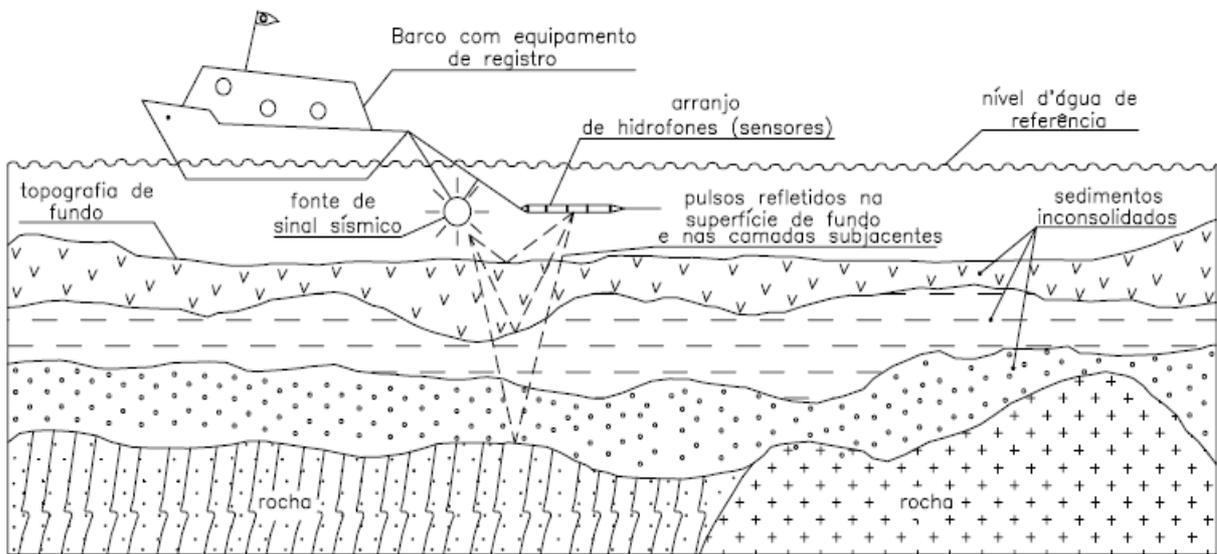
Assim sendo, o presente trabalho apresenta uma re-análise das informações sedimentológicas, geoquímicas, morfológicas e oceanográficas da baía de Guanabara associadas a dados inéditos e levantamentos de sísmica de alta resolução, tornando possível a caracterização mais detalhada do preenchimento sedimentar da Baía de Guanabara durante o Quaternário, tendo em vista que os trabalhos até então realizados têm se restringido à sedimentação Holocênica.

## 1.1 PRINCÍPIOS DA SÍSMICA RASA

A sismica de reflexão consiste basicamente na caracterização da profundidade das superfícies refletoras e sua influência sobre as velocidades da onda em camadas subsuperficiais (Lowrie, 2006). Um sinal sísmico é induzido em determinada localização conhecida, e seu eco refletido no limite das camadas de diferentes características físicas é gravado e, posteriormente analisado.

Os geofones e geradores de ondas sísmicas ativados por pulsos são distribuídos na região de reflexão subcrítica e geometricamente arranjados em relação ao ponto de disparo – evitando assim a chegada de ondas refratadas. Uma vez estabelecida a distância, os únicos sinais recebidos são as ondas diretas, que viajam na interface da superfície até o geofone, e as ondas sísmicas refletidas nas interfaces em subsuperfície. Os dados de levantamentos sísmicos são normalmente aferidos ao longo de perfis retilíneos que cruzam as estruturas geológicas, ou alvos. Os tempos de percurso recordados nos geofones ao longo de um perfil são plotados na forma de uma seção temporal bidimensional ou tridimensional, caso haja necessidade de cobrir uma área maior.

A aplicação mais comum da sismica de reflexão de alta resolução é em perfis contínuos, onde os geofones são dispostos ao longo do eixo que passa pelo ponto de disparo. O sistema de aquisição de dados é composto basicamente da fonte repetitiva de sinais sísmicos com características específicas para atuar na água, um sistema de recepção do sinal sísmico, que são rebocados na superfície da água, e um sistema de gravação, processamento e impressão dos dados que é instalado no interior da embarcação (Figura 1). Para reduzir o ruído sísmico todo ponto recordado é representado por um grupo de geofones interconectados, e o procedimento é repetido ao longo de todos os pontos do perfil.



**Figura 1 – Perfilagem Sísmica Contínua – geometria e arranjo dos hidrofones (modificado de Souza, 1988)**

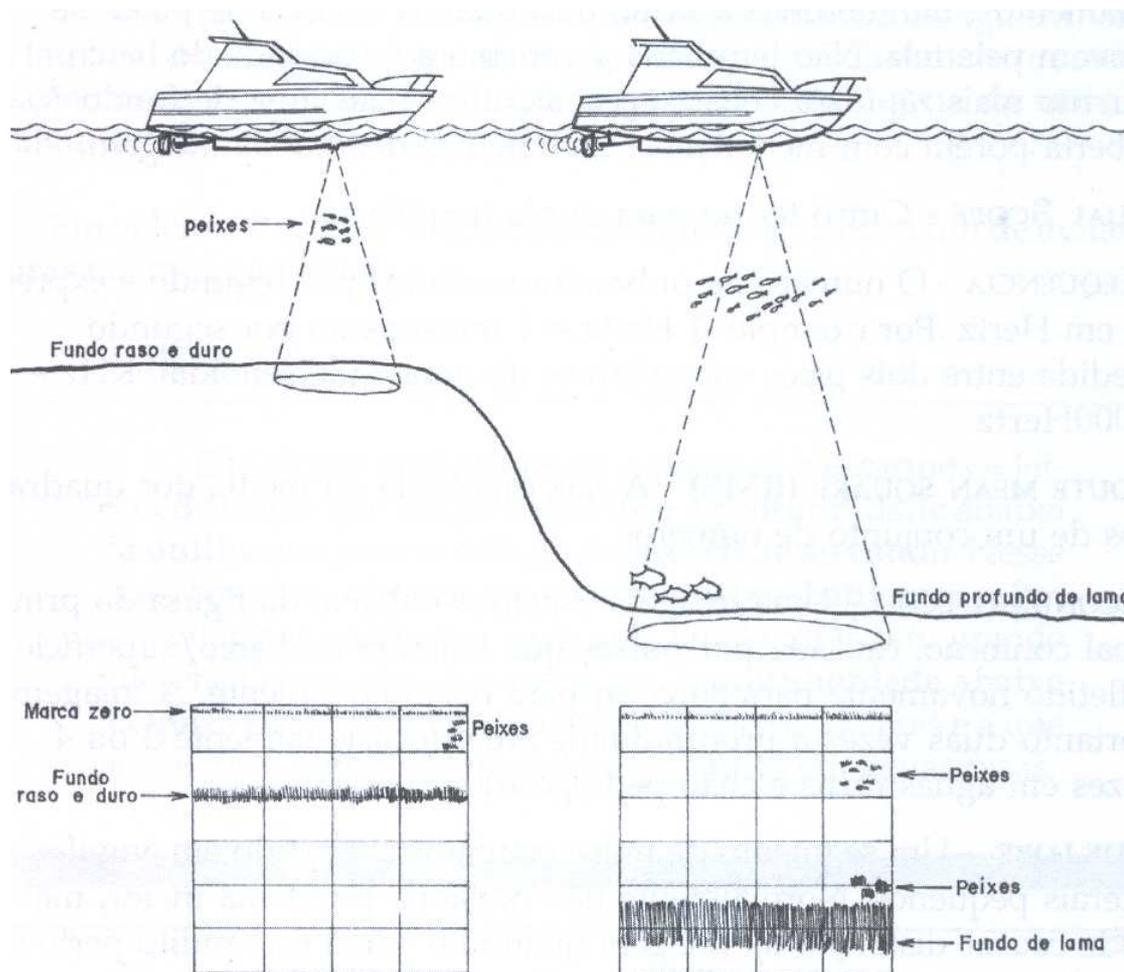
## 1.2 PRINCÍPIOS DA ECOBATIMETRIA

Um levantamento batimétrico tem por objetivo realizar as medições de profundidades associadas a uma posição na superfície d'água, necessárias em áreas marítimas, fluviais, em lagoas, e em canais naturais ou artificiais, navegáveis ou não, visando a representação destas profundidades em uma carta. As profundidades são de extrema importância para que se possam representar as linhas isobáticas, as quais permitirão a visualização da topografia submersa. Diversos instrumentos podem ser empregados na medição de profundidades, dentre eles: o prumo de mão, a máquina de sondar, as estádias e os ecobatímetros.

A determinação da profundidade imediatamente abaixo da localização da embarcação consiste no princípio básico de funcionamento do ecobatímetro, em que um sinal elétrico controlado de saída gera um número conhecido de pulsos sonoros por segundo. Ao emitir o pulso sonoro imediatamente o ecobatímetro inicia a medição do tempo entre sua transmissão e respectiva recepção (Barros, 2006), conforme observado na figura 2. O ecobatímetro é calibrado para velocidades de 1500 m/s, sendo que nos corpos d'água a velocidade é ligeiramente maior, assim as profundidades aferidas são sempre menores que as

profundidades existentes. Em levantamentos efetuados em águas rasas o erro será muito pequeno e, desta forma, desconsiderado.

Este método tem vasta aplicação na confecção de cartas náuticas, nos estudos para implantação de rotas de navegação e monitoramento de processos de erosão e assoreamento de reservatórios. Os equipamentos utilizados são bastante portáteis o que propicia ao método grande versatilidade operacional.



**Figura 2 - Geometria do sinal e características dos dados gerados pelo ecobatímetro (modificado de Barros, 2006)**

### 1.3 GEOFÍSICA APLICADA A PROBLEMAS AMBIENTAIS

A geofísica aplicada é bastante restrita a profundidades menores (dezenas a centenas de metros, no caso de levantamentos em lagunas, estuários e rios). Utiliza-se dos métodos e conceitos oriundos da geofísica da Terra sólida e o seu objetivo está geralmente voltado para questões de ordem econômica, tecnológica e social. A sísmica de reflexão, por exemplo, teve um grande desenvolvimento com objetivo voltado para a prospecção de matérias primas necessárias à evolução tecnológica e social da civilização moderna, destacando-se o petróleo e os recursos minerais existentes a grandes profundidades em subsuperfície (da ordem de centenas a poucos milhares de metros).

A partir das décadas de 70 e 80, a geofísica aplicada tem também atuado de forma marcante na engenharia, hidrogeologia e no meio ambiente, em levantamentos voltados à investigação de alvos relativamente mais rasos (da ordem de dezenas a poucas centenas de metros). O quadro atual e preocupante do problema da poluição de solos e águas subterrâneas tem estimulado os profissionais ligados às Ciências da Terra a pesquisar formas para estudar, avaliar e procurar novas soluções que possam minimizar os efeitos danosos causados pela disposição de resíduos em interação direta com o meio físico e influência do homem nos processos naturais. Dentre esses caminhos pode ser enquadrado o uso de métodos geofísicos. A natureza não invasiva dos métodos geofísicos, aliada a possibilidade de associação com levantamentos diretos, ao baixo custo operacional, rapidez e facilidade de aplicação dos ensaios, torna-os particularmente adequados para aplicação no estudo de tais problemas.

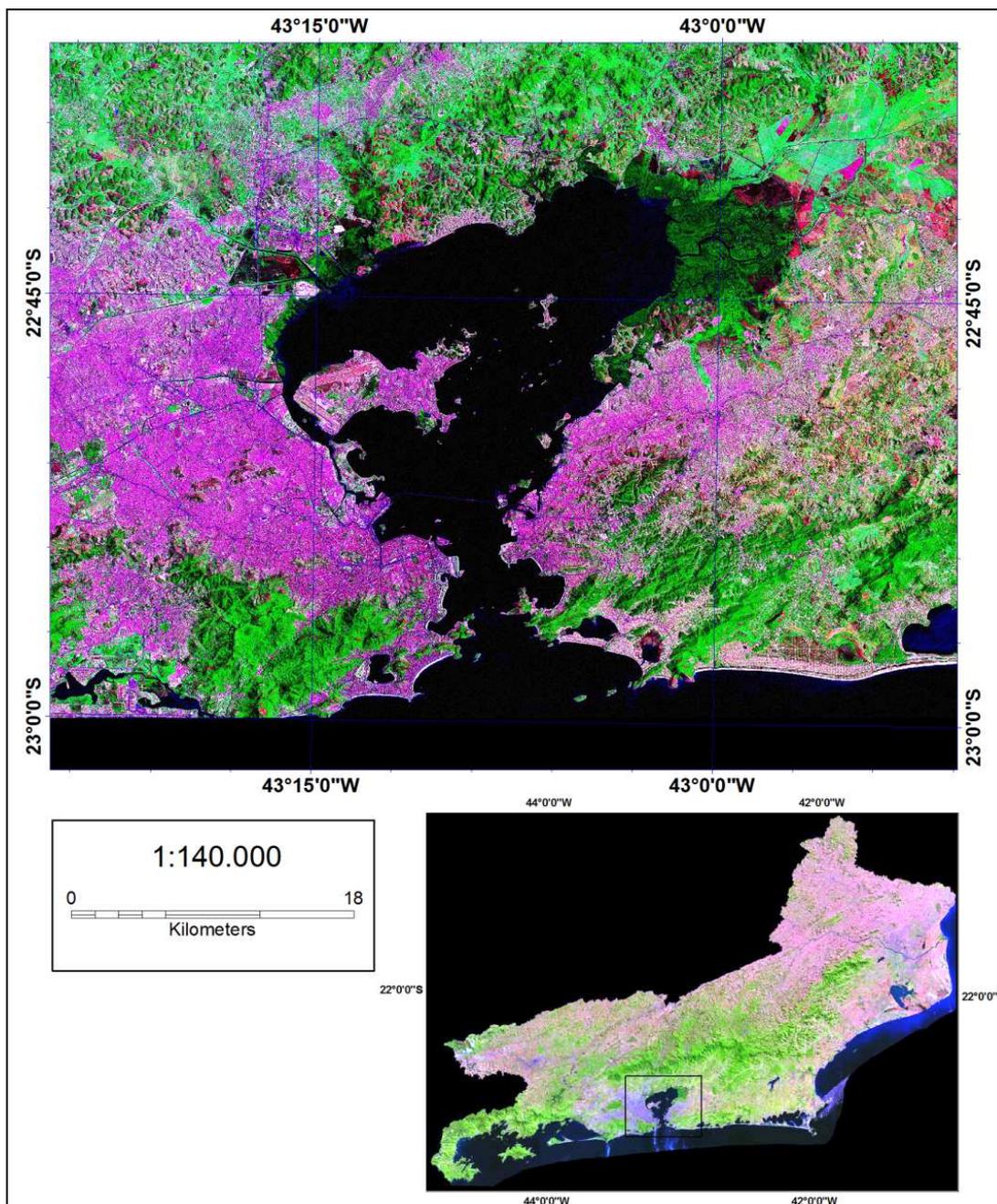
Uma justificativa ainda mais forte para a aplicação da geofísica, além das citadas acima, é que algumas técnicas fornecem dados contínuos sobre o local estudado, podendo, portanto, reduzir muito a necessidade de dados diretos e específicos, assim como permitem uma análise em escala temporal e espacial bastante detalhada. Dentro desse contexto, alguns métodos geofísicos, como a sísmica de alta resolução e a ecobatimetria, vêm sendo utilizados para identificar e mapear locais de maior vulnerabilidade ambiental.

#### 1.4 ÁREA DE ESTUDO

A Baía de Guanabara encontra-se inserida no denominado sistema hidrográfico da Bacia da Guanabara (Silveira, 1964) e constitui uma das mais proeminentes baías de toda a costa brasileira. Situa-se no Estado do Rio de Janeiro, na região metropolitana que compreende as cidades de Niterói, São Gonçalo e Rio de Janeiro, entre as latitudes de 22°40' e 23°00' S e longitudes 43°00' e 43°20' O (Figura 3).

Seu perímetro total é de 131 km, com extensão máxima de 30 km de Norte a Sul e cerca de 28 km de Leste a Oeste (Kjerfve *et al*; 1997), ocorrendo um estreitamento em sua barra, entre os Forte São João e a Fortaleza Santa Cruz, tendo sua largura restringida a 1,6 km (Quaresma, 1997).

Sua superfície possui área aproximada de 381 km<sup>2</sup>, até sua entrada no alinhamento entre as pontas de Santa Cruz e de São João, com volume médio de água de aproximadamente 1,87 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>. Apresenta uma batimetria bastante complexa destacando-se a existência de um canal central, com aproximadamente 400 m de extensão, cuja profundidade máxima é de 58 m próximo à entrada da Baía e a mínima em torno de 5.7 m na porção mais interna.

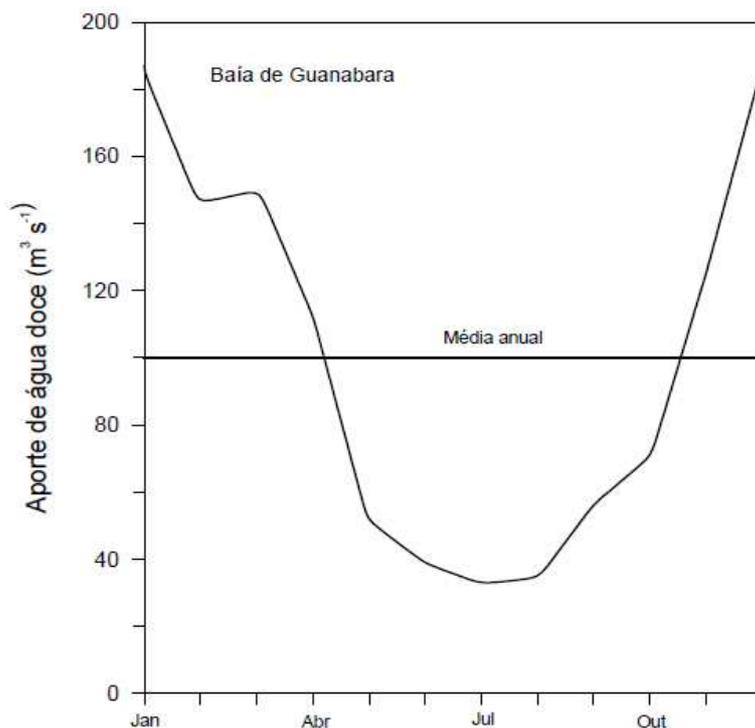


**Figura 3 – Área de estudo (Imagens Landstat 7 – Fonte: INPE)**

Estudos realizados por Kjerfve, *et al* (1997) concluíram que a Baía de Guanabara possui descarga média anual em torno de 100 m<sup>3</sup>/s, tendo como máximo 186 m<sup>3</sup>/s entre dezembro e janeiro e mínimo de 33 m<sup>3</sup>/s entre junho e agosto (fig. 4).

Em função da forte ação das correntes de maré o tempo médio de renovação de 50% das águas da baía é de aproximadamente 11,4 dias (Kjerfve *et al.* 1997), o que explica a qualidade relativamente boa da água na metade distal da baía. Para o interior da baía este

tempo de renovação é mais longo e o maior aporte de poluentes, principalmente na metade oeste da baía (Mayr *et al.* 1989), cria zonas altamente poluídas. A bacia de drenagem na qual a baía de Guanabara se encontra inserida ocupa uma área de 4180 km<sup>2</sup>, compreendendo os municípios de Duque de Caxias, São João de Meriti, Belford Roxo, Nilópolis, São Gonçalo, Magé, Guapimirim, Itaboraí, Tanguá, Rio de Janeiro, Niterói, Nova Iguaçu, Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito e Petrópolis.



**Figura 4 – Aporte de água doce na Baía de Guanabara em função dos meses do ano (modificado de Kjerfve *et al.*, 1997).**

#### **1.4.1 Evolução Geológica:**

A margem continental do sudeste do Brasil constitui uma margem passiva bastante atípica, uma vez que suas características diferem da caracterizada pela Teoria da Tectônica de Placas. Segundo Zalán & Oliveira (2005) posterior ao processo de rifteamento (135 – 115 M.a.) teve início um soerguimento de natureza epirogenética da crosta continental relativo à passagem da Placa Sul-Americana sobre uma anomalia térmica, denominada ponto quente de Trindade. Tal soerguimento ocorreu no Cretáceo Superior (89-65 M.a.) e foi seguido de intenso magmatismo de caráter alcalino, sobre a crosta continental mais espessa, e básico sobre a porção da crosta continental mais afinada.

A denominada Serra do Mar Cretácea, um megaplanalto de aproximadamente 300.000 km<sup>2</sup> formado durante este período, tornou-se a principal área fonte de sedimentos das bacias de Santos, Campos e Paraná. Conforme se elevava, seu topo era erodido e nivelado de forma progressiva. Ao final do processo de soerguimento e erosão (Cretáceo Superior/ Terciário Inferior) uma superfície de aplainamento, denominada Superfície Japi, nivelou-o a cerca de 2.000 m em relação ao nível do mar atual.

Cerca de sete mil anos após o término do soerguimento todo megaplanalto tornou-se instável isostaticamente, causando assim seu colapso em direção às áreas deprimidas. A crosta continental fendeu-se e afundou-se em diversas áreas lineares formando *rifts* paralelos à costa, caracterizada como *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989; Ferrari, 1990; Ferrari & Silva, 1997).

Tanto a bacia hidrográfica contribuinte como a própria baía de Guanabara correspondem a um desses compartimentos estruturais rebaixados tectonicamente, de idade Cenozóica, denominado *Rift* da Guanabara ou Baixada Fluminense (Ruellan, 1944; Almeida, 1976; Asmus e Ferrari, 1978; Ferrari, 1990). Segundo Ruellan (1944), a baía se originou de uma depressão de ângulo de falha entre dois grupos de blocos falhados: o da Serra dos Órgãos e dos pequenos maciços costeiros. As linhas estruturais que condicionaram a existência da Baixada seriam reativações Cenozóicas de antigas linhas estruturais Pré-Cambrianas (Almeida, 1976).

A baía deve suas formas mais originais à invasão e acumulação marinhas, sendo denominada por Ruellan (1944) de "Ria da Guanabara". O sistema de drenagem da Guanabara só começa a se instalar no último período interglacial, há cerca de 200.000 anos A. P. Evidências geológicas encontradas na Formação Macacu (Grupo Barreiras) sugerem, durante parte do Cenozóico (Terciário Superior, Plioceno e Pleistoceno Médio), uma drenagem era direcionada basicamente para a atual Baixada de Sepetiba, posteriormente ocorrendo sua captura, por erosão à montante, pelo paleocanal da Guanabara. Tal evento pode ser explicado pelo fato de embora a bacia contribuinte para a Baía de Guanabara tenha remanescentes sedimentares desde o Terciário Superior (Formação Macacu e Pré-Macacu) as seqüências observadas no assoalho da baía, a partir de sondagens, revelam depósitos somente a partir do Pleistoceno Superior (Wisconsin) da Formação Caceribu.

Durante o último período glacial há cerca de 20.000 – 18.000 A.P. a Baía de Guanabara sofria alterações significativas no seu paleoambiente. Os depósitos fluviais da

Formação Caceribu indicam posição de nível de mar abaixo do atual, até cerca de 100 metros, clima seco, e um sistema de drenagem entrelaçado, com canais rasos e largos. A linha de costa, nesta época se situaria a dezenas de quilômetros da atual, em direção ao oceano. A plataforma continental encontrava-se praticamente toda exposta a condições subaéreas e nela se desenvolviam feições típicas de áreas costeiras. As ilhas atuais constituíam porções mais elevadas de fragmentos dos maciços litorâneos (Amador, 1997).

Há cerca de 16.000 A. P., iniciou-se o processo de afogamento gradual da bacia fluvial pleistocênica, por águas marinhas, marcando o início do Holoceno Inferior. Esta fase transgressiva é denominada de Transgressão Guanabarina (Amador, 1980). No máximo desta transgressão, entre 5000 e 6000 A. P. (Bigarella, 1970, In: Amador, 1980), a baía apresentava uma área de aproximadamente 800 km<sup>2</sup>, aproximadamente duas vezes maior que a atual. O nível relativo do mar variava entre 3 m e 4 m acima do atual o que possibilitou a formação de pequenas falésias nos depósitos das formações Macacu e Carceribu. Todo o conjunto do relevo, representado pelos maciços litorâneos, possuíam uma condição insular.

A figura 5 apresenta um modelo cronológico para os principais eventos responsáveis pela formação das seqüências deposicionais e compara os paleocenários da Baía de Guanabara relativos ao último glacial (5a), ocorrido cerca de 20.000 – 18.000 A.P. e ao máximo transgressivo (5b), 6.000 – 5.000 A.P., respectivamente.

Segundo Amador (1997), entre 3800 e 3000 A. P., uma nova fase transgressiva teria elevado o nível do mar em cerca de 1,5 m em relação ao atual, sendo esta responsável pela formação de praias fósseis. Na retaguarda da linha de costa, segmentos primitivos da baía, truncados pela sedimentação mais recente transformaram-se em lagunas (Itaipu, Piratininga entre outras). Além disso, a influência das marés estendia-se por muitos quilômetros para o interior da baía permitindo o desenvolvimento de extensos manguezais. Há cerca de 3000 anos, a área da superfície do espelho d'água da Baía de Guanabara já era muito similar à atual. No entanto, estudos mais recentes (Dias & Kjerfve, 2008) indicam uma queda praticamente linear no nível relativo do mar a partir do últimos 5000 anos, contradizendo assim o modelo adotado por Amador (1997) para a formação das lagunas litorâneas.

Logo, o modelo aceito propõe que o desequilíbrio gerado em função do atual nível do mar foi o principal responsável pela convergência dos sistemas de drenagem para a baía de Guanabara.

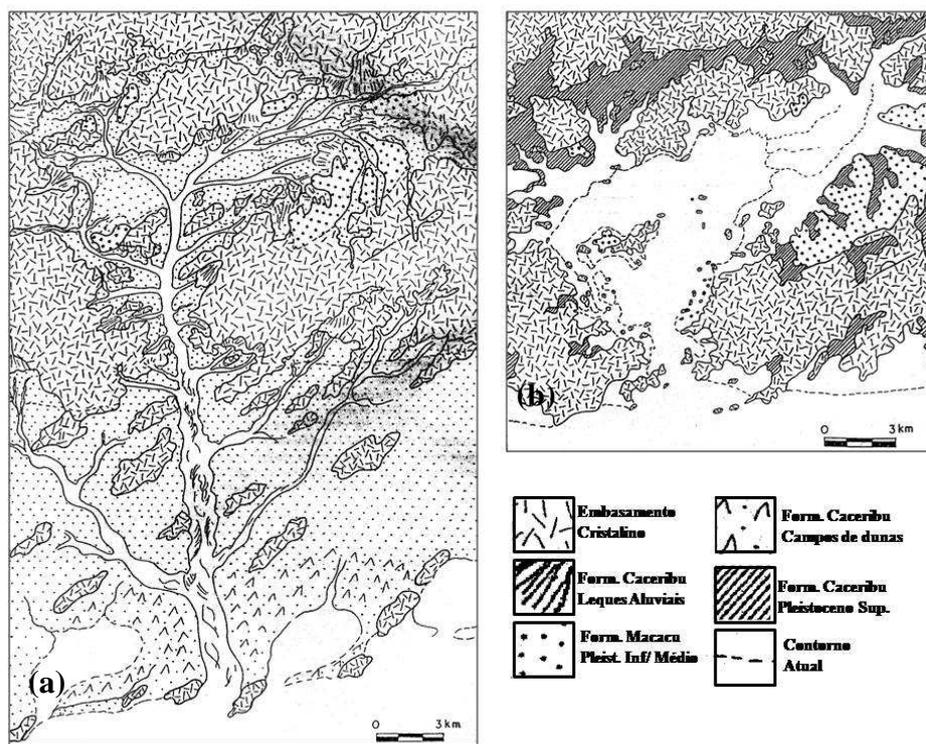
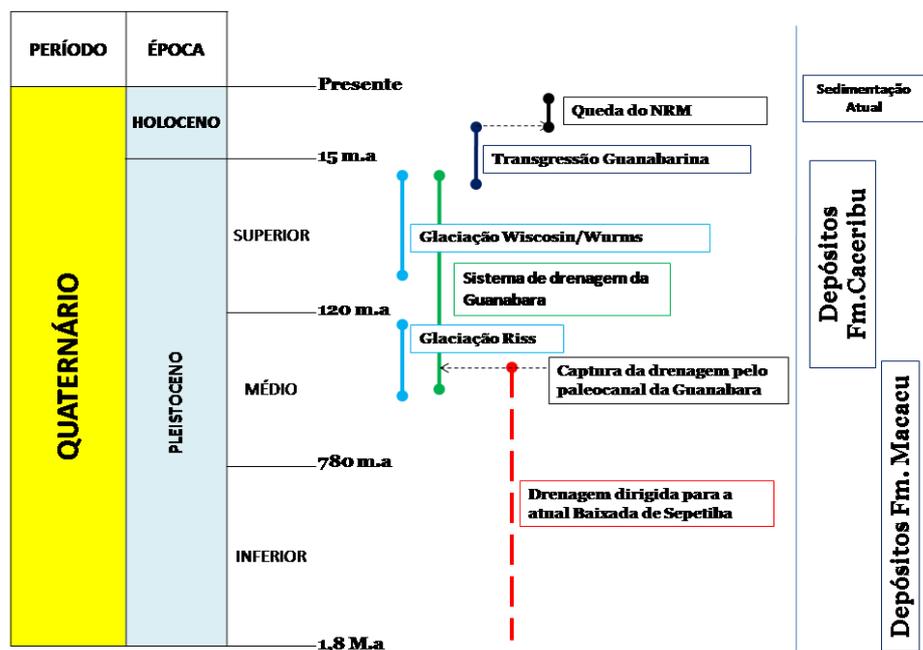


Figura 5 - Geocronologia da Baía de Guanabara durante o Quaternário, depósitos associados (Amador, 1980; Angulo & Lessa, 1997) e respectivos paleocenários: (a) Último período glacial – 20.000-18.000 A.P.; (b) Máximo transgressivo – 6.000-5.000 A.P. (modificado de Amador, 1997).

#### 1.4.2 Características ambientais

A Baía de Guanabara caracteriza-se como um estuário, ou seja, um ambiente onde ocorre mistura de água salgada com a água doce oriunda principalmente da drenagem superficial e/ou subterrânea (Burton, 1976). Conforme sugerido por Baptista Neto *et al.* (2006) a classificação de um ambiente estuarino é fortemente influenciada pelo seu padrão de circulação, padrão este que depende, por sua vez, de diversos fatores como ondas, ventos, volume da descarga fluvial e amplitudes de maré. A interação entre o prisma de água fluvial e o prisma de água do mar conduz o padrão de circulação estuarina. Variando a influência de um ou outro fator ocorrem, conseqüentemente, mudanças no padrão de distribuição e deposição dos sedimentos neste determinado ambiente.

Os ambientes estuarinos modernos comumente são cercados por centros industriais e urbanos. Como conseqüência estes corpos de água tornam-se o destino final de efluentes industriais e domiciliares gerados em todo seu entorno. Normalmente os ambientes estuarinos pressionados sob forte influência antrópica tendem a apresentar depósitos de sedimentos contaminados com altas concentrações de metais pesados (Baptista Neto *et al.*, 2006).

Nas últimas décadas a crescente e descontrolada urbanização do território adjacente à baía acelerou o processo de erosão de todo terreno circunvizinho e conseqüentemente aumentou o aporte sedimentar na baía. Tal aumento no *input* sedimentar vem elevando gradativamente as taxas de assoreamento do sistema, afetando assim todo ecossistema dependente da qualidade ambiental de tal estuário, visto que além de sedimentos vários resíduos poluentes, industriais e domésticos, são despejados diariamente na baía (Amador, 1980).

Dentre as potenciais fontes de poluição no entorno da Baía de Guanabara encontram-se quatorze terminais marítimos de carga e descarga de produtos oleosos, dois portos comerciais, diversos estaleiros, duas refinarias de petróleo, mais de mil postos de combustíveis, uma complexa rede de transporte de matérias-primas, combustíveis e produtos industrializados permeando zonas urbanas, assim como intensa atividade industrial. Cerca de 400 indústrias, de um total de 14.000 distribuídas em suas margens e na bacia contribuinte, são responsáveis pelo lançamento de quantidades expressivas de poluentes na Baía de Guanabara e nos rios da sua bacia.

As condições anóxicas das porções mais internas da baía favorecem a incorporação de elevados níveis de metais pesados nos sedimentos, cuja exposição a condições oxidantes, por exemplo, em decorrência de dragagens do fundo, deverá levar à liberação desses metais, sua biodisponibilização e incorporação na cadeia elementar (Caçonia, 1984; Lacerda *et al.* 1988; Kjerfve *et al.* 1997).

As principais atividades antrópicas da região que contribuem para o intenso processo de degradação da baía estão relacionadas aos desmatamentos de florestas e manguezais, aos processos de dragagem e retificação de canais, além dos constantes e intensos lançamentos de efluentes domésticos e industriais sem nenhum tratamento em suas águas (Godoy *et al.*, 1998). A Baía de Guanabara recebe grandes aportes de carga orgânica, óleo e de resíduos sólidos em suas águas. De acordo com as estimativas do Programa de Despoluição da Baía da Guanabara (2005) o despejo de óleo é de 7 ton. /dia, o de esgoto *in natura* é de 17 m<sup>3</sup>/s, correspondendo à carga orgânica diária de 465 ton., das quais apenas 68 ton. recebem algum tratamento, antes de serem lançadas na baía ou serem dispostas através do emissário submarino. De cerca de 13 mil ton. /dia de resíduos sólidos geradas na área, somente 9 mil ton./dia vão para aterros municipais, portanto cerca de 4 mil toneladas por dia de lixo não recolhido é carregado junto ao escoamento superficial de encontro à baía durante eventos de tempestade.

### **1.4.3 Histórico das pesquisas na Baía de Guanabara**

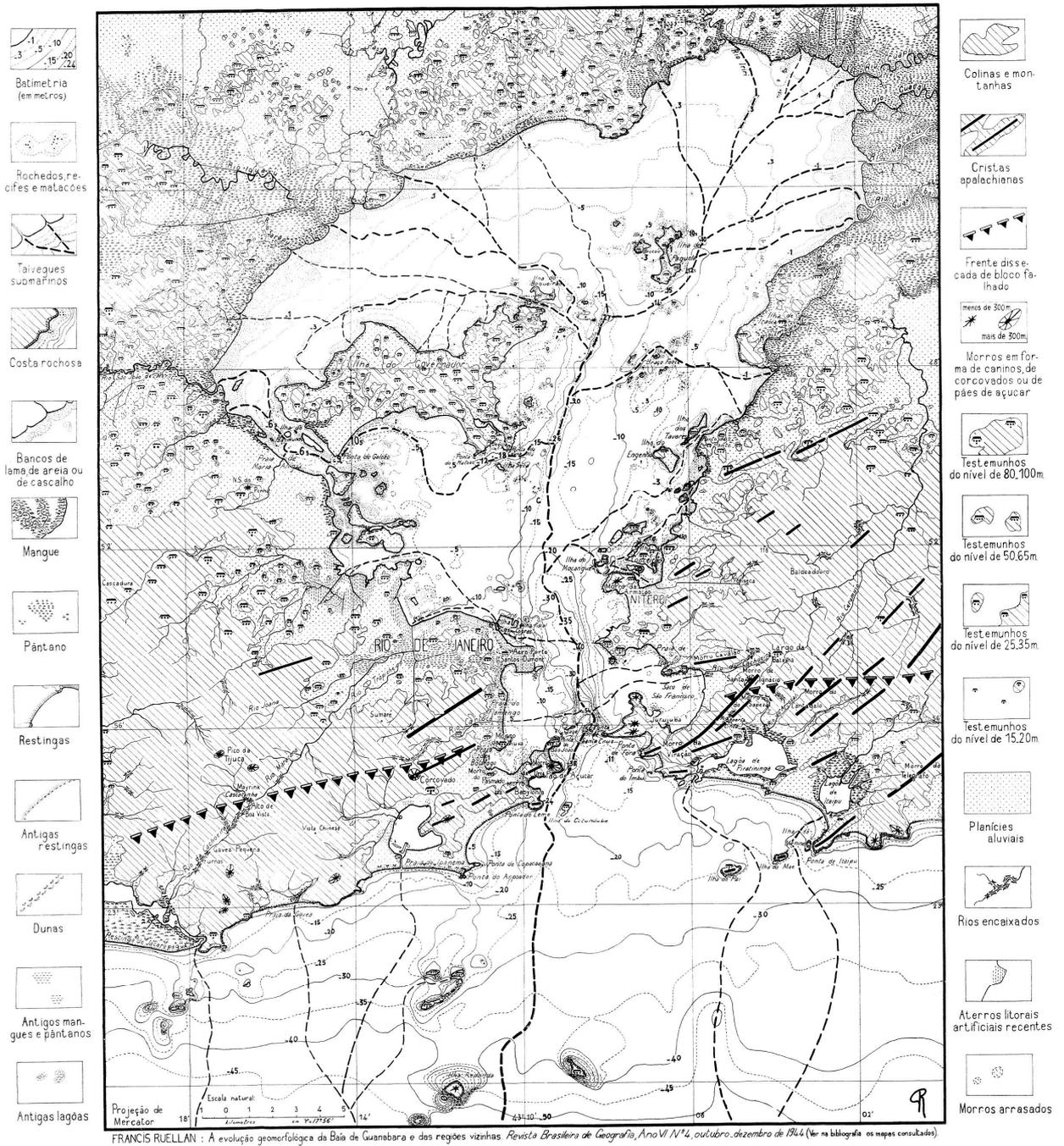
O presente trabalho tem como embasamento estudos realizados na área dentro de diversas áreas das geociências como Geomorfologia, Geoquímica, Oceanografia, Geologia, Geofísica e Biologia. Com o crescente avanço tecnológico das últimas décadas, acompanhado pela necessidade do entendimento dos processos naturais atuantes em ambientes costeiros, tal como influência antrópica, a baía de Guanabara tem sido objeto de diversos estudos.

Inicialmente, Ruellan (1944) aponta com bastante precisão, a partir de uma base de dados bastante limitada, a existência de paleocanais submersos associados às drenagens na porção emersa convergindo para o canal central, além de caracterizar morfologicamente toda a área da bacia de drenagem da Baía de Guanabara (Figura 6). Convém citar outros trabalhos posteriores que ampliam o conhecimento da evolução geomorfológica da baía (Silveira, 1964).

Dentro do contexto tectono-evolutivo da Baía de Guanabara, Almeida (1976) seguido por Asmus & Ferrari (1978) definem modelos para a evolução tectônica da margem continental do sudeste brasileiro, para em seguida se chegar à caracterização geológica do *rift* da Guanabara (Ferrari, 1990).

Tendo em vista o desenvolvimento dos grandes centros urbanos e sua influência sobre os ambientes costeiros, foram desenvolvidos diversos trabalhos acadêmicos abordando as características ambientais e apontando a influência antrópica sobre os processos naturais (Amador, 1980, 1997; Mayr *et al*, 1989; Kjerfve *et al*, 1997; Quaresma, 1997; Godoy *et al*, 1998) e as altas concentrações de metais pesados e matéria orgânica presentes nos sedimentos de fundo, tal como possíveis hipóteses para sua acumulação e impactos ambientais relacionados (Caçonia, 1984; Vandenberg & Rebello, 1986; Lacerda *et al*, 1988; Leal e Wagener, 1993; Baptista Neto *et al*, 1999; Kehrig *et al*, 2003; Barbosa *et al*, 2004; Baptista Neto *et al*, 2006).

A aplicação de diferentes técnicas geofísicas vem se mostrando uma solução altamente viável no estudo de ambientes costeiros, tal como avaliação do impacto de atividades antrópicas sobre os mesmos. Diversos autores utilizaram-se desta ferramenta no decorrer dos anos em seus trabalhos na Baía de Guanabara (Anjos *et al*, 2001; Quaresma *et al*, 2001; Catanzaro *et al*, 2004).



**Figura 6 – Mapa Geomorfológico proposto por Ruellan (1944)**

#### 1.4.4 Poluição por Metais Pesados

Os metais pesados constituem, atualmente, uma das principais formas de poluição da Baía de Guanabara e têm sido alvos de estudos periódicos. A dinâmica destes poluentes dentro de baías e estuários é bastante complexa, uma vez que envolve não só os processos físicos, como também processos geológicos, biológicos e químicos, que possuem diferentes escalas de tempo e, muitas vezes, são alterados pela ação antrópica em determinado ambiente (Rebello, *et al*, 1986; Forstner & Wittmann, 1981; Barbosa, *et al*, 2004). Estudos anteriores puderam constatar o avançado estado de poluição por metais pesados deste corpo estuarino (Baptista neto, *et al*, 1999).

Os rios no entorno da baía são uma das principais fontes de metais pesados, pois neles são despejados rejeitos domésticos e industriais que, em grande parte, chegam ao seu destino sem nenhum tratamento. Os valores mais expressivos encontrados na área de estudo estão fortemente relacionados com a distribuição das atividades industriais (Anexo IV). Estudos no rio Estrela reportaram altas concentrações de cobre, e no rio Iguaçu e Irajá altos valores de cromo nos sedimentos de fundo, mostrando que tais rios são uma das principais fontes destes metais para a baía (Leal & Wagener, 1993; Rebello *et al.*, 1986; Pfeiffer *et al.*, 1982).

O principal meio de transporte de metais pesados para a Baía de Guanabara é associado ao MPS, ou seja, o material particulado em suspensão (Leal & Wagener, 1993; Rebello *et al.*, 1986; Pfeiffer *et al.*, 1982). Estes metais se associam rapidamente ao MPS, composto principalmente de detritos orgânicos (de origem natural, oriundos da produtividade primária e antrópica) e partículas inorgânicas, preferencialmente lamosas, e se depositam no fundo dos rios e próximo à sua desembocadura (Pfeiffer *et al.*, 1982). A presença de altas concentrações de MPS rico em detritos orgânicos, aliado as características físico-químicas da água dos rios que abastecem a Baía de Guanabara, favorece a rápida agregação do metal dissolvido na água. Uma vez agregados, os metais são transportados e depositados nos sedimentos de fundo. Em vista deste processo, altas concentrações de metais pesados são encontradas tanto nos sedimentos de fundo dos rios que abastecem a baía como nos depósitos da baía em si (Pfeiffer *et al.*, 1982).

Durante eventos de alta descarga fluvial o tempo de residência do MPS é reduzido em poucas horas, assim, os metais pesados associados ao MPS são transportados para regiões distantes da desembocadura dos rios em vista do grande volume de água doce, sendo

inclusive, exportados para fora da baía principalmente pela camada superficial (Melo, 2004). Kehrig *et al.* (2003) compararam a concentração de mercúrio total no MPS em três pontos na baía com diferentes características quanto à hidrodinâmica (ponte Rio – Niterói, Boa Viagem e Marina da Glória). Os autores comentam que a estação localizada na Marina da Glória apresentou maiores valores em vista das atividades marítimas e por ser um local com pouca renovação de água. Sendo assim, pode-se constatar a influência de processos como renovação de água, circulação, proximidade da fonte e características do material particulado em suspensão na dinâmica de metais pesados na Baía de Guanabara.

Os manguezais são conhecidos como importantes barreiras geoquímicas para áreas costeiras e baías. As características físico-químicas deste ambiente, tais como: sedimentos de granulometria fina, que possuem alta afinidade com os metais (Forstner & Wittmann, 1981), altos valores de pH que contribuem para a precipitação de metais na interface dos sedimentos, e condições anóxicas que favorecem a precipitação de sulfetos insolúveis, contribuem para a retenção destes poluentes (Oliveira *et al.*, 1998).

Os manguezais da baía apresentam altas concentrações de metais pesados nos sedimentos. Mas grande parte destes poluentes se encontra na forma não biodisponível, sendo transferidos para a vegetação apenas uma pequena concentração. Machado *et al.* (2002) avaliaram essa pequena transferência de metais dos sedimentos para as folhas da *Laguncularia racemosa* usando um fator de concentração (FC) estimado pela razão entre a concentração de metais nas folhas e a concentração de metais fracamente ligados aos sedimentos (Biodisponíveis). Além dessa pequena translocação, essas árvores possuem um mecanismo de exclusão de metais através das raízes fazendo com que as folhas não absorvam metais na mesma proporção que a concentração deste poluente presente nos sedimentos (Oliveira *et al.*, 1998).

Com isso, esse comportamento favorece a idéia de que os manguezais são importantes barreiras geoquímicas para os ambientes adjacentes, uma vez que a concentração de metais pesados na matéria orgânica exportada por este ambiente é muito pequena, já que ficam retidos nos sedimentos.

Em um ambiente como a Baía de Guanabara que apresenta basicamente todo o seu entorno ocupado por grandes centros urbanos, além das fontes pontuais, as fontes difusas de metais pesados são fatores poluentes importantes. O sedimento urbano é enriquecido em metais pesados oriundos da queima parcial dos combustíveis fósseis, do desgaste de pneus,

atividades comerciais, entre outros. Quando chove, esse sedimento é escoado para as galerias de águas pluviais que muitas vezes possuem seu destino nos rios ou diretamente para a baía.

Alguns trabalhos reportam concentrações elevadas de metais pesados nos sedimentos urbanos, algumas vezes superiores aos ambientes mais impactados (Pereira, 2002; Baptista Neto *et al.*, 1999). De acordo com a tabela 1, proposta por Harrop (1983), pode-se observar possíveis fontes de metais, associados a veículos, normalmente encontrados nos sedimentos de escoamento urbano. A tabela 2 também apresenta as principais fontes de metais pesados para um corpo aquoso.

Fonte	Emissão	Metais
Emissão de exaustão	Particulados gasosos	Pb, Fe
Evaporação, e derrame de óleo	Hidrocarbonetos voláteis	Pb
Óleo de motor, transmissão	Hidrocarbonetos voláteis	Pb, Ni, Cu, Cr
Spray fluido, lubrificantes, fluido hidráulico	Desgaste, contaminação metálica por óleo	Zn
Desgaste de pneus	Matéria prima do pneu e partículas de borracha	Zn, Pb, Cu, Ni, Cr
Corrosão dos veículos	Óxidos metálicos e componentes dos veículos	Fe, Ni, Cr
Pastilhas de freio	Desgaste de produtos metálicos	Cu, Ni, Cr, Pb

**Tabela 1 – Possíveis fontes de Metais Pesados encontrados nos sedimentos de *runoff* (proposto por Harrop, 1983)**

	Fontes naturais	Aplicações e Fontes antropogênicas
ALUMÍNIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mineral bauxita (apresentam até 55%);</li> <li>➤ Abundante na crosta terrestre (combinado com: O, F, Si, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Construções em geral;</li> <li>➤ Setor elétrico;</li> <li>➤ Indústria petrolífera, aeroespacial, metalúrgica e automobilística.</li> </ul>

NÍQUEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Certos solos;</li> <li>➤ Vulcões;</li> <li>➤ Queimadas florestais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Confeção de ligas de níquel para revestimento;</li> <li>➤ Galvanização;</li> <li>➤ Próteses clínicas e dentárias.</li> </ul>
COBRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Processos biogênicos;</li> <li>➤ Atividade vulcânica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Produção de materiais condutores de eletricidade (fios e cabos)</li> <li>➤ Atividades de mineração;</li> <li>➤ Confeção de ligas metálicas.</li> </ul>
ZINCO	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Minerais, animais e plantas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mineração;</li> <li>➤ Confeção de ligas metálicas;</li> <li>➤ Galvanização do aço e do ferro;</li> <li>➤ Esgoto domiciliar.</li> </ul>
MANGANÊS	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Abundante na natureza (óxidos insolúveis);</li> <li>➤ Processos fotossintéticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Produção de pilhas;</li> <li>➤ Fertilizantes e fungicidas;</li> <li>➤ Produtos farmacêuticos;</li> <li>➤ Cerâmicas e vidros.</li> </ul>
CROMO	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Poeiras vulcânicas;</li> <li>➤ Mineral cromita;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Corantes (alguns óxidos);</li> <li>➤ Fabricação do cimento;</li> <li>➤ Indústria metalúrgica;</li> <li>➤ Resíduos domiciliares.</li> </ul>
LÍCIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Determinadas rochas (bem disperso, devido à sua reatividade);</li> <li>➤ Sais naturais;</li> <li>➤ Águas salgadas e minerais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Baterias elétricas;</li> <li>➤ Certos medicamentos (reguladores de humor e analgésicos);</li> <li>➤ Certas ligas metálicas cerâmicas e lentes.</li> </ul>
FÓSFORO	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Certas rochas (fase sólida);</li> <li>➤ Solos marinhos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Detergentes e pastas de dente;</li> <li>➤ Agricultura;</li> <li>➤ Aplicações militares (fósforo branco)</li> </ul>
CHUMBO	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Certos minerais (galena, cerusita e anglesita);</li> <li>➤ Produto de desintegração radioativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Baterias automotivas;</li> <li>➤ Indústria bélica (munições);</li> <li>➤ Corrosão de encanamentos.</li> </ul>
COBALTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Diversos minerais (como a cobaltita);</li> <li>➤ Subproduto do níquel e do cobre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Certas armas nucleares;</li> <li>➤ Unidades de radioterapia;</li> <li>➤ Algumas ligas metálicas.</li> </ul>

**Tabela 2 – Fontes naturais e antropogênicas dos metais pesados. Fontes: ATSDR, 1997; Mushak, 1980; HSDB, 2000; WHO, 1998; ATSDR, 1990; ATSDR, 1994; ATSDR, 2000; WHO, 1988.**

## 1.5 PRINCIPAIS OBJETIVOS

O objetivo principal desta proposta é de investigar com mais detalhe o preenchimento sedimentar da Baía de Guanabara durante o Quaternário até o atual, tal como as variações na concentração de metais pesados nos sedimentos influenciadas pelo desenvolvimento urbano no entorno da baía, tendo em vista que os trabalhos realizados até então realizados têm se restringido à sedimentação Holocênica. Como objetivos específicos do trabalho listam-se:

- 1) Interpretação de dados de levantamentos geofísicos de alta resolução (sísmica rasa de 200 Hz e perfilador de subfundo de 10 e 3,5 kHz) para caracterizar os pacotes sedimentares e depocentros principais;
- 2) Interpolação computacional de mapas de batimetria 2D e 3D a partir das 65.000 cotas pontuais fornecidas pelo Departamento de Hidrologia e Navegação (DHN), tal como seus subprodutos: identificação de paleocanais de drenagem afogados, mapa de declividade e áreas mais afetadas pela atividade antrópica.
- 3) Interpretação de dados oriundos de testemunhos de sondagem em áreas críticas e correlação entre os mesmos para determinação da seqüência sedimentar;
- 4) Interpretação das 92 amostras de sedimentos de fundo para análise e posterior elaboração de mapas de concentrações dos metais pesados para Co, Ni, Cr, Pb, Cu, Li, Zn, Al, Mn e P. Determinação da distribuição granulométrica e da quantidade de matéria orgânica nos sedimentos;
- 5) Associação entre os fatores geoquímicos (análise de metais pesados) e geofísicos (ecobatimetria e métodos sísmicos), assim como amostragem direta (testemunhos) como ferramentas na caracterização da influência antrópica nos depósitos sedimentares da área de estudo.

## 2 METODOLOGIA

A partir da compilação bibliográfica e de dados secundários, foi feita uma re-análise das informações sedimentológicas, geoquímicas, morfológicas e oceanográficas da baía de Guanabara. Para o entendimento da evolução sedimentar quaternária da Baía de Guanabara foram utilizados, basicamente, dois métodos de investigação: direto com testemunhagem do fundo e análise de metais pesados, e indireto, através de ecobatimetria e perfilagem sísmica. Todos os equipamentos citados foram cedidos pelo Laboratório de Geologia Marinha da Universidade Federal Fluminense.

Estatisticamente, foram levantados dados de atividades no entorno da área estudada, (Anexo IV), e em sua bacia contribuinte, como atividades pesqueiras, localização de clubes de iatismo, distribuição do parque industrial, localização de aterros sanitários, distribuição da malha rodoviária e ferroviária, portos e aeroportos, unidades de conservação ambiental, refinarias, estações de tratamento de esgoto e unidades de conservação ambiental para posterior comparação com os dados de distribuição de metais pesados e padrões de sedimentação da Baía de Guanabara.

### 2.1 INTERPRETAÇÃO DAS AMOSTRAS E TESTEMUNHOS

Os mapas de caracterização textural e geoquímica dos sedimentos de fundo foram feitos com base em informações de 92 amostras de fundo e 16 testemunhos, conforme a figura 7, coletados por Baptista Neto (1999). A coleta de amostras para a reocupação dos pontos foi feita com um amostrador do tipo Van-Veen (Fig. 8) e a localização das amostras foi obtida com um GPS de mão. Posteriormente foram lavados, secos e tratados com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peróxido de hidrogênio) para eliminar-se a matéria orgânica, logo após o material foi analisado granulometricamente.

A separação entre sedimentos grossos e finos ocorreu por peneiramento e pipetagem para a fração grossa e fina respectivamente. O método de análise granulométrica utilizado foi difração de laser, utilizando o equipamento Malvern Mastersizer Microplus, MAF 5001 que tem como princípio o espalhamento de luz para determinar a distribuição do tamanho das

partículas. Este equipamento determina a distribuição de tamanhos de partículas na faixa de diâmetro entre 0,5-550  $\mu\text{m}$ .

O resultado da análise é a distribuição relativa do volume das partículas na faixa das classes de tamanho. A partir deste a estatística da distribuição é calculada, onde se obtém o valor correspondente à mediana ( $\Phi$ ), da distribuição do volume, o qual corresponde ao diâmetro médio da amostra. As análises geoquímicas tiveram por finalidade identificar e a quantificar os metais pesados (cobalto, ferro, manganês, zinco, alumínio, lítio, cobre, chumbo, cromo, níquel e fósforo) existentes nos sedimentos. Os metais pesados foram determinados na fração pelítica ( $< 0,062 \text{ mm}$ ). Foram pesados cerca de 0,1 g. da amostra, que após ter sido colocada em uma bomba de teflon, sofreu adição de 1  $\text{cm}^3$  de água régia e 6  $\text{cm}^3$  de ácido fluorídrico. A bomba de teflon foi vedada e posteriormente aquecida durante 2 horas a uma temperatura de 110  $^{\circ}\text{C}$ .

Após o aquecimento, foram adicionados 3 ml de ácido bórico e 1 ml de ácido nítrico. A solução foi submetida à evaporação, e a sobra residual da solução foi lavada em um frasco volumétrico de polietileno de 50  $\text{cm}^3$ , com água deionizada.

Esta sobra foi transferida para outro recipiente de polietileno, para análises quantitativas dos elementos Pb, Mn, Zn, Ni, Cr, Cu e Fe pelo método de espectrofotometria de absorção e emissão atômica, em aparelho Perkin Elmer, modelo AAS 3100. A tabela com a localização e o comprimento dos testemunhos e 92 amostras pode ser encontrada em anexo (Anexos V e VI) ao presente trabalho.

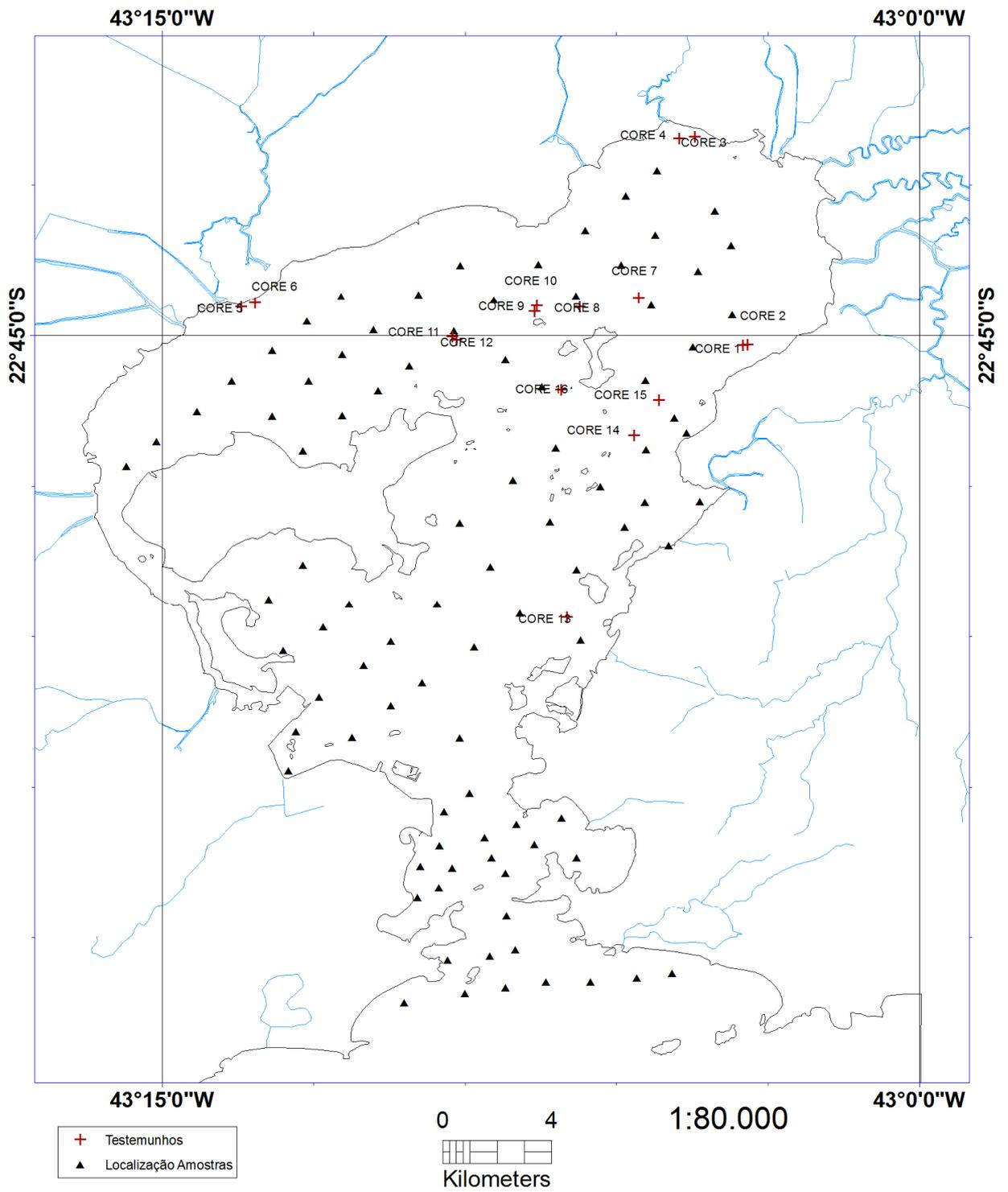
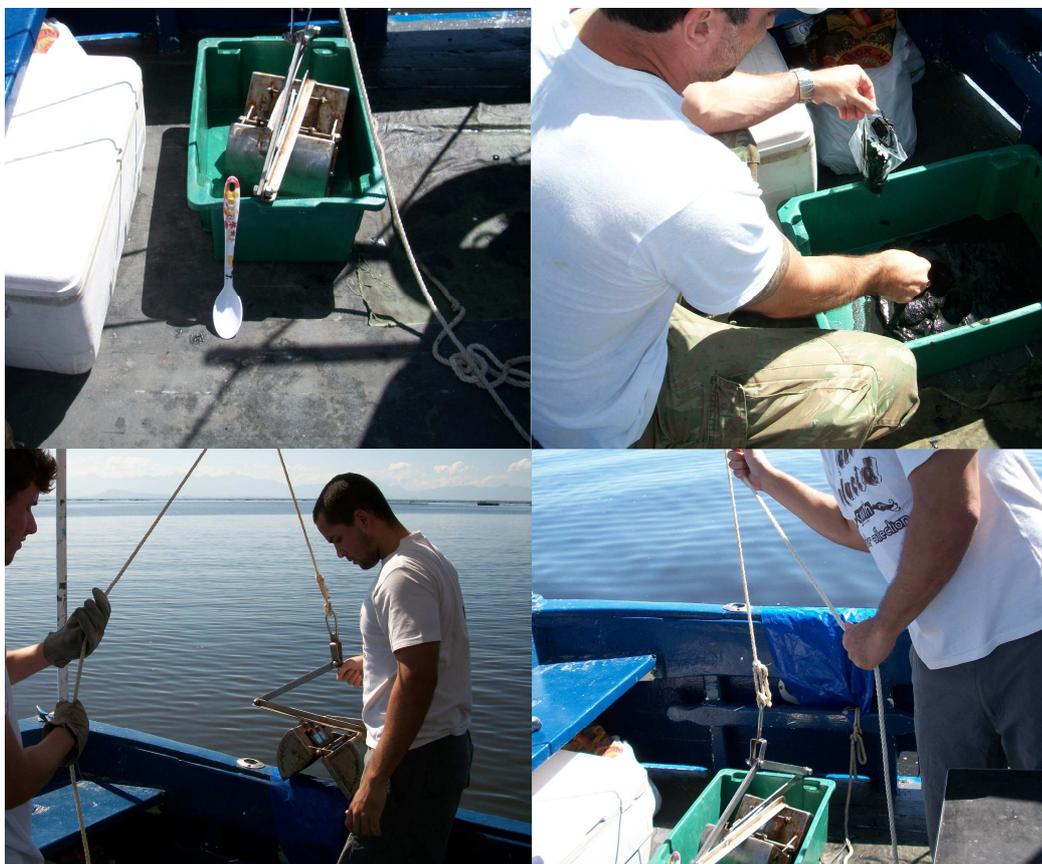


Figura 7 – Pontos de coleta das 92 amostras e 16 testemunhos



**Figura 8 – Material utilizado na coleta das 92 amostras.**

## 2.2 LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

A etapa de geofísica consistiu na interpretação de dados oriundos de um levantamento com sísmica rasa de alta resolução (200 Hz) e sísmica de alta frequência (3,5-10 kHz) que teve como principal finalidade mapear a espessura sedimentar em diferentes porções da Baía de Guanabara. As linhas sísmicas interpretadas foram efetuadas com equipamento *Boomer* entre 1997 e 1999 pelas turmas do curso de Especialização em Geologia e Geofísica Marinha da UFF; linhas coletadas pelo LAGEMAR - UFF para o projeto da linha do metrô entre RJ e

Niterói e linhas coletadas pelo LAGEMAR - UFF e UERJ, em 2010 dentro de projetos de pesquisa financiados pela CAPES.

Os dados de batimetria, adquiridos a partir da digitalização das folhas de bordo da Diretoria e Navegação (DHN, 1998) foram filtrados e corrigidos para eventual remoção de valores anômalos, compensação da profundidade do calado do barco e correção de maré. Os dados batimétricos foram ainda integrados com uma base de dados altimétricos de toda a bacia de drenagem que cerca a Baía de Guanabara, cedidos pelo Departamento e Análise Geoambiental da UFF e derivados da base de dados do ETOPO 1 (Amante *et al.*, 2009), sobre os quais foram lançados os traçados das redes de drenagem. Com esta base de dados, foram construídos mapas conjuntos de batimetria e altimetria, com visualizações em 2D e 3D.

Para a interpretação dos perfis sísmicos toda área de estudo foi subdividida em três unidades – compartimentos sul, compartimento central e compartimento norte – conforme observado na figura 9 devido às suas características particulares observadas nos perfis sísmicos, distribuição de sedimentos, processos atuantes e em conformidade com a subdivisão observada na literatura.

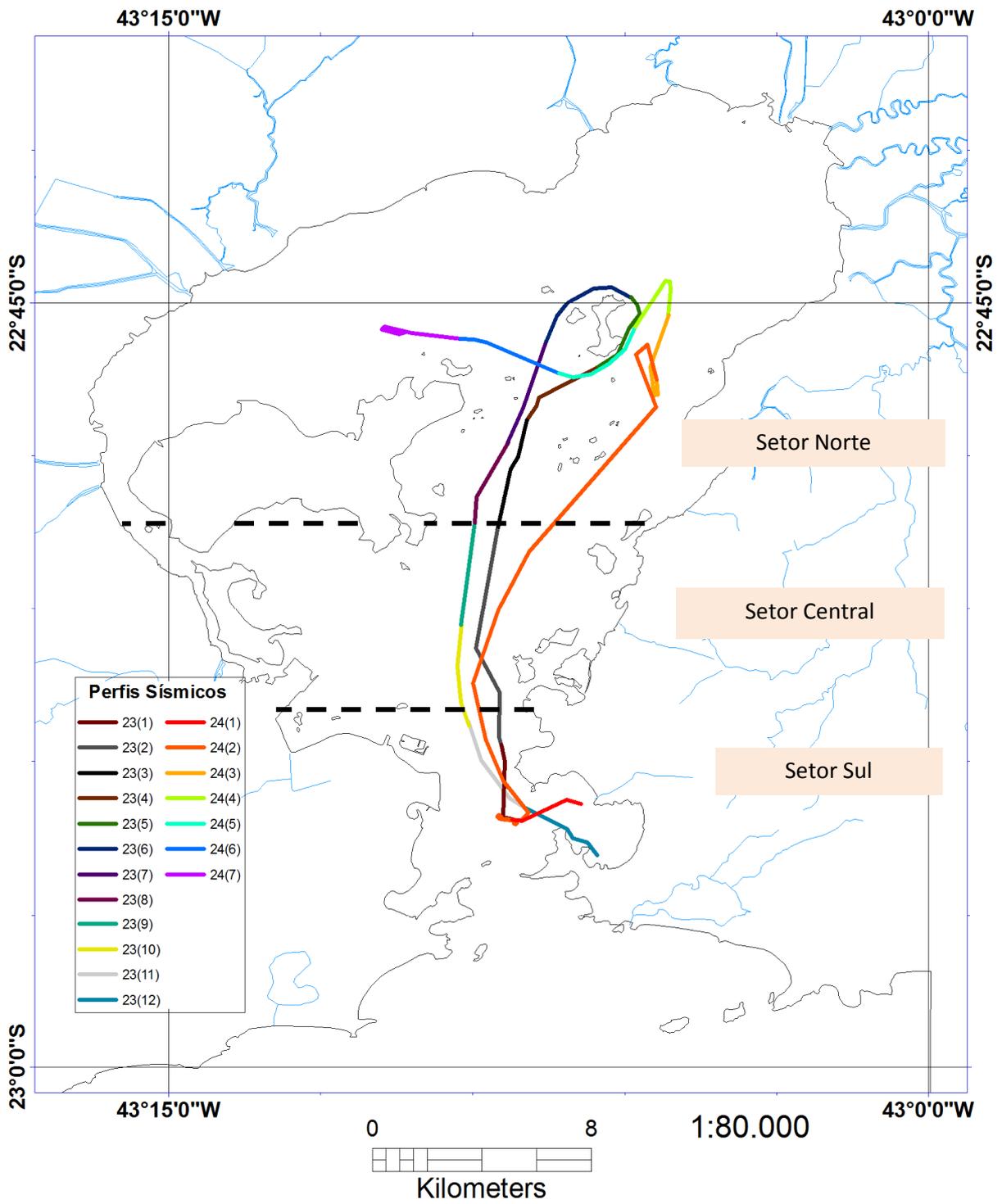
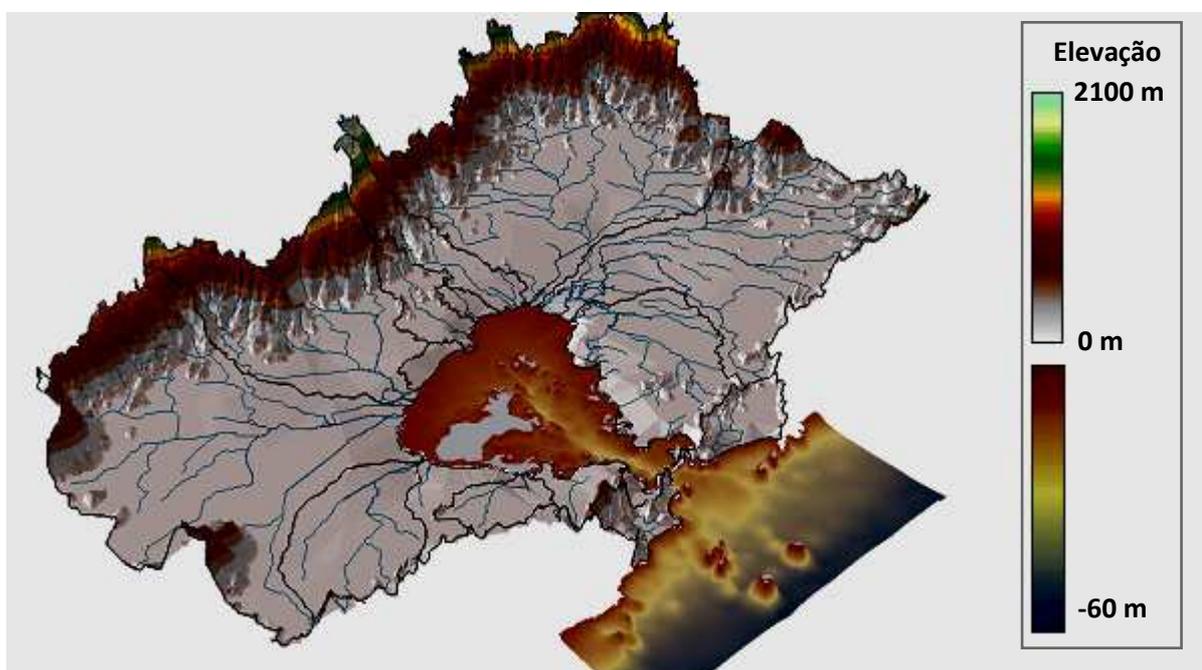


Figura 9 – Linhas sísmicas efetuadas

### 2.3 INTERPOLAÇÃO E PLOTAGEM DOS DADOS

Nesta fase, foi organizado um projeto em sistema geográfico de informações (ARCGIS) e interpretação sísmica (Kingdom), onde foram inseridos os dados compilados e gerados mapas de gridagem de parâmetros sedimentológicos e geoquímicos dos sedimentos de fundo da Baía tais como plotagem de linhas sísmicas e caracterização sedimentológica. Os dados batimétricos foram ainda integrados com uma base de dados altimétricos de toda a bacia de drenagem que cerca a Baía de Guanabara (Fig. 10), cedidos pelo Departamento de Análise Geoambiental da UFF.

Os mapas foram gerados e sobrepostos em camadas a partir da interpolação computacional de 65536 cotas pontuais na porção submersa e, na porção emersa, foram inseridas informações sobre a topografia regional e o traçado dos canais que constituem as bacias de drenagem do estado do Rio de Janeiro no entorno na Baía de Guanabara. Também foram confeccionados mapas de níveis de declividade e direção das vertentes utilizando o mesmo software e interpolador.



**Figura 10 – Batimetria 3D associada à altimetria da bacia de drenagem.**

### 3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS:

#### 3.1 MAPA BATIMÉTRICO

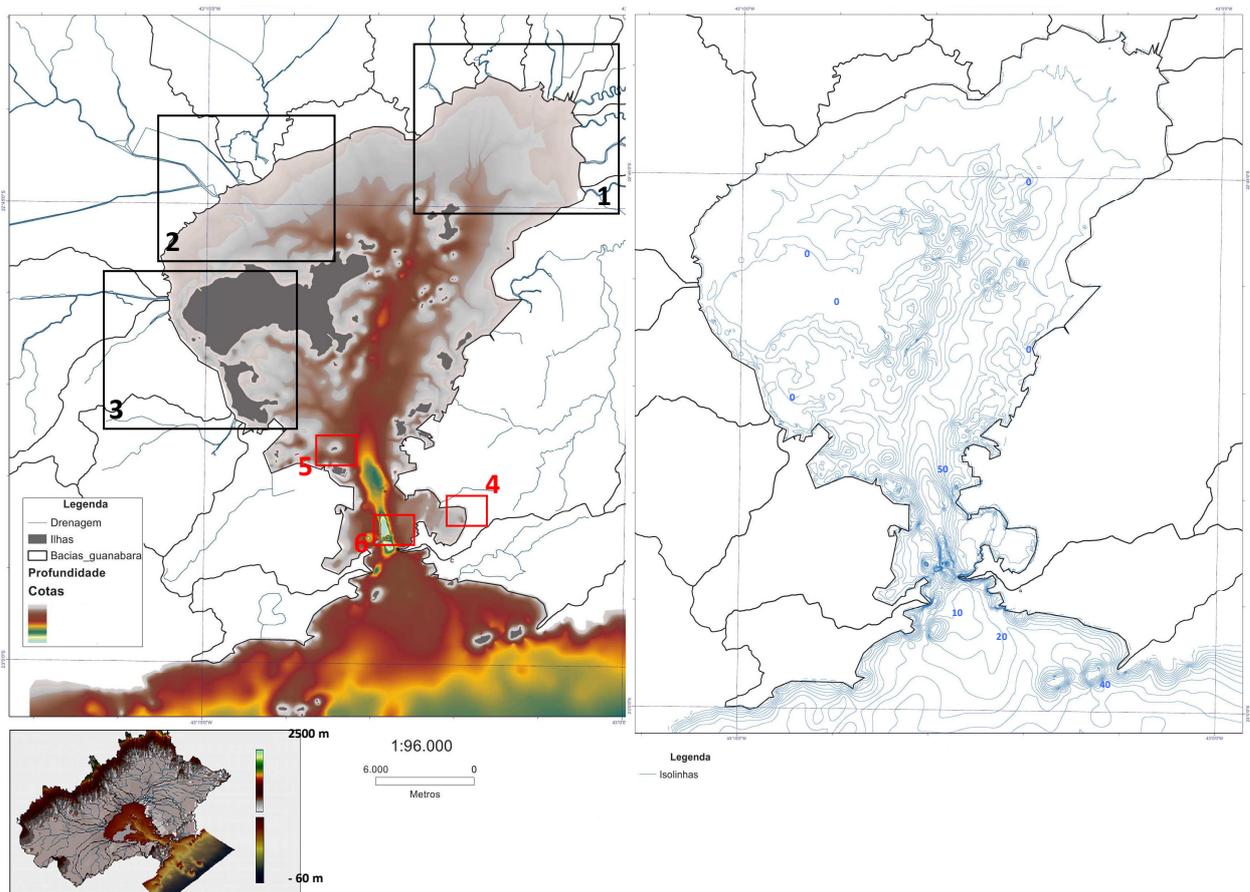
A partir das cotas batimétricas interpoladas, associadas ao sistema de drenagem no entorno da área de estudo pode-se observar a forte correlação entre os talwegues fluviais submersos e as principais drenagens emersas, vistas na porção norte da Baía de Guanabara. Na figura 11 pode-se destacar a possível continuidade entre o sistema de canais dos rios Macacu, Guapimirim e Guaxindiba e a drenagem submersa a nordeste da baía (área 1); os canais dos rios Iguaçu, Sarapuí e Estrela com a drenagem submersa noroeste da baía (área 2); os canais dos rios São João de Merití e Irajá com a drenagem submersa oeste da baía (área 3); assim como diversos outros canais fluviais também apresentam possível continuidade submersa, com possível extensão até o limite da plataforma continental.

Tais feições submersas, de idade Pleistocênica, estariam associadas a um nível relativo do mar abaixo da cota atual, onde toda a drenagem convergia para o paleocanal da Guanabara (Amador, 1980) estendendo-se até a localização do limite atual da plataforma continental. Estes paleocanais, enquanto competentes, teriam sido responsáveis pelos depósitos aluviais da Fm. Caceribu. Convém citar que Ruellan (1944) já havia apontado a existência de tais paleocanais submersos a partir de uma base de dados bastante restrita.

Na porção central/sul da Baía de Guanabara, representado por cotas batimétricas mais profundas, pode se observar a existência de um canal central cuja profundidade máxima atinge cerca de 60m na porção sul, dirigindo-se para a porção central da baía o canal se torna mais largo e raso, tendo aproximadamente 6 m de profundidade média (Kjerfve *et al*; 1997). Da entrada da barra até a ponte Rio - Niterói o canal tem direção 348° e largura variando de 1,6 km na boca da barra a cerca de 2,0 km mais adentro. A existência deste canal central justifica-se por dois principais fatores: erosão à remontante pelo paleocanal da Guanabara e a forte atuação de correntes de maré na região que impedem a sedimentação no fundo do canal e impõem condições hidrodinâmicas bem particulares com relação à renovação das águas da baía. A diminuição gradativa da profundidade do canal na porção central pode ser explicada em parte pelo aumento das taxas de sedimentação seguindo para o interior da baía, e tem sido acelerada pelas atividades antropogênicas em seu entorno.

Na porção sul da baía, em sua entrada, observa-se, pelo mapa de isóbatas, um banco arenoso de grande proeminência, na forma de um delta de maré, elevando-se de profundidades de 20m até um mínimo de cerca de 11m, descrito na literatura (DHN, 1998). Tal feição encontra-se limitada por dois canais de maré, a leste e a oeste respectivamente, que canalizam a circulação das correntes de maré (Quaresma, 1997).

Observa-se ainda outras feições de menor expressão, como pontos de dragagem para aterros ou abertura de canais – a exemplo na enseada de Jurujuba e no entorno da Ilha Fiscal, área 4 e 5, respectivamente - e altos estruturais aflorantes do embasamento cristalino, que dificultam a navegação de grandes navios – No canal central, área 6 – puderam ser evidenciadas na plotagem dos dados.



**Figura 11 – Mapa batimétrico da Baía de Guanabara**

## 3.2 ANÁLISE DOS SEDIMENTOS DE FUNDO

Os resultados obtidos a partir da interpolação e plotagem de 92 amostras pontuais apresentaram forte correlação com a sedimentação típica de ambientes estuarinos, uma vez que sua distribuição encontra-se fortemente associada a diversos fatores como: a atuação das correntes de maré, distância da desembocadura dos rios e condições de profundidade.

### 3.2.1 Distribuição espacial

Foram encontrados os seguintes tipos de sedimentos na Baía de Guanabara: cascalho de origem bioclástica, areia litoclástica, variando de muito fina a grossa, argila e silte. Sua distribuição pontual pode ser observada na figura 12 e interpolada em mapas de distribuição (figura 13).

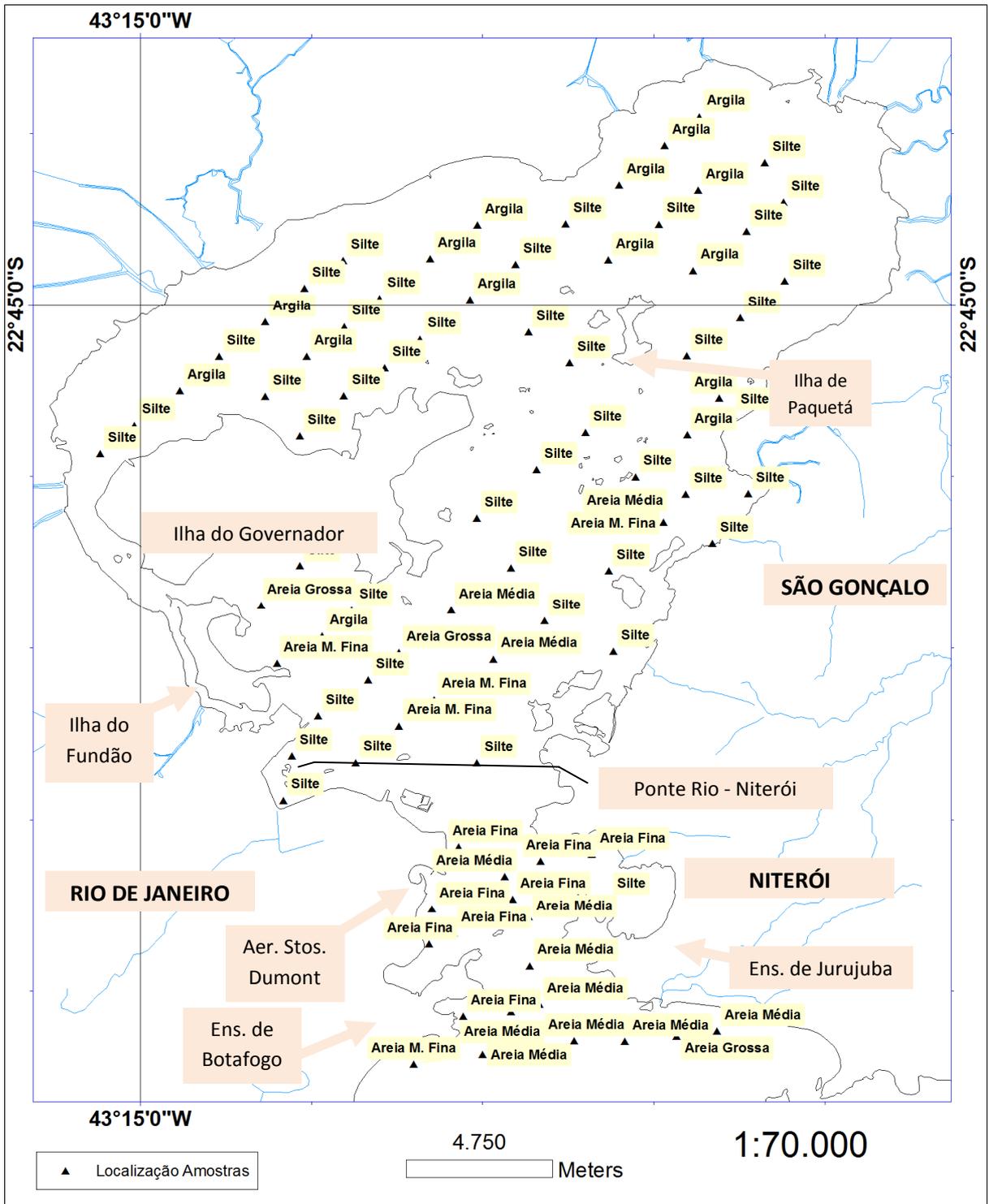
As areias litoclásticas grossas a médias podem ser observadas em uma pequena faixa que se estende desde a entrada da Baía de Guanabara até regiões proximais ao aeroporto Santos Dumont, também em porções isoladas próximas as ilhas do Governador, do Fundão e cerca de 5 km da ilha de Paquetá. Tal distribuição seria o resultado do estreitamento provocado pela morfologia, que provoca um aumento na velocidade das correntes de maré na região, não permitindo a deposição dos sedimentos finos (Amador, 1992; Quaresma, 1997). De acordo com Amador (1992), esses sedimentos arenosos, localizados entre a entrada da barra e a ponte Rio - Niterói, estão relacionados a areias do sistema fluvial Pleistocênico afogado pela última grande transgressão marinha e que foram retrabalhadas pelas atuais condições hidrodinâmicas. Na entrada da baía até porções mais externas a presença de areias grossas e médias pode ser explicada pela presença de um grande banco arenoso, cuja profundidade mínima atinge a isóbata de 11m. Kjerfve *et al.* (1997) propõem que tal banco de areia é semelhante à formação da barreira adjacente de areia que se estende ao longo da costa do estado do Rio de Janeiro a partir da entrada da Baía de Sepetiba até Arraial do Cabo.

As areias litoclásticas finas a muito finas encontram-se distribuídas na entrada da enseada de Jurujuba, na enseada de Botafogo e na zona de transição entre as areias médias e lamas terrígenas ao sul da ponte Rio - Niterói. A presença dessas areias mais finas justifica-se pela diminuição das velocidades das correntes de maré, devido ao considerável alargamento

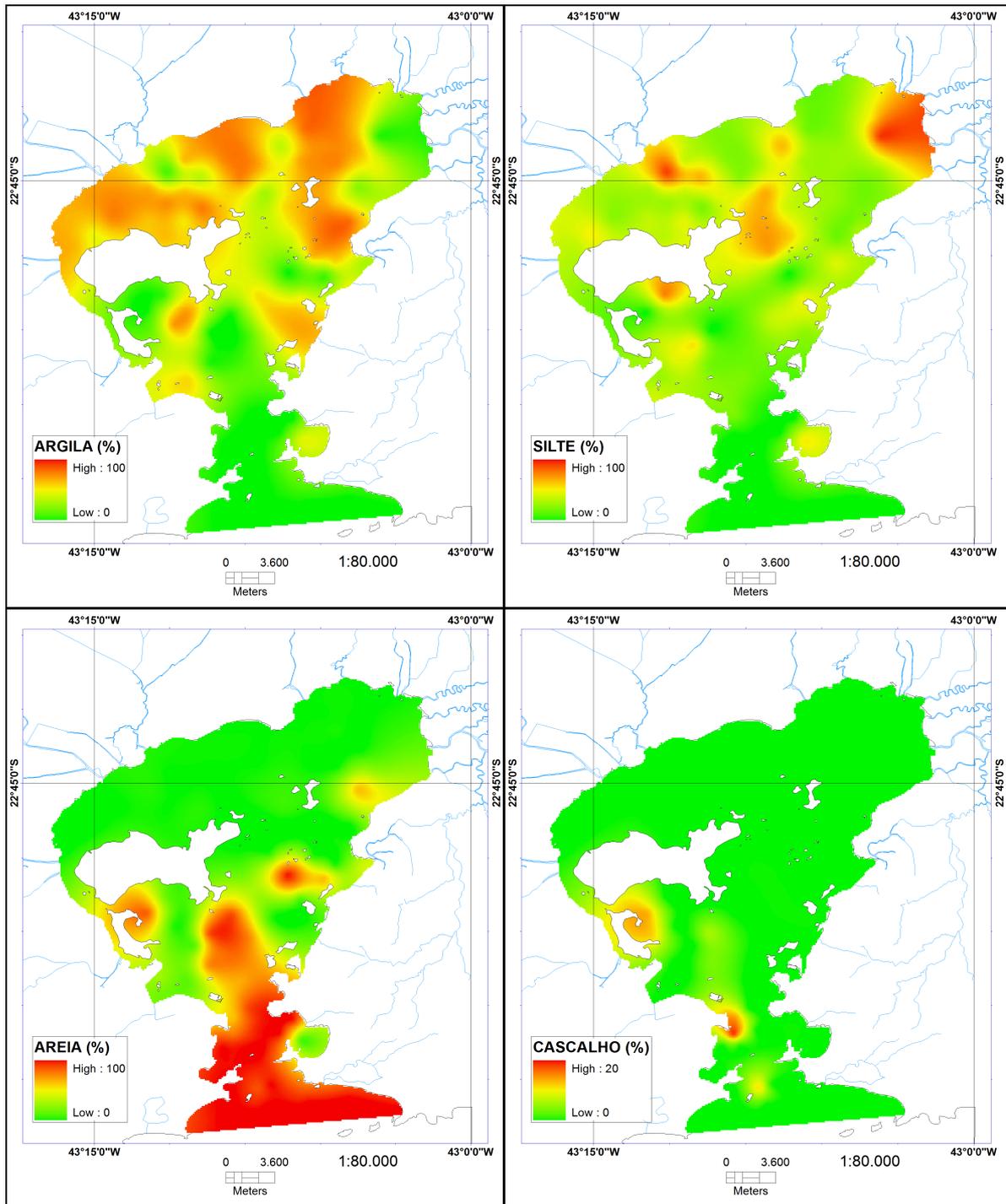
da baía em direção ao norte a partir do alinhamento entre o Forte de Gragoatá e o aeroporto Santos Dumont, possibilitando assim a deposição de sedimentos mais finos como as areias finas e as lamas (Quaresma, 1997).

As lamas terrígenas, caracterizadas pela presença de siltes e argilas, são encontradas a partir da porção central, nas intermediações da ponte Rio - Niterói até o fundo da baía, estando relacionadas principalmente às velocidades das correntes de maré, que são bem menores nesta região devido ao afastamento da entrada da baía (Quaresma *et al.*, 2001). De acordo com Catanzaro (2002), na porção noroeste da baía observa-se uma predominância de argilas siltosas, uma sedimentação um pouco mais grossa que a nordeste da mesma região. Tal fato pode estar relacionado aos rios que deságuam nesta região, bastante impactados pelo homem em virtude do alto grau de ocupação.

Já na porção nordeste há uma sedimentação mais lamosa com predomínio de argilas, que pode ser relacionada a uma menor hidrodinâmica e à presença de manguezais, que funcionam como uma espécie de armadilha, aprisionando os sedimentos mais grossos e possibilitando apenas a “exportação” de sedimentos mais finos para a baía. Outra linha de pesquisa sugere que a presença de material lamoso na porção norte seria resultados da floculação e deposição de argilas devido à zona de estratificação estuarina (SECT, 2000).



**Figura 12 – Distribuição pontual dos sedimentos de fundo e localização das 92 amostras coletadas**



**Figura 13 – Mapas interpolados de distribuição dos sedimentos de fundo**

### 3.2.2 Concentrações de matéria orgânica

A matéria orgânica constitui uma ferramenta muito importante na análise de poluentes de um determinado ambiente, uma vez que possui a capacidade de agregar os metais pesados. A composição da matéria orgânica (MO) dos estuários se dá pela contribuição de diferentes fontes: a autóctone, que é produzida dentro do próprio ambiente, e a alóctone, produzida nos ecossistemas continentais (terrestres e aquáticos) e carregada até os estuários através da descarga fluvial e também fitoplâncton marinho, que chega aos estuários devido à ação das marés (Hedges *et al.*; 1984).

A Baía de Guanabara constitui um ambiente bastante eutrofizado, com uma intensa produtividade primária e considerável aporte de nutrientes, principalmente através de despejo de esgoto e drenagem fluvial, cuja importância é ainda maior nas áreas mais internas (Valentin *et al.*, 1999). Ao longo do último século a introdução de nutrientes de origem antrópica, principalmente associados ao lançamento de efluentes domésticos, vem crescendo, e algumas evidências são demonstradas em estudos na região (Carreira *et al.*; 2002). A figura 9 apresenta as concentrações de matéria orgânica e sua relação com a granulometria dos sedimentos de fundo. No compartimento sul da área de estudo observa-se concentrações menores de matéria orgânica devido à forte influência das correntes de maré, sendo uma área de maior energia e, conseqüentemente, sedimentação predominantemente arenosa. Na enseada de Jurujuba ocorrem concentrações maiores de matéria orgânica possivelmente associado a efluentes domésticos não tratados lançados no corpo d'água, confirmando o modelo proposto por Baptista Neto *et al.* (2006). As porções central/norte apresentam concentrações maiores devido à perda de energia na porção interna da baía e sedimentação mais fina. Destacam-se as altas concentrações nas proximidades da zona portuária do Rio de Janeiro e no entorno da ilha do Governador caracterizando-as como zonas potencialmente poluídas por efluentes.

Associando as concentrações de matéria orgânica com a granulometria das 92 amostras coletadas (figura 14) observa-se que as maiores concentrações são associadas a sedimentos mais finos, siltes (S) e argilas (Aa) e potencialmente restritas à sua localização, enquanto que as areias (AFF – muito fina; AF – fina; AM – média; AG – grossa) e cascalhos apresentam concentrações nulas, ou bem próximas de zero.



### 3.3 PERFÍS SÍSMICOS

#### 3.3.1 Caracterização dos depósitos sedimentares

O preenchimento sedimentar da Baía de Guanabara, observado na sísmica de reflexão de alta resolução, revela uma série eventos de erosão e preenchimento sedimentar, com inúmeros paleovales e paleocanais soterrados, caracterizando pelo menos três grandes fases distintas de preenchimento sobre o embasamento acústico. Tais fases podem ser observadas nos pacotes deposicionais, denominados, da base para o topo, como: Formação Caceribu – depósitos de paleocanais afogados (vermelho); Sedimentação Subatual – depósitos de afogamento (amarelo); Sedimentação Atual – sedimentação estuarina (azul).

A primeira camada acima do embasamento acústico apresenta contorno bastante irregular caracterizando inúmeras superfícies internas de erosão, evidenciando diversos paleocanais preenchidos, com claras evidências de depósitos associados à progradação lateral de canais, e possui espessura total da ordem de 15 a 20 m afinando conforme adentra a baía. A unidade superior, com espessuras da ordem de 5 a 10 m, apresenta refletores bem mais suaves ao se comparar com a porção inferior indicando uma sedimentação plano-paralela, levemente inclinada a partir da borda da Baía, com pelo menos uma superfície discordante interna, e apresentando pequenos canais preenchidos.

A porção inferior, devido a suas características acústicas e geometria bastante irregular das unidades sísmicas, parece ser associada a ambientes de deposição e dinâmica fluvial, enquanto acredita-se que a porção superior deva representar o preenchimento estuarino subatual e atual da Baía. Esta interpretação está em concordância com o trabalho de Amador (1997) que apresenta perfis estratigráficos da Baía, com base em dados de sondagem realizadas para as obras da Ponte Rio - Niterói.

##### 3.3.1.1 Setor Sul

A área delimitada compartimento sul estende-se da entrada da baía até as proximidades da ponte Rio - Niterói. As areias ali presentes apresentam-se bem a moderadamente selecionadas, com diâmetro médio que varia de areia grossa/média à areia

fina/muito fina e com baixa percentagem de matéria orgânica. Nessa área observa-se a existência de um fundo com feições do tipo *sand waves* e *mega ripples*, indicadores de uma dinâmica de correntes intensa (Catanzaro, 2002) predominantemente direcionada para o interior da baía, tais feições apresentam redução gradativa em seu tamanho e comprimento em direção ao interior da baía.

Alguns autores (Kjerfve *et al.* 1997; Quaresma *et al.* 2001) associam tais feições à entrada de ondas de tempestade de sul - sudoeste durante a passagem de frentes. Pode-se observar que porção sul predominam os processos marinhos, com influência das ondas e correntes de maré, ou seja, o ambiente deposicional da entrada da Baía de Guanabara representa a influência de correntes e ondas retrabalhando prováveis sedimentos relíquias, Amador (1997).

Nas regiões próximas às ilhas e dentro do canal central pode-se observar a existência de afloramentos e altos controlados estruturalmente não afetados pelas condições hidrodinâmicas da entrada da baía (Fig. 15). Em regiões abrigadas e de condições hidrodinâmicas mais reduzidas ocorre uma sedimentação mais fina (argila e silte) sobre o embasamento acústico, como é o caso da Enseada de Jurujuba e da região próxima à ilha das Cobras. A redução gradativa da profundidade em direção ao banco arenoso pode ser vista no perfil. Observa-se ainda no registro sísmico a presença de um paleocanal preenchido próximo a entrada da Enseada de Jurujuba, evidenciado na figura pelo quadro 1.

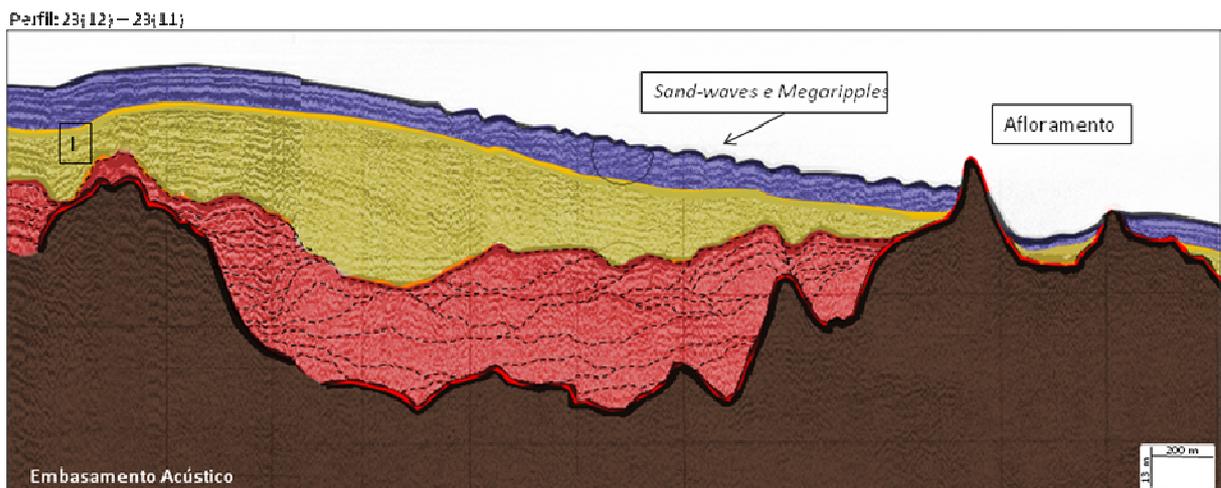


Figura 15 – Perfil sísmico 23(12)/(11)

### 3.3.1.2 Setor Central

A parte central da baía pode ser considerada uma zona de transição entre um regime hidrodinâmico de maior energia para um de menor energia. Nessa área ocorre uma grande mistura de sedimentos, de diversas classes granulométricas. Os sedimentos predominantemente apresentam-se pobremente a muito pobremente selecionados e com diâmetro médio que varia de areia grossa/média a argila.

A diminuição gradativa da granulometria, desde areias fina a muito fina até silte fino a muito fino, em direção ao interior da baía é função da diminuição das correntes de marés com a transição de uma zona de processos predominantemente marinhos para áreas afetadas pela sedimentação fluvial (Kjerfve *et al.* 1997; Quaresma *et al.* 2001). Os depósitos atuais apresentam um relevo suavizado sobre o pacote fluvial pleistocênico de característica bem irregular. Pode-se observar ainda a presença de bolsões isolados de gás rasos nos sedimentos, representados por colunas de múltiplas isoladas cortando os refletores de forma abrupta (Fig. 16).

Perfil: 23(10) – 23(9)

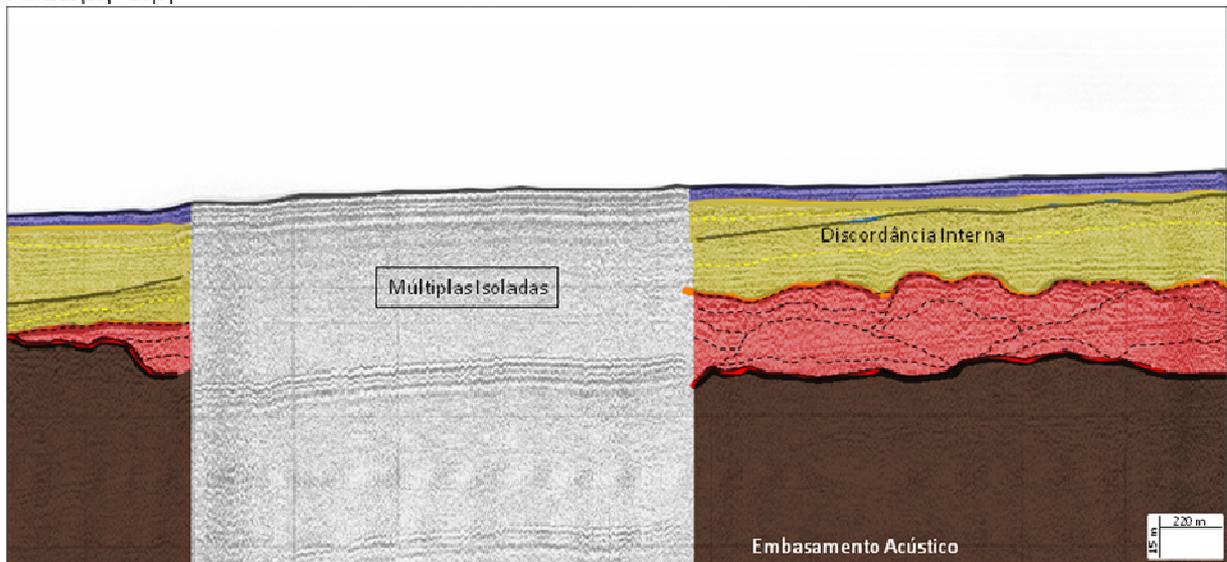


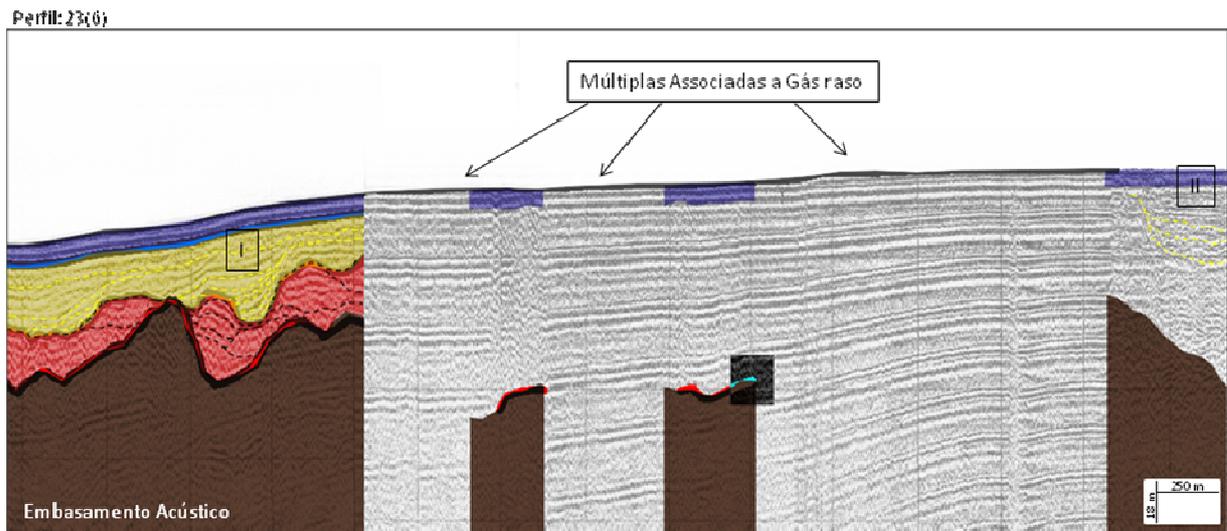
Figura 16 – Perfil sísmico 23(10)/(9)

### 3.3.1.3 Setor Norte

Nas regiões mais internas da Baía de Guanabara, a partir da Ilha do governador, tipicamente caracterizadas como ambientes de muito baixa energia, abrigado da ação das ondas e correntes de marés, os sedimentos são, em geral, muito finos, predominando os sedimentos do tipo silte e argila. Esses sedimentos apresentam-se moderadamente a pobremente selecionados, com diâmetro médio que varia de silte fino/muito fino a argila e apresentam altas concentrações de matéria orgânica, demonstrando uma hidrodinâmica muito baixa, e forte influência dos sistemas fluviais adjacentes. O ambiente deposicional desta zona é dominado por águas calmas e as partículas vão decantando lentamente pela coluna d'água, com exceção de pontos isolados como a região do entorno da ilha da Paquetá onde a atuação das correntes é capaz de erodir e impedir a deposição de sedimentos finos (JICA, 1994; Oliveira, 1996; Amador, 1997).

Observa-se ainda, nestas áreas isoladas, a presença de refletores truncados e fundo levemente abaulado representando condições erosivas/não-deposicionais de regiões afetadas pela dinâmica de correntes de fundo. No compartimento norte a ocorrência dos bolsões de gás raso é maior, também evidenciado por colunas de múltiplas, e ainda, em alguns pontos, o escape de gás para a coluna d'água. Pode-se observar a presença de dois paleocanais preenchidos, indicados na figura 17 nos quadros I e II respectivamente.

Convém atentar para o afinamento do pacote pleistocênico sobre o embasamento acústico possivelmente explicado pela presença de uma elevação estrutural, um *horst*, gerada por reativações cenozóicas (Almeida, 1976)



**Figura 17 – Perfil sísmico 23(6)**

Os pacotes sedimentares observados nos perfis sísmicos podem ser confrontados com as informações dos testemunhos coletados, observando-se assim a correlação entre os pacotes interpretados nos perfis e os horizontes observados nos testemunhos (figuras 18 e 19). A unidade sedimentar interpretada como depósitos fluviais da formação Caceribu pode ser observada nos testemunhos pela presença de lentes de lama arenosa gradando para areia sobre os sedimentos lamosos.

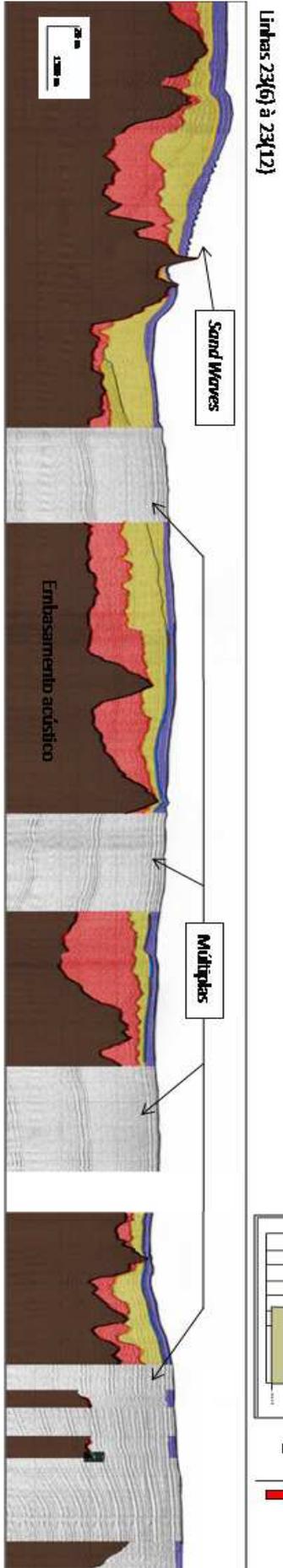
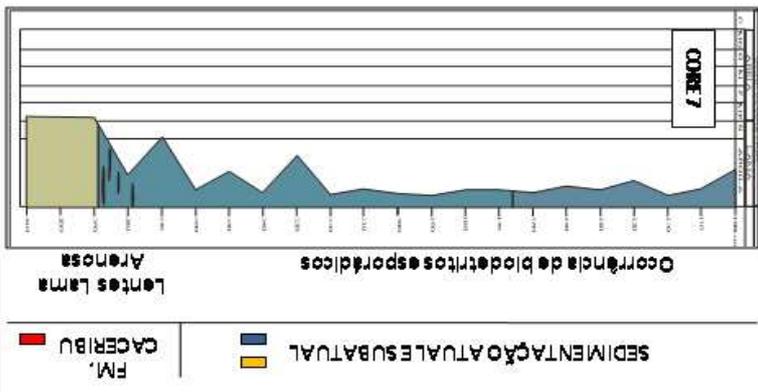
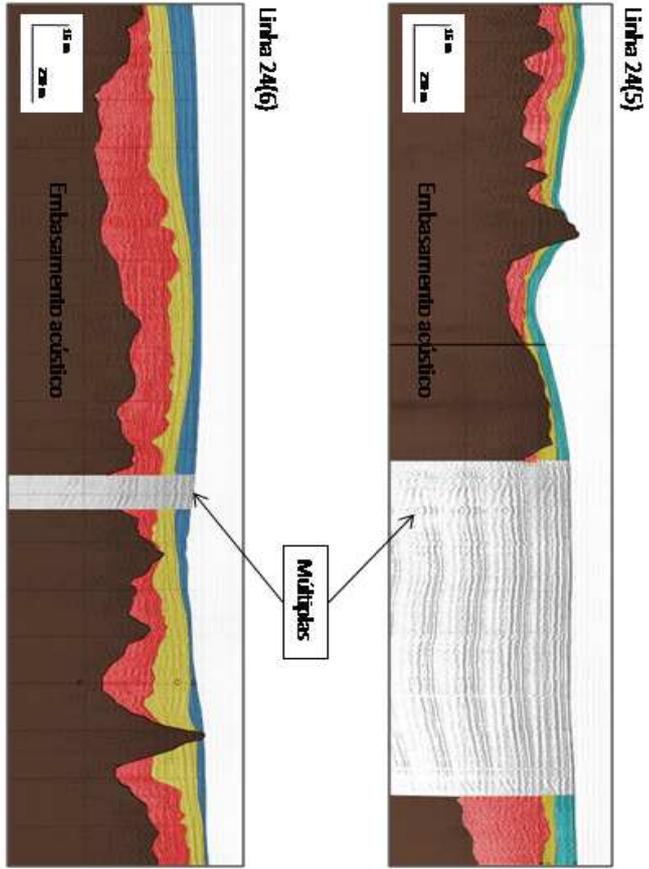
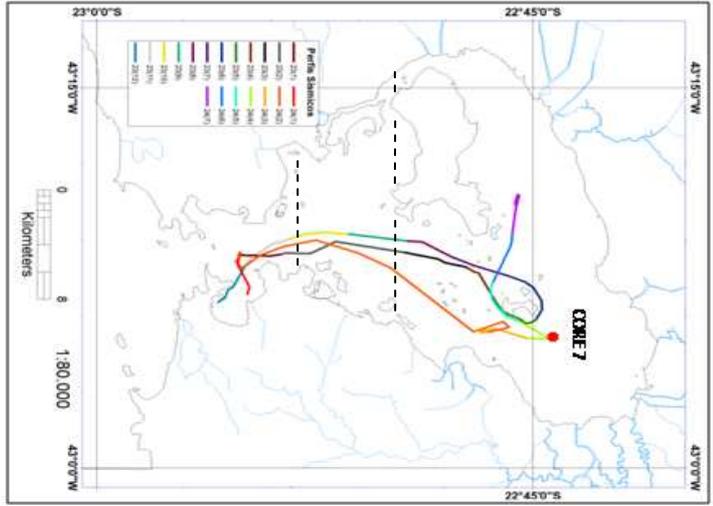
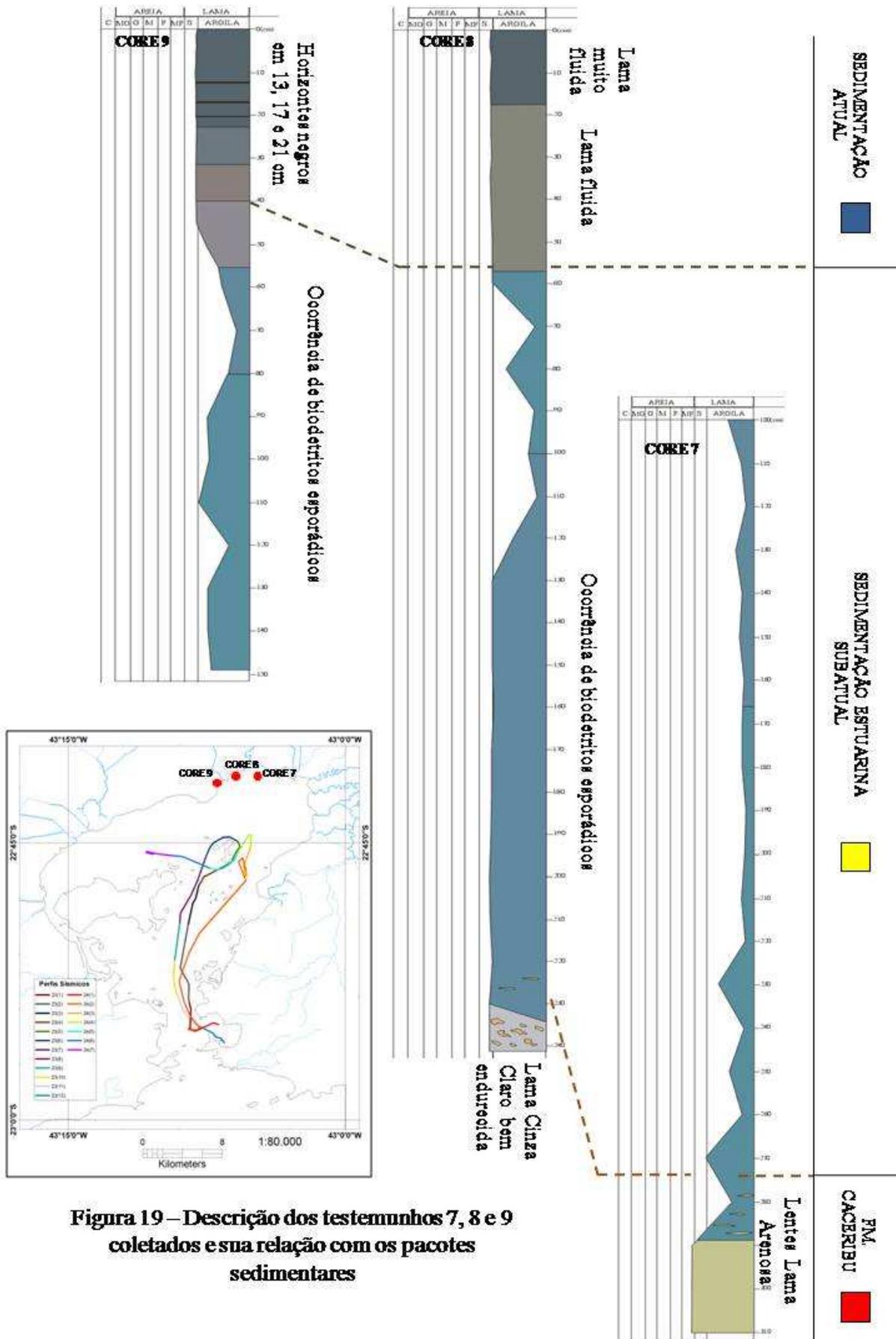


Figura 18 – Perfis sísmicos e correlação com o testemunho coletado



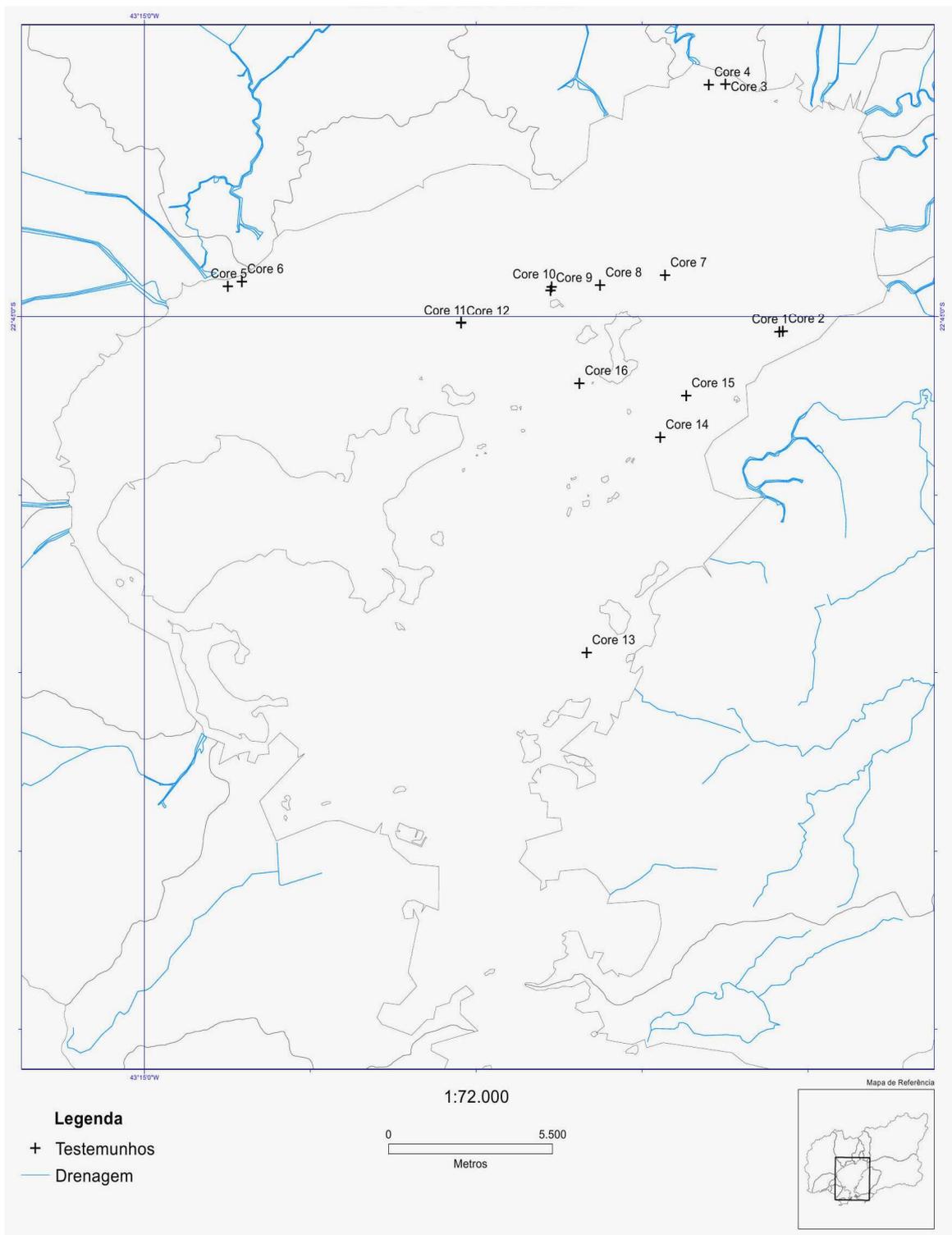
### 3.4 VARIAÇÕES NAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS

As variações nas concentrações de metais pesados em testemunhos configuram uma ferramenta de grande importância no estudo dos processos e características ambientais de determinada região no momento da deposição do sedimento.

Nos países industrializados, predominantemente, tal estudo é bastante freqüente, enquanto que, nos países atualmente em desenvolvimento, em especial aqueles localizados na zona de clima tropical, há a necessidade de se realizar pesquisas nessa área uma vez que os ambientes costeiros encontram-se cada vez mais pressionados e a utilização dos recursos naturais fornecidos, comprometida.

Na Baía de Guanabara alguns autores vêm realizando estudos periódicos (Lacerda *et al.*, 1982; Baptista Neto *et al.*, 2006) em áreas sob pressão ambiental de atividade antrópicas, a exemplo o compartimento norte. Os metais pesados estão presentes entre os principais poluentes originários dessas atividades, podendo ser encontrados sob diferentes formas químicas nos principais compartimentos do ambiente.

Foram analisados sete testemunhos coletados (Figura 20), sendo um localizado na porção central (CORE 13) e seis na porção norte (CORES: 3, 6, 8, 14, 15,16) da Baía de Guanabara, para determinação da variação das concentrações de ferro, chumbo, níquel, cobre, zinco, cromo e manganês. Os testemunhos foram fracionados em intervalos regulares de 2 cm nos 10 cm superiores (topo), em intervalos de 5 cm até 50 cm de profundidade e a partir dos 50 cm em intervalos de 10 centímetros até a sua base (Figuras: 21,22, 23 e 24).



**Figura 20 – Localização dos testemunhos coletados**

Diversos autores discorrem sobre as taxas de sedimentação e determinação de um padrão para as mesmas. A tabela 3 apresenta uma síntese dos padrões de sedimentação abordados por diferentes autores e o cálculo da idade relativa das espessuras sedimentares. A partir da análise da literatura pode-se inferir um valor de idade para uma coluna de 1cm no testemunho variando entre 0,5 e 2 anos. De posse de tais valores inferiu-se para o presente trabalho que os testemunhos coletados na porção norte da Baía de Guanabara apresentam idades máximas em torno de 600 anos. Na figura 8 as concentrações de metais pesados nos sedimentos de fundo foram interpoladas a partir das 92 amostras de fundo.

Em todos os testemunhos analisados observa-se um aumento nas concentrações dos metais pesados analisados, sendo possível estabelecer valores de *background*, ou seja, valores de referência para a determinação das variações nas concentrações. Pode-se observar um padrão de crescimento moderado para os metais da primeira coluna – Zn, Cu, Cr, Ni – enquanto que os metais da segunda e terceira colunas – Mn, Pb, Fe – apresentam um padrão oscilante, com exceção dos testemunhos 13, 14 e 16 que também apresentaram padrão de crescimento moderado, não sendo possível estabelecer uma tendência para os demais. Tal padrão de crescimento moderado pode representar o início das atividades antrópicas e intensificação do processo de industrialização e urbanização no entorno da Baía de Guanabara, uma vez que seu início encontra-se bem marcado no registro sedimentar. As maiores concentrações estariam associadas aos sedimentos lamosos no topo da coluna.

<b>Taxas (cm/ano)</b>	<b>Correlação (1 cm)</b>	
<b>0,67</b>	1,5 anos	Peixoto, 2005
<b>0,86</b>	1,2 anos	Godoy <i>et al</i> , 1998
<b>1,85</b>	0,5 anos	Oliveira, 1996
<b>0,57</b>	1,8 anos	Amador, 1980

**Tabela 3 – Síntese comparativa entre as taxas de sedimentação na porção norte da Baía de Guanabara**

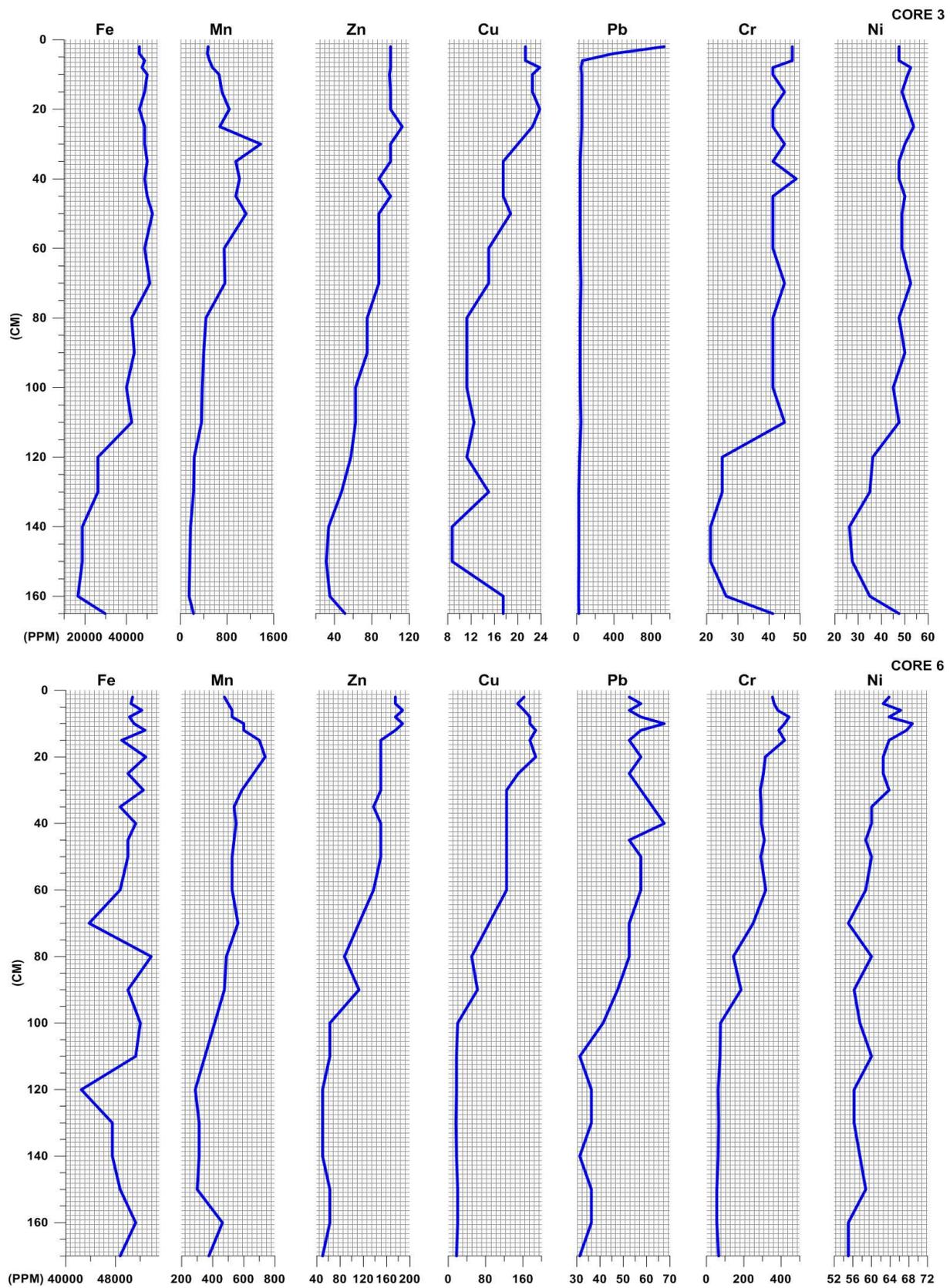
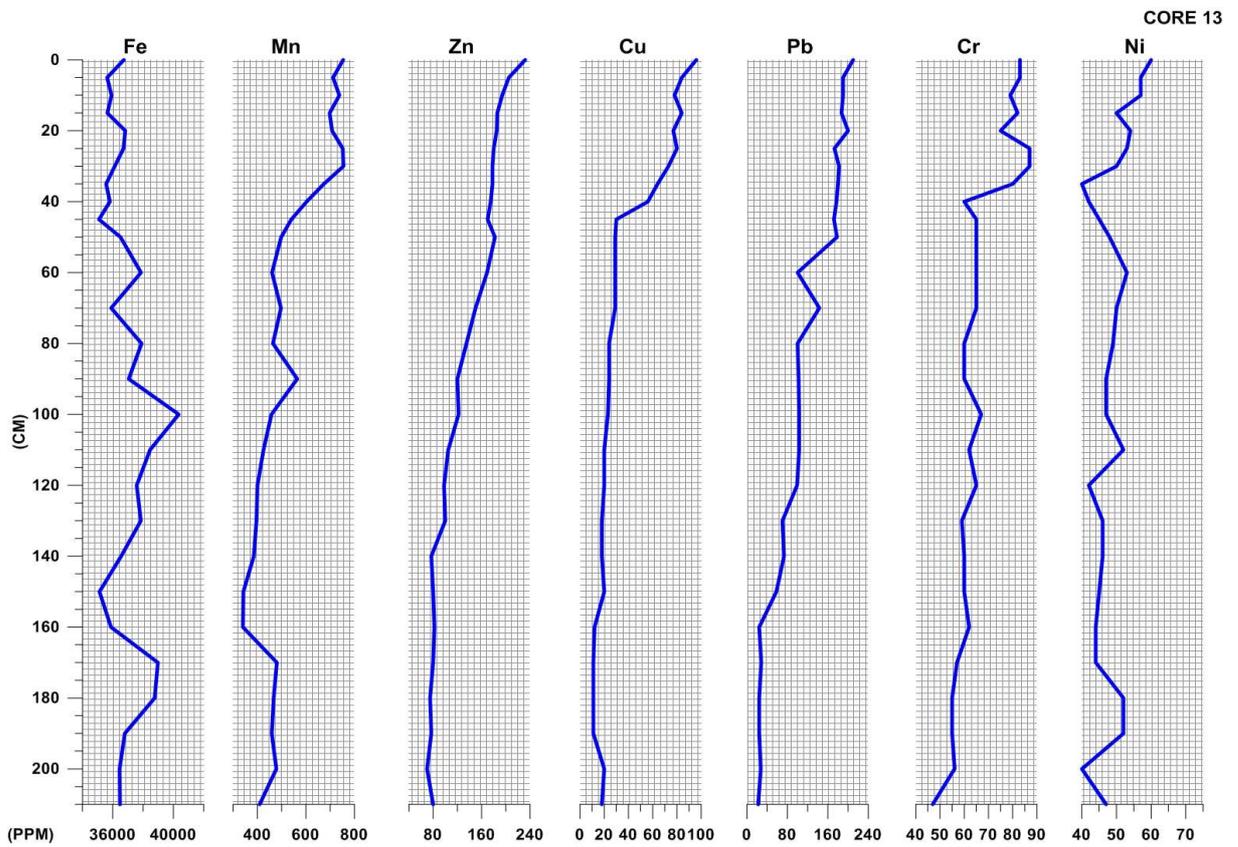
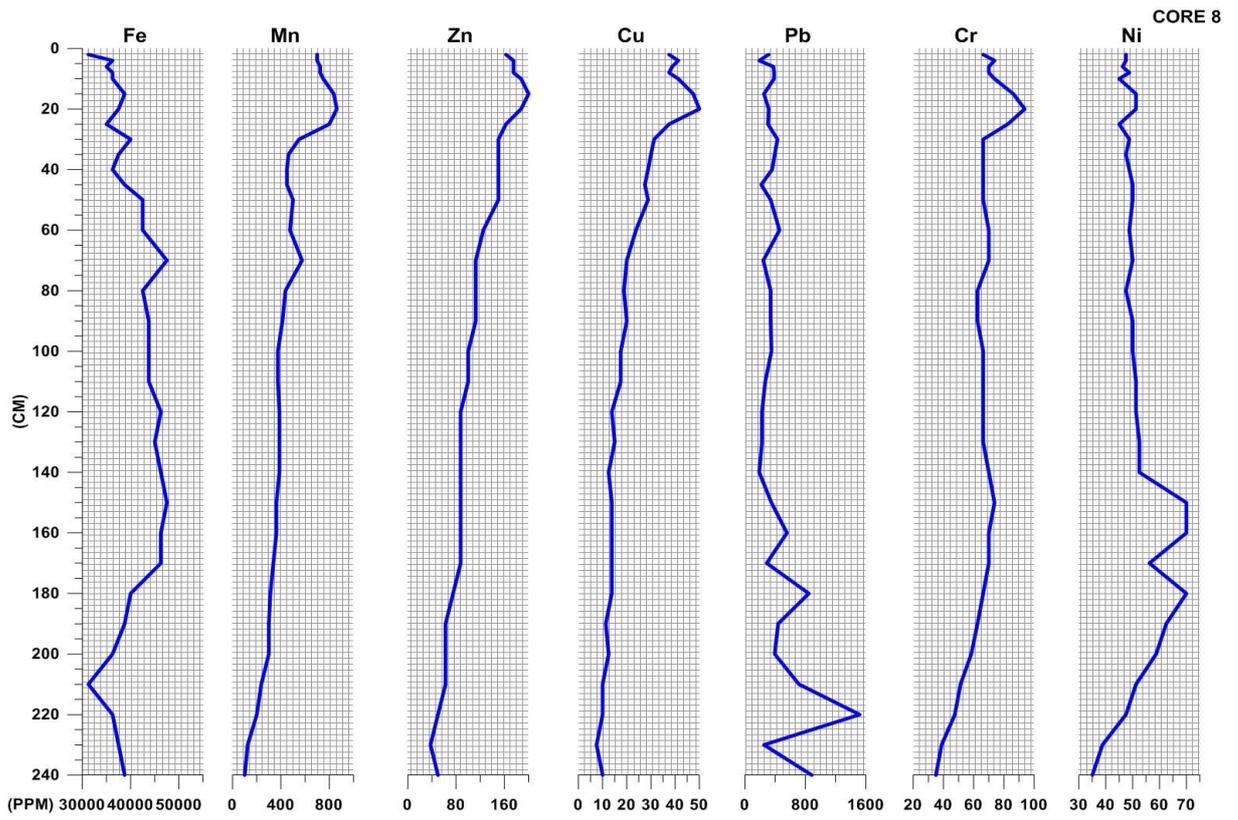
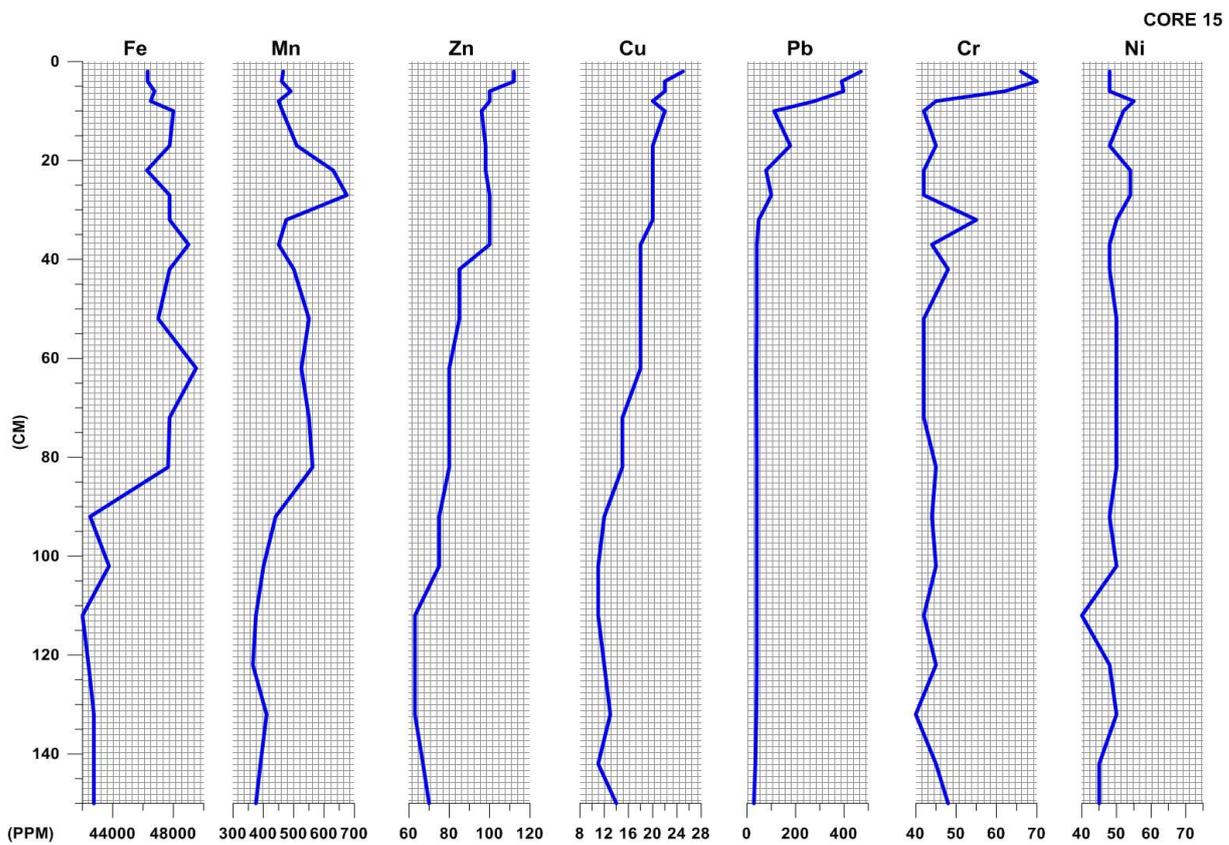
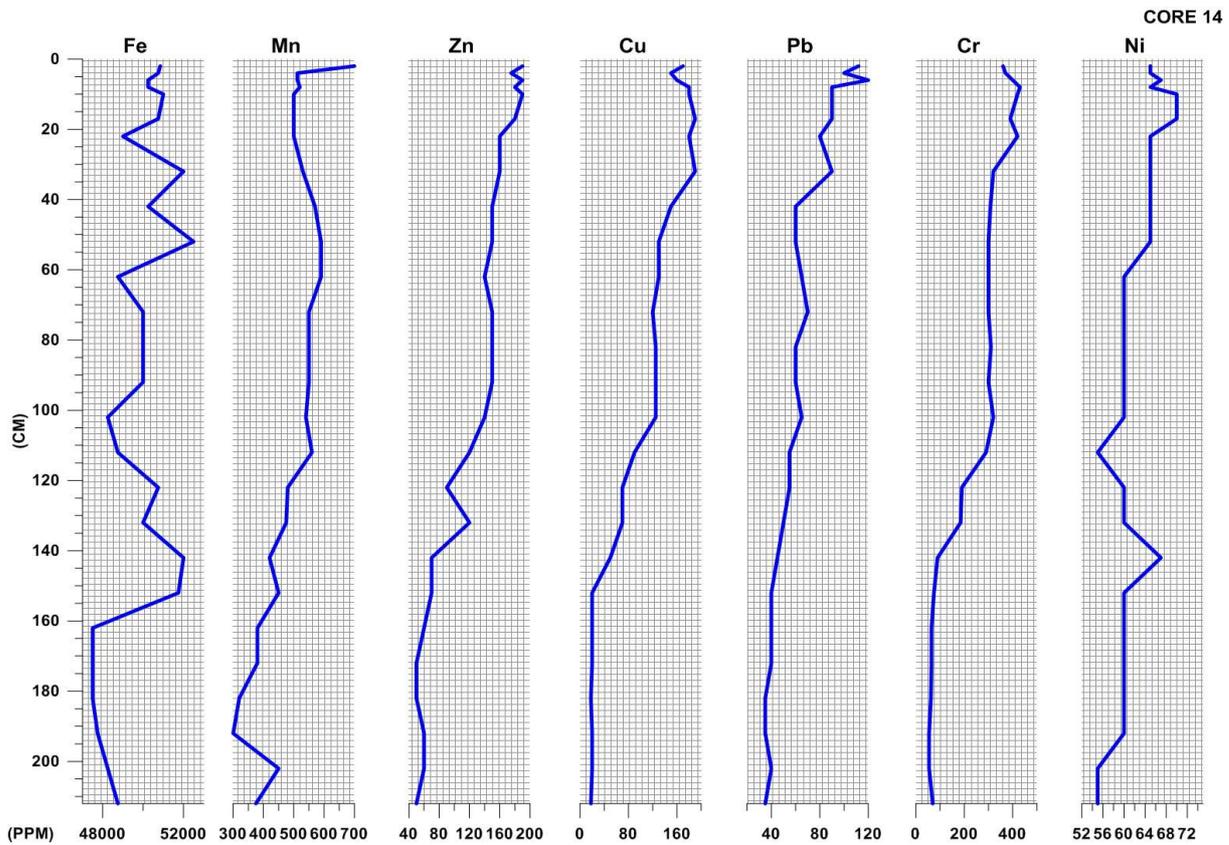


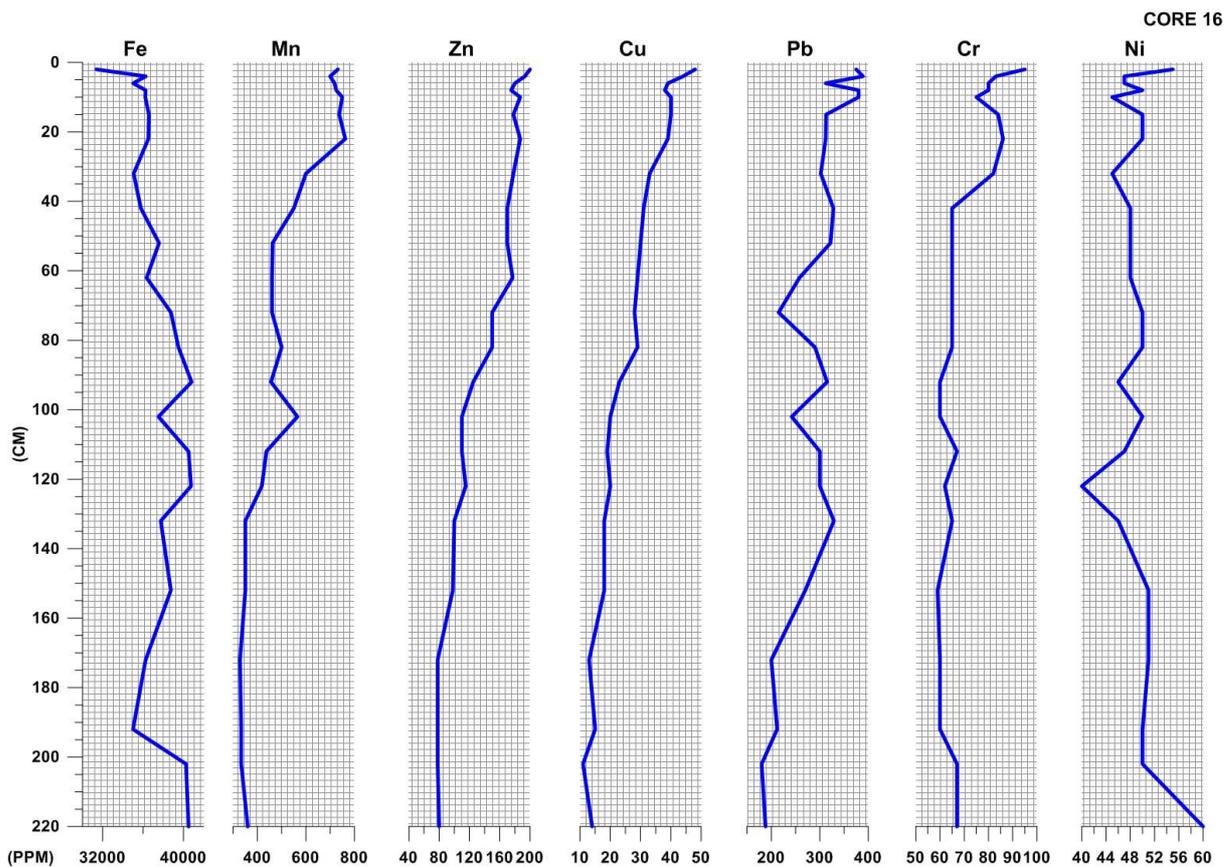
Figura 21 – CORES 3 e 6



**Figura 22 – CORES 8 e 13**



**Figura 23 – CORES 14 e 15**

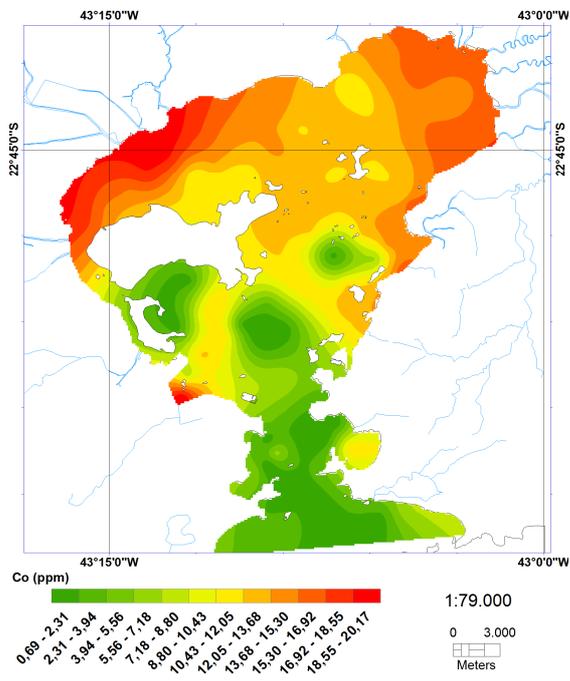


**Figura 24 – CORE 16**

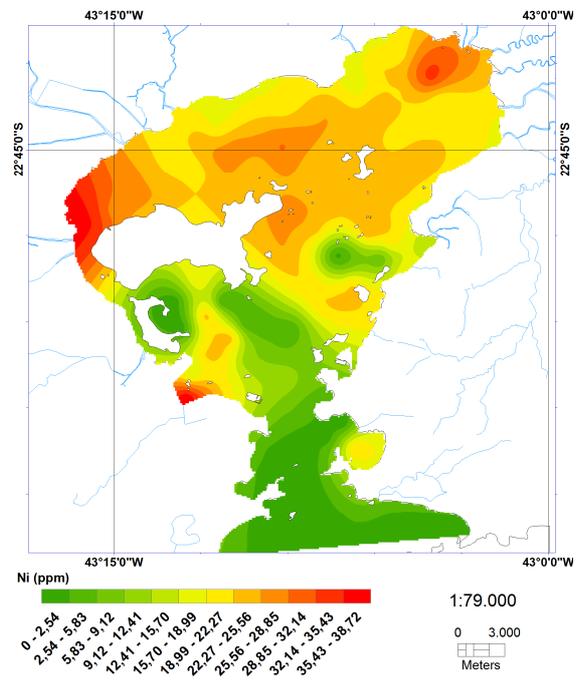
A sedimentação atual, fortemente impactada pela ação antrópica, revela que as concentrações dos metais chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr) e zinco (Zn) nos sedimentos lamosos (figura 25), são maiores na porção noroeste da Baía, atrás da ilha do Governador e nas proximidades do Porto do Rio de Janeiro, assim como, em menores proporções nas proximidades do Porto de Niterói e na enseada de Jurujuba demonstrando que estas são as regiões de maior poluição.

As maiores concentrações de alumínio (Al) e manganês (Mn) ocorrem em todo o fundo da Baía, mas principalmente nas desembocaduras dos rios Macacú e Guapimirim, sugerindo que os argilominerais, óxidos e hidróxidos de Al e Mn são principalmente trazidos por estes sistemas fluviais. Convém citar que as concentrações dos metais pesados nos sedimentos de fundo podem variar em escala temporal.

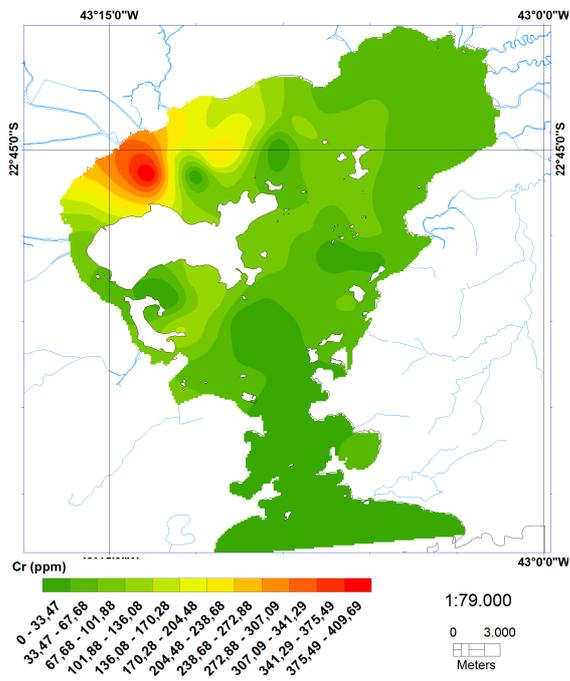
COBALTO:



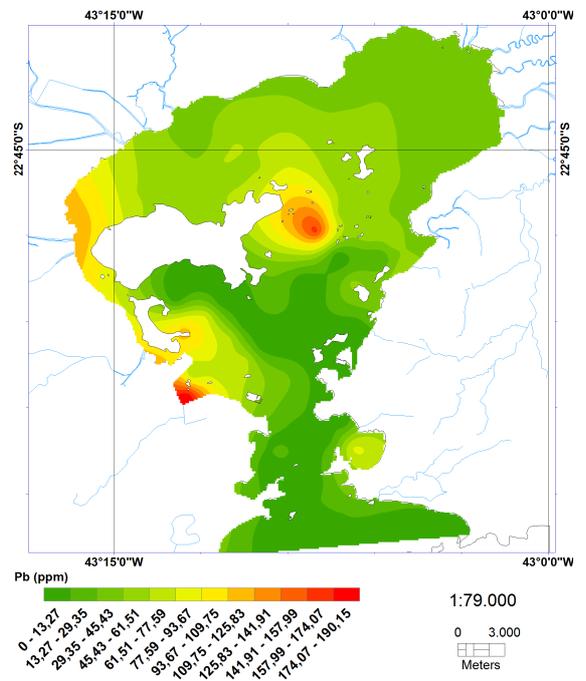
NÍQUEL:



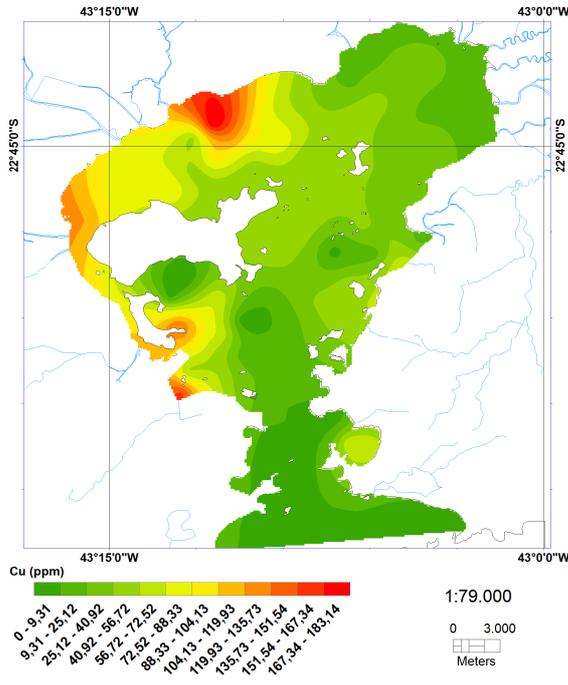
CROMO:



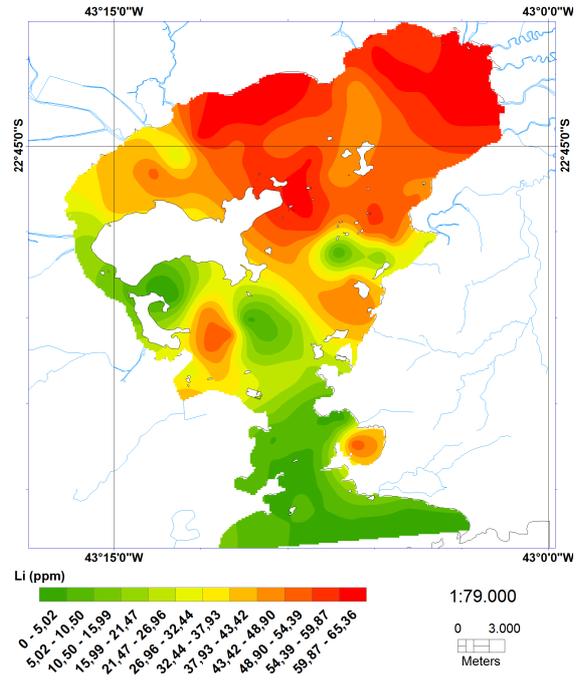
CHUMBO:



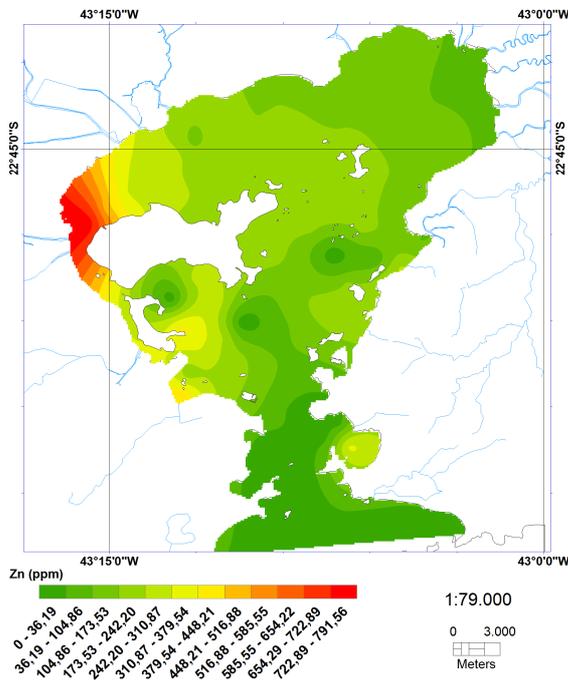
**COBRE:**



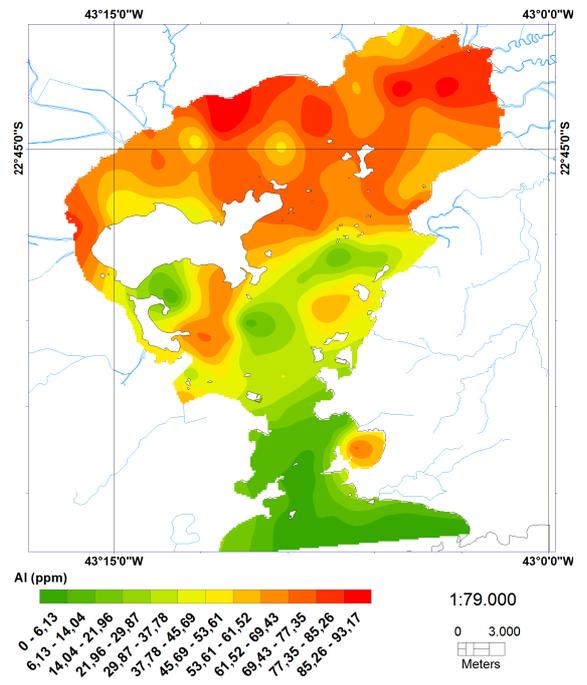
**LÍTIO:**



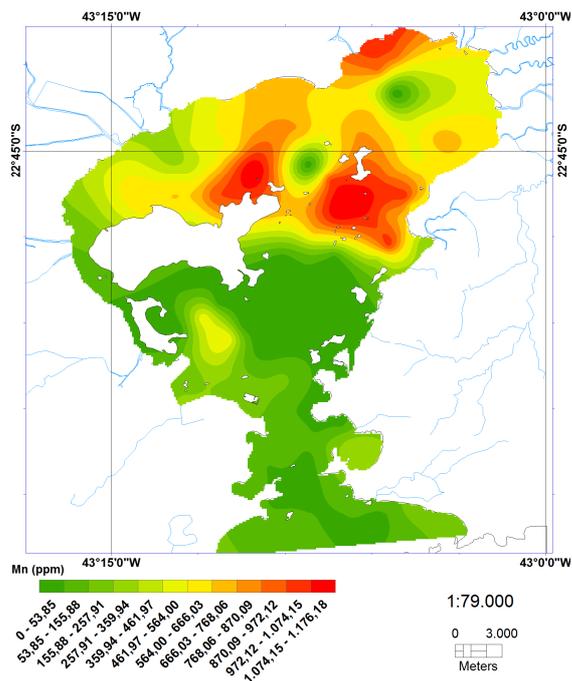
**ZINCO:**



**ALUMÍNIO:**



MANGANÊS:



FÓSFORO:

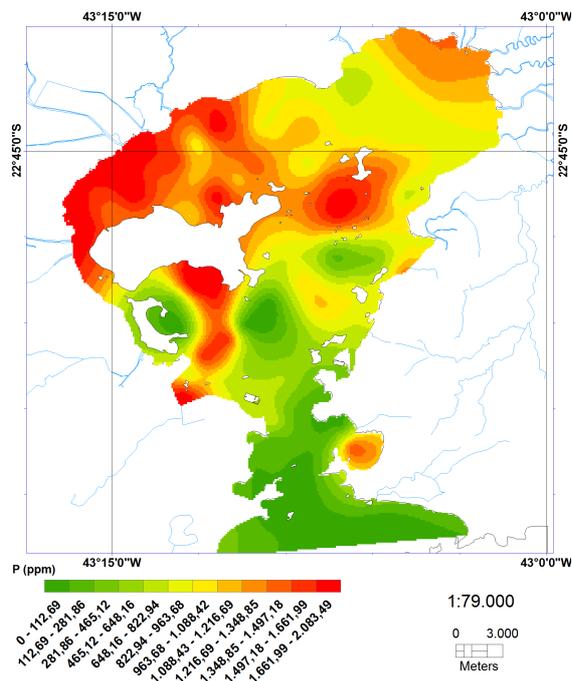


Figura 25 – Concentrações de metais pesados nos sedimentos de fundo

## 4 CONCLUSÕES

- O preenchimento sedimentar da Baía de Guanabara revelou três fases distintas de deposição, interpretadas no registro sísmico como fluvial – indicada por uma superfície bastante irregular relacionada à migração lateral dos canais, estuarina subatual (afogamento do paleossistema fluvial), suavizando a morfologia irregular, e estuarina atual (descida do nível relativo do mar) sobre o embasamento cristalino. Não foi possível identificar os depósitos da formação Macacu nos dados observados, em conformidade com a literatura.
- Nos registros sísmicos observados observam-se diversas feições associadas aos diferentes pacotes sedimentares como: morfologia do tipo pães de açúcar associada ao embasamento, redução gradativa do pacote pleistocênico em direção ao setor norte da baía, paleocanais afogados e discordância interna no pacote subatual e feições do tipo *sand-waves*, *megaripples* e a presença de bolsões de gás raso na sedimentação atual
- A associação dos registros sísmicos com os dados de testemunhos analisados confirmou a existência de depósitos de canais fluviais, evidenciados nos testemunhos pela presença de lentes de lama arenosa gradando para areias sob os sedimentos lamosos, reforçando o modelo proposto no presente trabalho para a disposição dos pacotes sedimentares;
- A interpolação das cotas batimétricas, associada ao mapa de drenagem do entorno da baía revelou uma notável relação entre as principais drenagens emersas e os talwegues afogados, confirmando assim o modelo proposto inicialmente por Ruellan (1944) para o paleossistema de drenagem da Baía de Guanabara;
- A análise das 92 amostras revelou a predominância de sedimentos finos em praticamente toda extensão da Baía de Guanabara, com exceção da porção sul, entorno do canal central e zonas de forte influência das correntes de maré;
- Sedimentos lamosos no interior da Baía de Guanabara apresentam altas concentrações de matéria orgânica, elevados teores de metais pesados e presença de gases rasos, possivelmente associados ao escoamento industrial e aporte de poluentes, enquanto os sedimentos mais grossos apresentam menores concentrações;
- Análise dos testemunhos coletados na porção norte da baía revelou crescimento gradativo das concentrações de metais pesados, com exceção de certos metais que

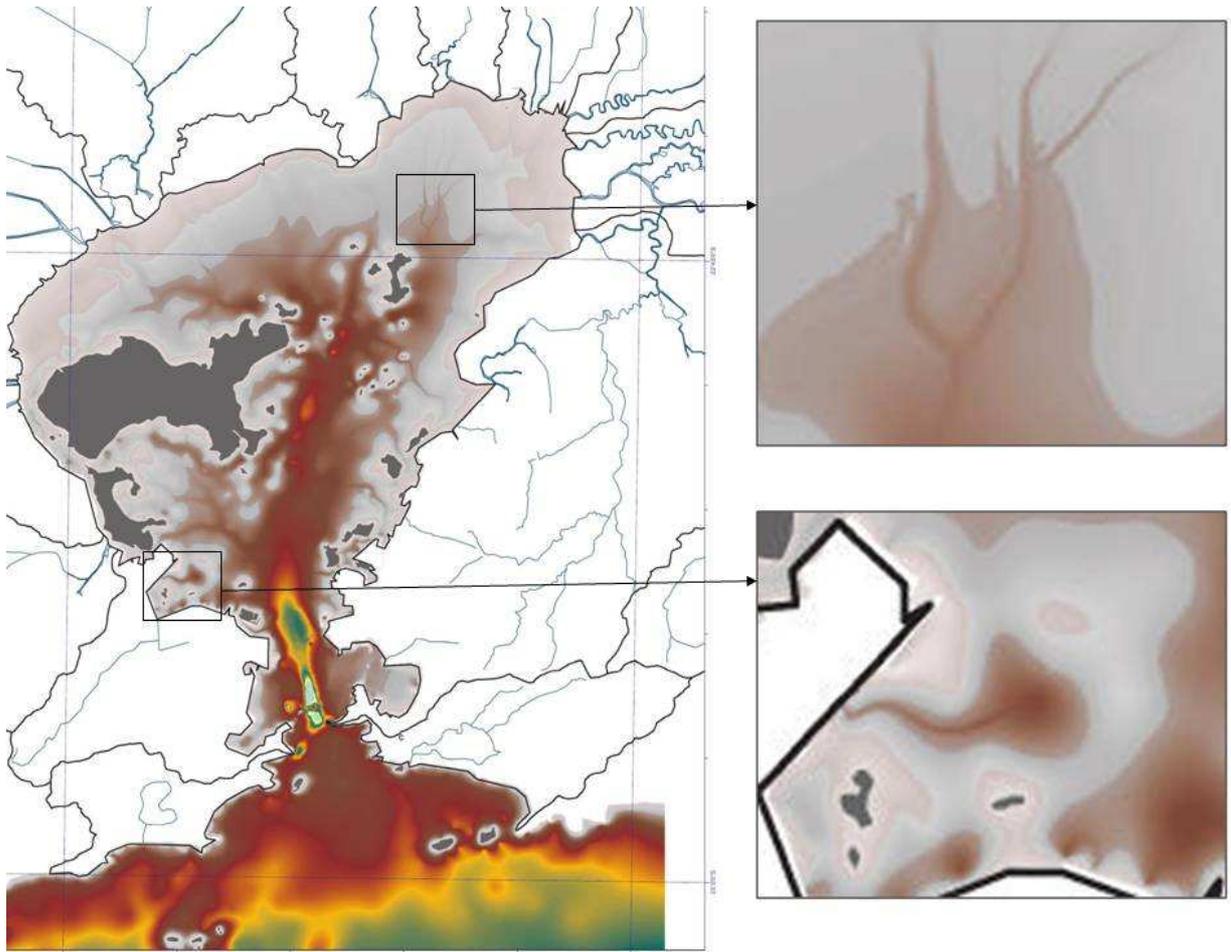
apresentaram padrão oscilante. As concentrações mais elevadas estariam associadas à sedimentação atual, composta por lamas fluidas e bem fluidas na porção norte (pacote superior nos perfis sísmicos).

- O aumento das concentrações observado nos testemunhos, adotando-se os valores propostos na literatura para as taxas de sedimentação, estaria associado ao início das atividades antrópicas no entorno da área.
- A partir das taxas de sedimentação propostas na literatura pode-se inferir idades em torno de 400 anos para o registro da variação nas concentrações de metais pesados nos testemunhos analisados

## 5 ANÁLISE QUALITATIVA DE ERROS

O mapa batimétrico gerado a partir do interpolador krigagem em associação com o toolbox ENFORCE, ambos no software ARCGIS, encontra-se sujeito a alguns erros do interpolador. Em krigagem valor interpolado é obtido por uma média ponderada dos valores dos pontos amostrados em função da distância, considerando que a estrutura dos dados amostrados é isotrópica, sendo que a distância entre os pontos pode ser medida independente de sua situação relativa. O método de krigagem dá ênfase ao tratamento do segundo componente através da análise da correlação espacial entre os dados, considerando que seu valor é função da distância entre eles. Sendo o valor de ponto relacionado com os valores dos pontos vizinhos distribuídos a distâncias variáveis, a influência dos pontos mais distantes é menor do que a influência dos pontos mais próximos.

O toolbox ENFORCE interconecta cotas vizinhas enfatizando possíveis canais fluviais. Uma vez que os pontos são diretamente influenciados por seus respectivos circunvizinhos, ao se reduzir em excesso o tamanho da célula o interpolador pode gerar falsos vales ou falsos canais, sendo necessária a associação entre o mapa interpolado e a literatura, conforme observado na figura 26.



**Figura 26 – Possíveis erros associados ao interpolador, representados por “falsas” drenagens**

## **6 PROPOSTAS PARA PESQUISAS FUTURAS**

Como propostas para futuros levantamentos, lacunas de conhecimento e estudos na Baía de Guanabara sugere-se:

- Aplicação de técnicas geofísicas na porção norte da Baía de Guanabara para o mapeamento detalhado dos paleocanais afogados associados à drenagem em superfície.
- Datação dos testemunhos coletados e determinação das variações nas taxas de sedimentação na Baía de Guanabara.
- Aplicação de outros métodos geofísicos e comparação com os dados já existentes para formação de um banco de dados .
- Coleta periódica de amostras de fundo e monitoramento das taxas de concentração de metais pesados nos sedimentos.
- Coleta de testemunhos em pontos críticos sobre os perfis sísmicos para consolidação do modelo deposicional proposto.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. (1976). The system of continental rifts bordering Santos basin, Brazil, proceedings symp. Cont. Margins of atlantic type. Academia brasileira de ciências, 48(suplemento): 15 – 26.
- AMADOR, E. S. (1980). Assoreamento da baía de Guanabara - taxas de sedimentação. *Anais da academia brasileira de ciência*, 52(4): 723 – 742.
- AMADOR, E. S. (1980). Unidades sedimentares cenozóicas do recôncavo da baía de Guanabara (folhas Petrópolis e Itaboraí). *Anais da academia brasileira de ciência* 52(4), 743-761.
- AMADOR, E. S. (1992). Sedimentos de fundo da baía de Guanabara - uma síntese. In anais do iii congresso da associação brasileira de estudos do Quaternário - ABEQUA, pp. 199-224. Belo horizonte, MG, Brasil.
- AMADOR, E. S. (1997). Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: homem e natureza. UFRJ. Rio de janeiro.
- AMANTE, C. AND B. W. EAKINS (2009) , ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp.
- ANGULO R. J., LESSA G. C.(1997). The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. *Mar geol.* 140:141–166.
- ANJOS, M.M.; Rocha, P.L.F.; Silva, S.F da; A, Pedroson & Marques, R.M. (2001). Aplicação de GPR (*ground penetrating radar*) como ferramenta no diagnóstico ambiental em área industrial. 7th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Bahia, Brazil.
- ASMUS, H. E. & FERRARI, A. L. (1978). Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do brasil. Projeto REMAC. Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do brasil. Rio de janeiro, PETROBRÁS – CENPES – DINEP. Projeto REMAC n. 4: 75-88.

- ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY.  
Toxicological profile for copper. Syracuse: U.S. Department of Commerce, 1990.
- ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY.  
Toxicological profile for nickel. Atlanta: ATSDR, 350p, 1997.
- ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY.  
Toxicological profile for zinc. Atlanta, 243 p., 1994.
- ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY.  
Toxicological profile for chromium. Syracuse: U.S. Department of Health and Human Services, 2000.
- BAPTISTA NETO, J.A., SILVA, M.A. M. & FIGUEIREDO JUNIOR, A.G. (1996): Sísmica de Alta Frequência e o padrão de distribuição de sedimentos na Enseada de Jurujuba (Baía de Guanabara)-RJ/Brasil, *Revista Brasileira de Geofísica* 14 (1): 51-58.
- BAPTISTA NETO, J.A.; SMITH, B.J. & MCALLISTER, J.J. (1999). Sedimentological evidence of human impact on a nearshore environment: Jurujuba Sound, Rio de Janeiro State, Brazil. *Applied Geography*, Elsevier, **19**(2): 153-177.
- BAPTISTA NETO, J. A., BREHME, I., GINGELE, F. X. & LEIPE, T. (2006). Spatial distribution of heavy metals in superficial sediments from Guanabara bay: rio de janeiro, Brazil. *Environmental geology* 49: 1051-1063.
- BARBOSA M. C.; ALMEIDA, M. S. S.; MARIZ, D, F. & ALMEIDA, J. D. L. S. S. (2004). Studies of channel sediments contaminated with organics and heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, **110** (1-3): 29 – 38 pp.
- BARROS G.L.M. (2006). Navegando com a eletrônica. 2ª Ed. Petrópolis, RJ. Catedral das Letras. 392p.
- BURTON, J. D. (1976). Basic properties and processes in estuarine chemistry. In: MÓSCA, N. P, Concentração de Mercúrio nas águas e sedimentos da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, RJ, 1980.
- CARREIRA, R. S.; WAGENER, A. L. R.; FILEMAN, T.; READMAN, J.; MACKO, S. A.; VEIGA, A. (2002); *mar. Chem.* 79, 207.

- CATANZARO, L. F.(2002). Distribuição de sedimentos e características de ecocaráter (7,0 kHz) na baía de Guanabara – RJ. Dissertação de mestrado, departamento de geologia, universidade federal fluminense, Niterói, RJ.
- CATANZARO, L. F.; BAPTISTA NETO, J. A.; GUIMARÃES, M. S. D.; SILVA, C. G. (2004). *Distinctive sedimentary processes in Guanabara Bay – se/brazil, based on the analysis of echo-character (7.0 kHz)*. Revista Brasileira de Geofísica, 22(1): 69-83.
- CAÇONIA, A.J. (1984). *Distribuição de cobre, chumbo e zinco em sedimentos superficiais da área norte da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro*. Dissertação de mestrado, Departamento de Geoquímica, UFF, Niterói, RJ. 73p.
- DHN (1998) – carta náutica nº 1501.
- DIAS G. T. M. & KEJRFVE B. (2008). *Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil*. Louisiana State University. Springer-verlag berlin and Heidelberg & co; 7: 225-252.
- FERRARI, A. L. (1990). A geologia do *rift* da Guanabara (RJ) na sua porção centro-oriental e sua relação com o embasamento pré-cambriano. Anais do xxxvi congresso brasileiro de geologia, natal, RN.
- FERRARI, A. L. & SILVA, M. A. M. (1997). *Bacia do Macacu (RJ): proposta de uma nova bacia do rift continental do sudeste do brasil*. In: simpósio de geologia do sudeste, 5, atas, penedo, p. 32-34. In: silva, l. C. Geologia do estado do rio de janeiro: texto explicativo do mapa geológico do estado do rio de janeiro / organizado por Luiz Carlos da silva {e} hélio canejo da silva cunha. – Brasília: CPRM. 2ª edição revista em 2001.
- FORSTNER, F. & WITTMANN, G. T. W. (1981). Metal pollution in the aquatic environment. Springer – Verlag, Berlin Heidelberg New York. 486 pp.
- GODOY, J. M., MOREIRA, I., BRAGANÇA, M. J., WANDERLEY, C., & MENDES, L. D., (1998). A study of Guanabara Bay sedimentation rates. J. Radioanal. Nucl. Chemi. 227 (1-2): 157 - 160.
- GRESENS, R.L. (1967). Composition-volume relationships of metassomatism. Chem. Geol., 2:47-65.

- HARROP, O. (1983). Urban stormwater pollution research. Report 6: Stormwater pollution from highway surfaces: A review. Middlesex Polytechnic Research and Consultancy. 109 p.
- HEDGES, J. I; STERN, J. H. (1984). *Limnol. Oceanography*. 29, 657.
- HSDB – HAZARDOUS SUBSTANCE DATA BANK (2000). Copper. In: TOMES CPS TM SYSTEM. Toxicology, occupational medicine and environmental series. Englewood: Micromedex.
- JICA (1994). The study on recuperation on Guanabara Bay. Vol. 2.
- KEHRIG, H. A.; PINTO, F. N.; MOREIRA, I. & MALM, O. (2003). Heavy metals and methyl mercury in a tropical coastal estuary and a mangrove in Brazil, *Organic Geochemistry*, 34 (5): 661-669 pp.
- KJERFVE, B., RIBEIRO, C. H. A., DIAS, G. T. M, FILIPPO, A. M. & QUARESMA, V. S. (1997). Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: baía de Guanabara, rio de janeiro, Brazil. *Continental shelf research*, 17(13):1609-1643.
- LACERDA, L. D., *et al.* (1982) Níveis naturais de metais pesados em sedimentos marinhos da Baía da Ribeira, Angra dos Reis. *Ciência e Cultura*. Nº 34. 912-924.
- LACERDA, L.D.; C.M.M. SOUZA & M.H.D. PESTANA (1988). Geochemical distribution of Cd, Cu, Cr and Pb in sediments along the southeastern Brazilian coast. In: *Metals in Coastal Environments of Latin America*, eds. U. Seelinger, L.D. Lacerda & S.R. Patchineelam. P.86-89. Springer, Berlim.
- LEAL, M. & WAGENER, A. (1993). Remobilization of anthropogenic copper deposited in sediments of a tropical estuary. *Chemical speciation and bioavailability*, 24(1): 31-39.
- LOWRIE W. (2006). *Fundamentals of geophysics*. 17<sup>a</sup> Ed. United Kingdom. Cambridge University Press. 354p.
- MACHADO, W.; SILVA-FILHO, E. V.; OLIVEIRA, R. R. AND LACERDA, L. D. (2002). Trace metal retention in mangrove ecosystems in Guanabara Bay, SE Brazil, *Marine Pollution Bulletin*, 44 (11): 1277-1280 pp.
- MAYR, L.; D. R. TENENBAUM; M.C. VILLAC; R. PARANHOS; C.R. NOGUEIRA;

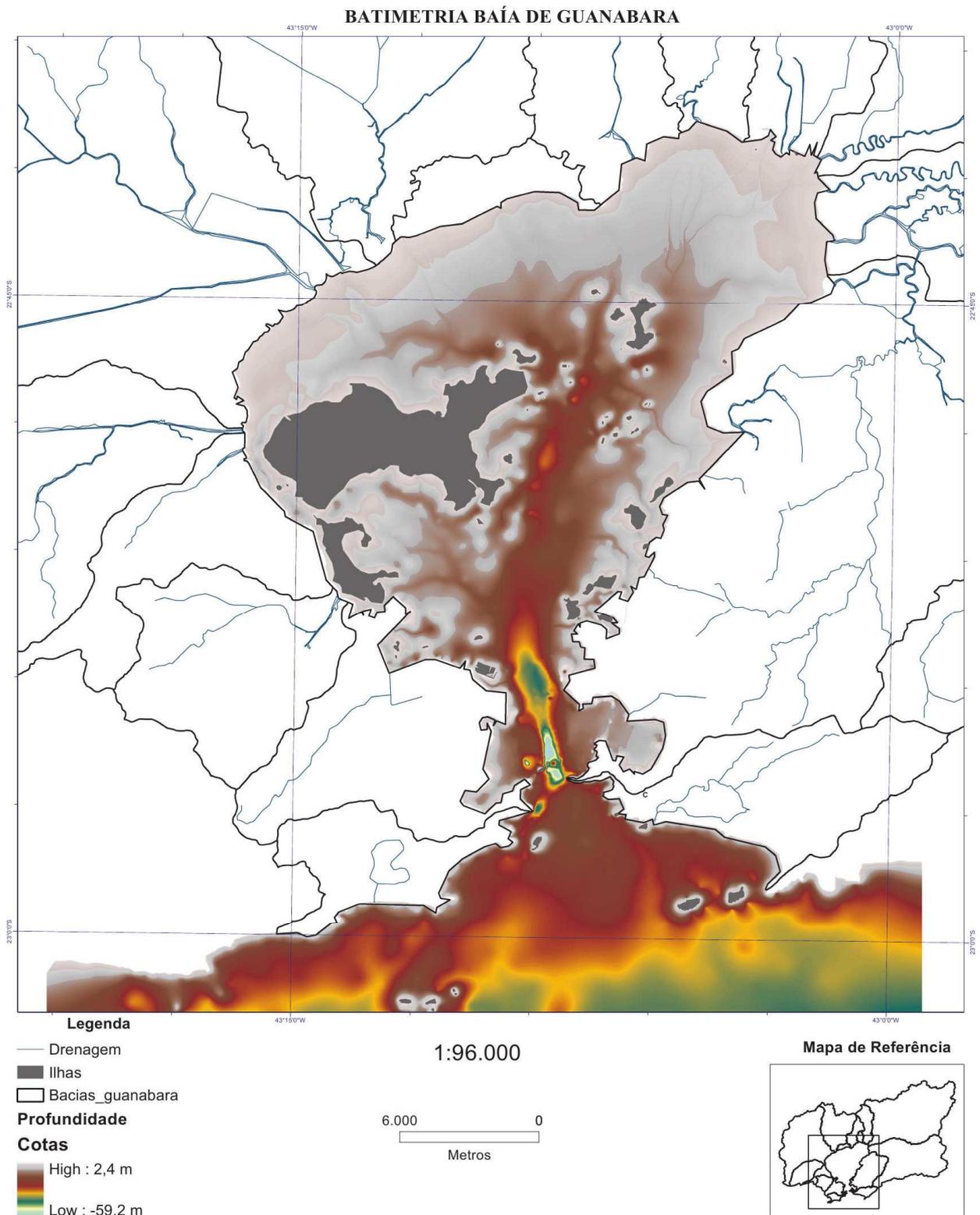
- S.L.C. BONECKER & A.C.T BONECKER (1989). Hydrobiological characterization of Guanabara Bay. In: Neves, C. & Magoon, O.T. (Ed.). *Coastlines of Brazil*. Publish: American Society of Civil Engineers, New York. p. 124-138.
- MELO, G. V. (2004). Transporte de metais pesados no sedimento em suspensão na Baía de Guanabara, em um ciclo de maré. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geologia e Geofísica Marinha. 89 pp.
- MUSHAK P. (1980). Metabolism and systemic toxicity of nickel. In: Nriagu, J. O. Nickel in the environment. New York, p. 499-523, 1980.
- OLIVEIRA, M. A. DE C. (1996). *Utilização de documentos cartográficos na avaliação de processos de sedimentação em ambientes estuarinos. Um estudo de caso na baía de Guanabara (RJ. Brasil)*. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em geografia. UFRJ.124p.
- OLIVEIRA, R.R.; BRESSAN, F. & SILVA – FILHO, E. (1998). Contaminação por metais pesados no sedimento e compartimentos bióticos de manguezais da Baía de Guanabara. Anais IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros. 30 – 37 pp.
- PDGB – PROGRAMA DE DESPOLUIÇÃO DA BAÍA DE GUANABARA, (2005). Plano Gestor de Recursos Hídricos. Secretária de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano
- PEIXOTO, T. C. S. (2005). Geocronologia e fluxos de carbono orgânico em sedimentos recentes da porção norte da baía de Guanabara, RJ. Monografia, curso de graduação em oceanografia, UERJ, RJ. 41 pp.
- PEREIRA, E. (2002). Os Sedimento do escoamento superficial das rodovias como fontes de metais pesados para a Baía de Guanabara – RJ. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geologia e geofísica marinha 58pp.
- PFEIFFER, W.C.; FISZMAN, M.; LACERDA, L. D.; VAN WEERELT, M. & CARBONELL, N. (1982). Chromium in water, suspended particles, sediments and biota in the Irajá river estuary. *Environmental Pollution*, 4 (série B): 193 – 205 pp.

- QUARESMA, V.S. (1997). Caracterização da dinâmica sedimentar da baía de Guanabara, RJ. Tese de mestrado, departamento de geologia, universidade federal fluminense, Niterói, RJ. 97 pp.
- QUARESMA, V.S., DIAS, G. T. M & BAPTISTA NETO, J. A.(2001). Caracterização de padrões de sonar de varredura lateral e 3,5 e 7,0 kHz na porção sul da baía de Guanabara – RJ. Revista brasileira de geofísica.
- REBELLO, A. L., HAEKEL, W., MOREIRA, I., SANTELLI, R. & SCHROEDER, F. (1986): The fate of heavy metals in an estuarine tropical system. *Marine Chemistry*, **18**: 215-225.
- RICCOMINI, C. (1989). *O rift continental do sudeste do Brasil*. Tese de doutorado. Instituto de geociências/USP, 256 p. *In*: silva, l. C. Geologia do estado do rio de janeiro: texto explicativo do mapa geológico do estado do rio de janeiro / organizado por Luiz Carlos da silva {e} hélio canejo da silva cunha. – Brasília: CPRM. 2ª edição revista em 2001.
- RUELLAN, F. (1944). Evolução geomorfológica da baía de Guanabara e das regiões vizinhas, revista brasileira de geografia, 6(4): 445 – 508.
- SECT – SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA/GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO/PETROBRAS (2000). Relatório final de avaliação das condições presentes de funcionamento do complexo industrial Reduc/DTSE sob o ponto de vista de suas implicações ambientais. Elaborado pelo consórcio de universidades. Convênio SECT/PETROBRAS.
- SILVEIRA, J. D. (1964). Morfologia do Litoral. *In*: Azevedo, A. Brasil a Terra e o Homem. São Paulo, Cia.
- SOUZA, L.A.P. (1988). As técnicas geofísicas de sísmica de reflexão de alta resolução e sonografia aplicadas ao estudo de aspectos geológicos e geotécnicos em áreas submersas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, PA. **Anais...SBG**, v.4, p.1551-1564.
- VALENTIN, J; TENENBAUM, D.; BONECKER, A.; BONECKER, S.; NOGUEIRA, C.;PARANHOS, R.; VILLAC, M. (1999). *J. Rech. Océanographique*, 24, 33.

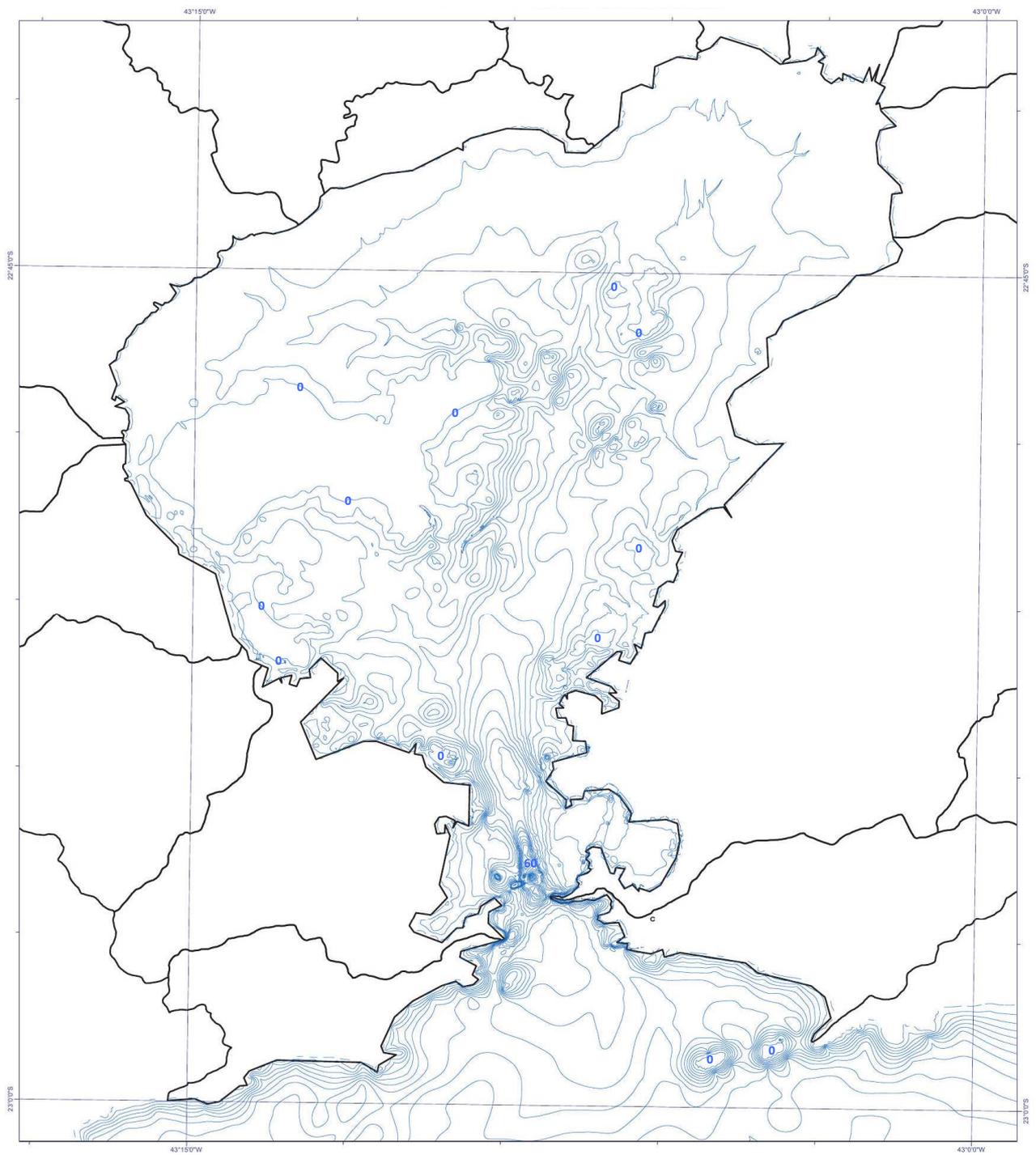
- VANDENBERG, C. & REBELLO, A. L. (1986): Organic-copper interactions in Guanabara Bay, Brazil - an electrochemical study of copper complexation by dissolved organic material in a tropical bay. *Science of the total environment*, **58**(1-2): 37-45.
- VOGEL, R. L., KJERFVE, B. E L. & R. GARDNER. (1996). Inorganic sediment budget for the North Inlet salt marsh, South Carolina, USA. *Mangroves and Salt Marshes*, 1 23-35.
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Chromium. Geneva, 1988. Environmental Health Criteria 61.
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Copper. Geneva: WHO, 1998. Environmental Health Criteria 200.
- ZALAN, P. V. & OLIVEIRA, J. A. B. (2005) origem e evolução estrutural do sistema de riftes cenozóicos do sudeste do brasil. *Boletim de geociências da PETROBRAS* - v. 13, n. 2- maio/nov. 2005

## 8 ANEXOS

### I MAPA BATIMÉTRICO:

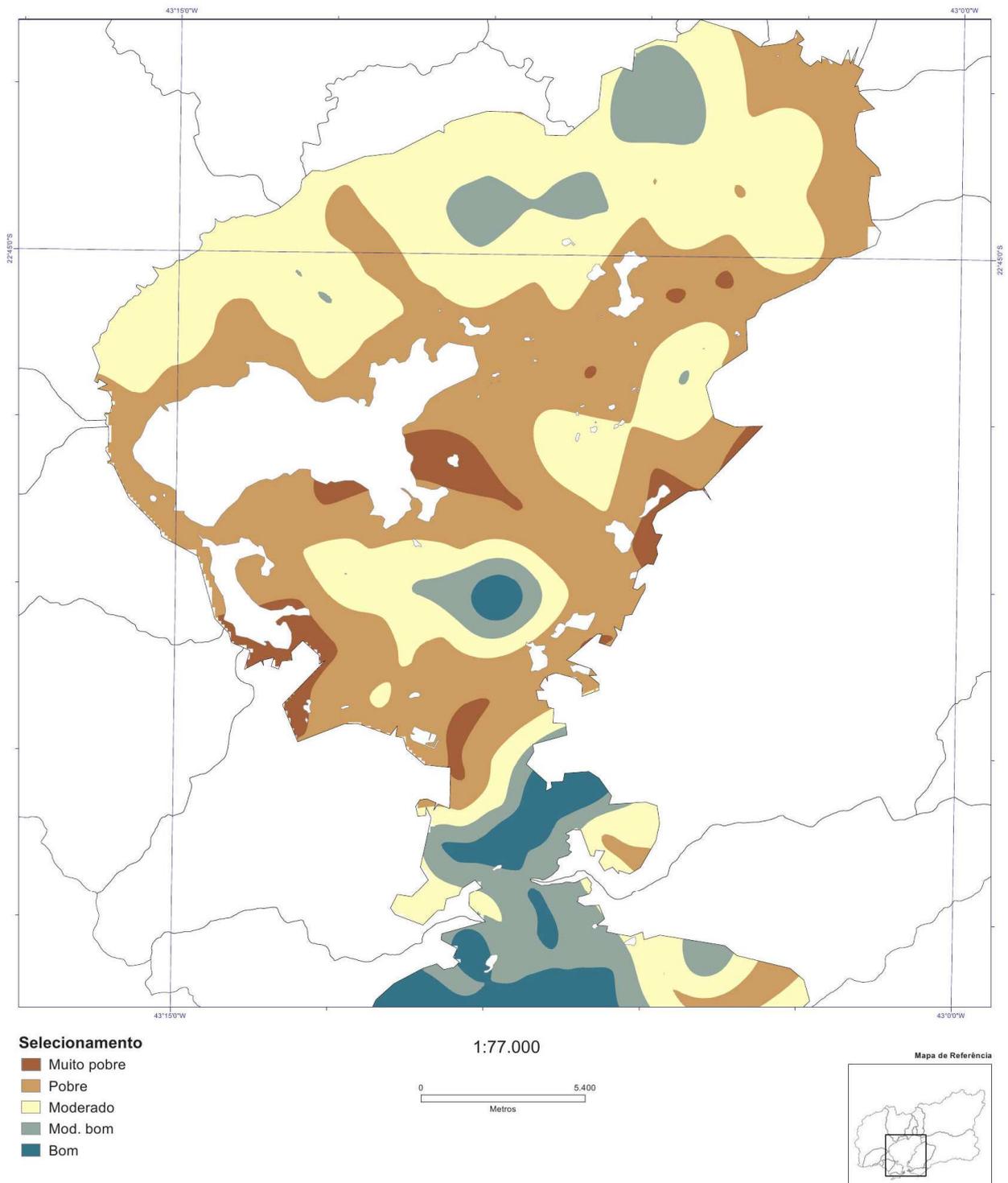


## II MAPA DE ISOLINHAS:

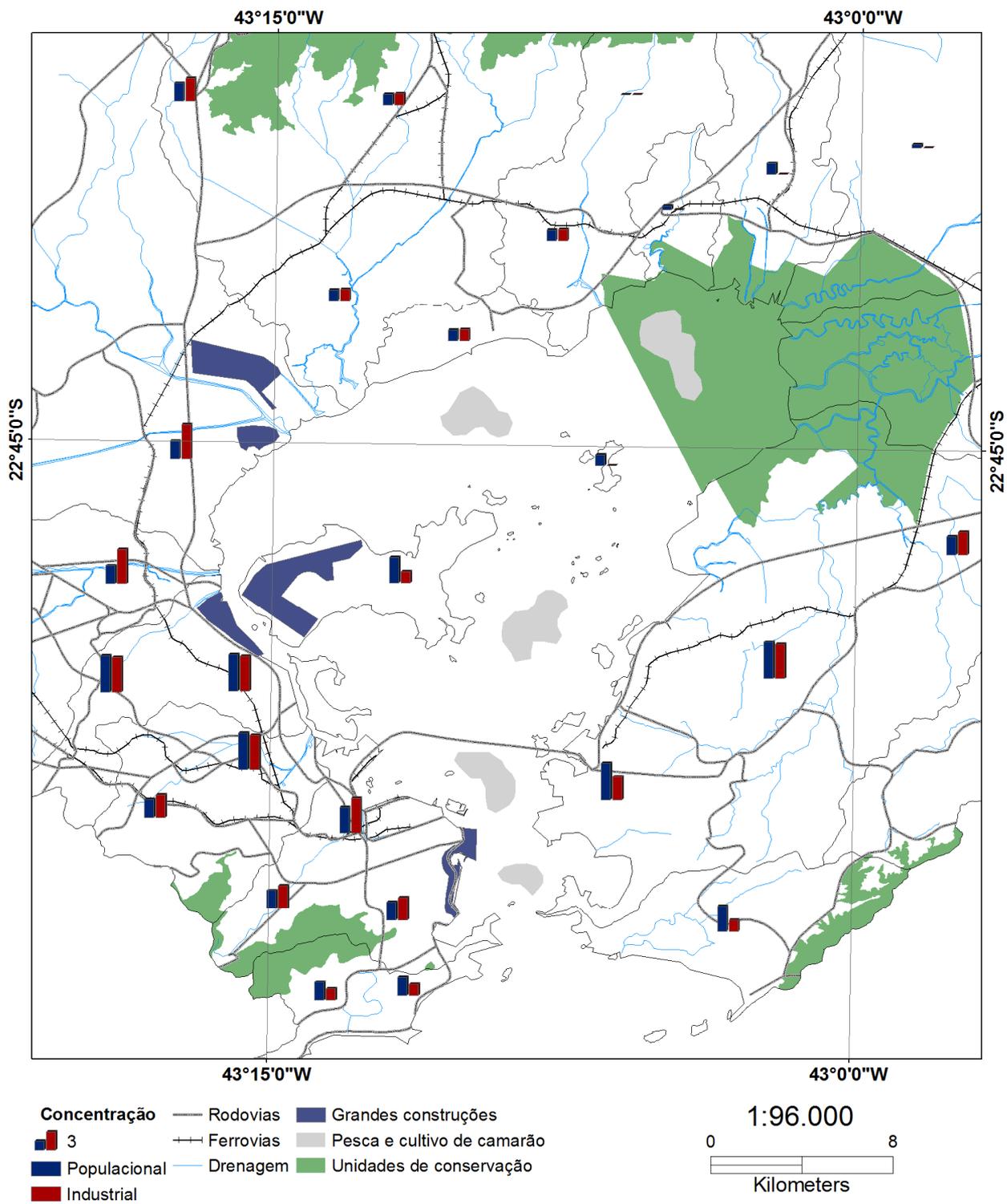


**Legenda**  
— Isolinhas

### III MAPA DE SELECIONAMENTO DOS SEDIMENTOS:



#### IV MAPA DE ATIVIDADES NO ENTORNO DA BAÍA:



## V LOCALIZAÇÃO DAS 92 AMOSTRAS:

Amostra	Lat.	Long.	Prof. média (m)	M.O. (%)
1	22°47,269' S	43°05,405' W	4	4,4748
2	22°46,633' S	43°04,838' W	4	3,5511
3	22°45,890' S	43°05,411' W	9	4,7995
4	22°45,225' S	43°04,476' W	4	4,8935
5	22°44,579' S	43°03,690' W	2	3,9615
6	22°43,200' S	43°03,716' W	1	4,8524
7	22°42,506' S	43°04,043' W	2	4,3448
8	22°41,707' S	43°05,190' W	2	4,8748
9	22°42,207' S	43°05,803' W	2	4,6474
10	22°42,987' S	43°05,216' W	3	4,9167
11	22°43,706' S	43°04,368' W	3	4,7431
12	22°44,391' S	43°05,303' W	7	4,7076
13	22°43,582' S	43°05,897' W	4	5,2143
14	22°42,900' S	43°06,602' W	2	4,2061
15	22°43,579' S	43°07,538' W	3	4,5565
16	22°44,206' S	43°06,791' W	5	4,5277
17	22°44,289' S	43°08,413' W	5	5,7278
18	22°43,6' S	43°09,08' W	3	4,9699
19	22°44,183' S	43°09,911' W	3	4,7565
20	22°44,884' S	43°10,797' W	4	5,0379
21	22°45,379' S	43°11,42' W	4	4,6533
22	22°45,902' S	43°12,081' W	4	4,3027

23	22°46,597' S	43°12,809' W	3	4,5514
24	22°47,291' S	43°12,201' W	2	4,0567
25	22°46,589' S	43°11,424' W	7	5,295
26	22°46,100' S	43°10,708' W	8	4,5769
27	22°45,598' S	43°10,090' W	7	0,7558
28	22°44,903' S	43°09,213' W	6	5,4025
29	22°45,475' S	43°08,186' W	6	4,5716
30	22°46,013' S	43°07,470' W	8	5,0869
31	22°47,227' S	43°07,188' W	11	5,506
32	22°48,003' S	43°06,312' W	8	4,1732
33	22°48,305' S	43°05,426' W	3	3,5596
34	22°48,797' S	43°05,822' W	3	1,3058
35	22°48,694' S	43°07,303' W	7	0,3598
36	22°47,875' S	43°08,043' W	15	4,4451
37	22°48,723' S	43°09,090' W	15	3,9802
38	22°49,597' S	43°08,491' W	14	3,607
39	22°49,646' S	43°06,778' W	4	3,7116
40	22°51,064' S	43°06,697' W	4	3,6003
41	22°50,519' S	43°07,906' W	13	4,2796
42	22°50,333' S	43°09,543' W	11	2,658
43	22°51,196' S	43°08,806' W	15	0,6585
44	22°51,905' S	43°09,843' W	18	0,8658
45	22°51,083' S	43°10,460' W	5	0,4984
46	22°50,336' S	43°11,285' W	7	5,2696
47	22°49,554' S	43°12,197' W	4	5,4546
48	22°50,250' S	43°12,878' W	2	0,8181

49	22°51,269' S	43°12,594' W	2	4,4023
50	22°50,792' S	43°11,804' W	5	5,1835
51	22°51,560' S	43°10,998' W	8	5,3994
52	22°52,192' S	43°11,875' W	7	4,7334
53	22°53,661' S	43°12,487' W	7	7,0491
54	22°52,886' S	43°12,339' W	12	3,4131
55	22°53,002' S	43°11,223' W	12	3,8887
56	22°52,363' S	43°10,456' W	11	3,8801
57	22°53,004' S	43°09,097' W	26	2,5822
58	22°54,114' S	43°08,896' W	40	0,6578
59	22°54,475' S	43°09,408' W	26	1,4875
60	22°54,726' S	43°07,976' W	9	0,3011
61	22°54,607' S	43°07,073' W	6	0,094
62	22°55,129' S	43°07,615' W	8	0,1314
63	22°54,99' S	43°08,603' W	30	0,4682
64	22°55,150' S	43°09,492' W	14	4,0882
65	22°55,565' S	43°09,878' W	6	0,2972
66	22°56,184' S	43°09,935' W	8	0,1082
67	22°55,987' S	43°09,506' W	11	0,2552
68	22°55,598' S	43°09,239' W	18	0,4936
69	22°55,702' S	43°08,188' W	14	0,1615
70	22°55,389' S	43°08,463' W	32	0,3766
71	22°56,564' S	43°08,164' W	19	0,1103
72	22°57,239' S	43°07,995' W	12	0,155
73	22°57,364' S	43°08,497' W	14	0,5748
74	22°57,45' S	43°09,336' W	17	0,2122

75	22°58,288' S	43°10,200' W	16	0,235
76	22°58,115' S	43°08,989' W	16	0,0858
77	22°58,001' S	43°08,192' W	14	0,2462
78	22°57,881' S	43°07,390' W	15	0,1099
79	22°57,885' S	43°06,503' W	19	0,1163
80	22°57,798' S	43°05,586' W	19	0,2804
81	22°57,705' S	43°04,885' W	17	0,1984
82	22°55,393' S	43°06,773' W	5	6,4956
83	22°46,927' S	43°04,604' W	1	5,7536
84	22°48,299' S	43°04,331' W	1	3,6243
85	22°49,165' S	43°04,959' W	1	4,8949
86	22°47,6' S	43°15,7' W	1	6,4099
87	22°47,105' S	43°15,1' W	1	5,3924
88	22°46,505' S	43°14,3' W	2	5,654
89	22°45,904' S	43°13,612' W	2	4,5215
90	22°45,292' S	43°12,808' W	1	4,6604
91	22°44,705' S	43°12,115' W	1	4,0416
92	22°44,216' S	43°11,442' W	1	6,1049

## VI LOCALIZAÇÃO DOS 16 TESTEMUNHOS:

<b>CORE</b>	<b>LAT</b>	<b>LONG</b>	<b>COMP.(cm)</b>
<b>1</b>	22°45,261' S	43°03,513' W	110
<b>2</b>	22°45,253' S	43°03,450' W	130
<b>3</b>	22°41,094' S	43°04,490' W	170
<b>4</b>	22°41,100' S	43°04,790' W	130
<b>5</b>	22°44,490' S	43°13,490' W	120
<b>6</b>	22°44,410' S	43°13,240' W	170
<b>7</b>	22°44,301' S	43°05,581' W	310
<b>8</b>	22°44,466' S	43°06,757' W	240
<b>9</b>	22°44,559' S	43°07,653' W	150
<b>10</b>	22°44,493' S	43°07,632' W	220
<b>11</b>	22°45,108' S	43°09,271' W	280
<b>12</b>	22°45,116' S	43°09,272' W	120
<b>13</b>	22° 50,667' S	43°07,000' W	210
<b>14</b>	22° 47,004' S	43°05,667' W	215
<b>15</b>	22° 46,334' S	43°05,200' W	150
<b>16</b>	22° 46,134' S	43°07,134' W	220