

3. Área de estudo: Baía de Guanabara

3.1. Localização Geográfica

A Baía de Guanabara localiza-se no Estado do Rio de Janeiro, entre os paralelos 22°24" e 22°57" de latitude Sul, e meridianos 43°33' e 43°19' Oeste. A baía se constitui num estuário com uma área total de 346 km², incluindo 59 km² de ilhas.

A Baía de Guanabara é estreita na sua boca e larga no seu fundo, medindo aproximadamente 30 km de norte a sul e aproximadamente 28 km de leste a oeste (Kjerfve, *et al.*, 1997). Sua maior extensão, em linha reta, é de 36 km entre a Ponta de Copacabana e a foz do Rio Magé. A largura máxima é de 29 km, medida entre os rios Meriti e Guapimirim. Na porção intermediária da baía, a largura é de 23 km, situada entre os rios Meriti e Imboassica. O estreitamento com 1.650 metros da Ponta de São João (Rio) e a ponta de Santa Cruz (Niterói) constitui a menor largura encontrada na baía (Amador, 1997).



Figura 4: Ilustração da Baía de Guanabara (IBASE, 2001 *apud* Lima, 2006).

3.2. Características Hidrológicas

A Baía de Guanabara é uma das mais importantes baías costeiras do Brasil, é um estuário de 91 rios e canais, rodeados pelas cidades do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, São Gonçalo, Niterói e algumas outras cidades pequenas e vilarejos (Baptista Neto *et al.*, 2006).

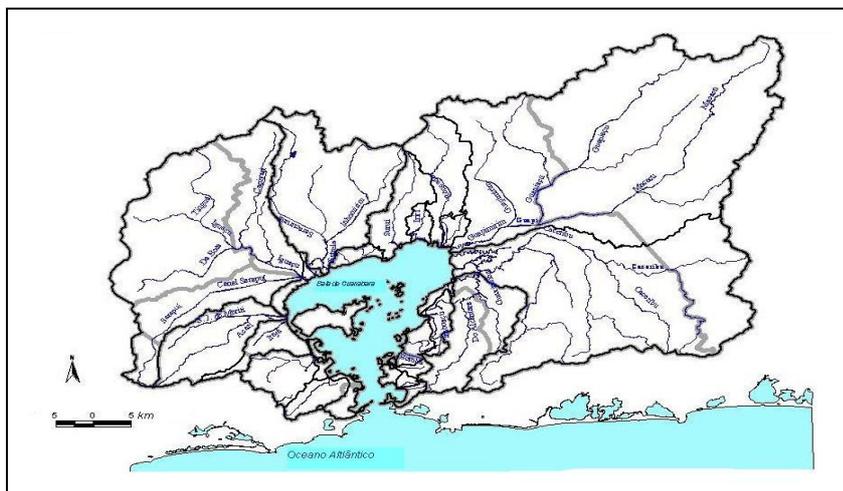


Figura 5: Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara (JICA, 2002).

O fluxo médio estimado de aporte de água doce da bacia para a baía é de aproximadamente $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, onde a variação de fluxo tem limite mínimo em $33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em julho (estação seca) e máximo em $186 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (estação chuvosa). Junto a este volume, se adiciona $25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água de origem doméstica descartada pela Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE). Assim sendo, estima-se que o fluxo total de água doce para a Baía de Guanabara seja de aproximadamente $125 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Kjerfve *et al.*, 1997).

A bacia de drenagem da Baía de Guanabara apresenta um volume total de água estimado em $2,2 \times 10^9 \text{ m}^3$ (JICA, 1994). As correntes de marés são muito eficientes e proporcionam um volume de troca de águas de aproximadamente 10^8 m^3 por ciclo de maré, ou seja, 10% do volume total da Baía (De Luca Rebello *et al.*, 1986). O tempo médio de residência das águas da Baía de Guanabara é de 20 ± 5 dias (Ponciano, 1985 *apud* Lima, 1996).

Mayr *et al.*, 1989 (*apud* Lima, 1996) propuseram uma divisão da Baía de Guanabara em cinco regiões de acordo com suas características hidrológicas:

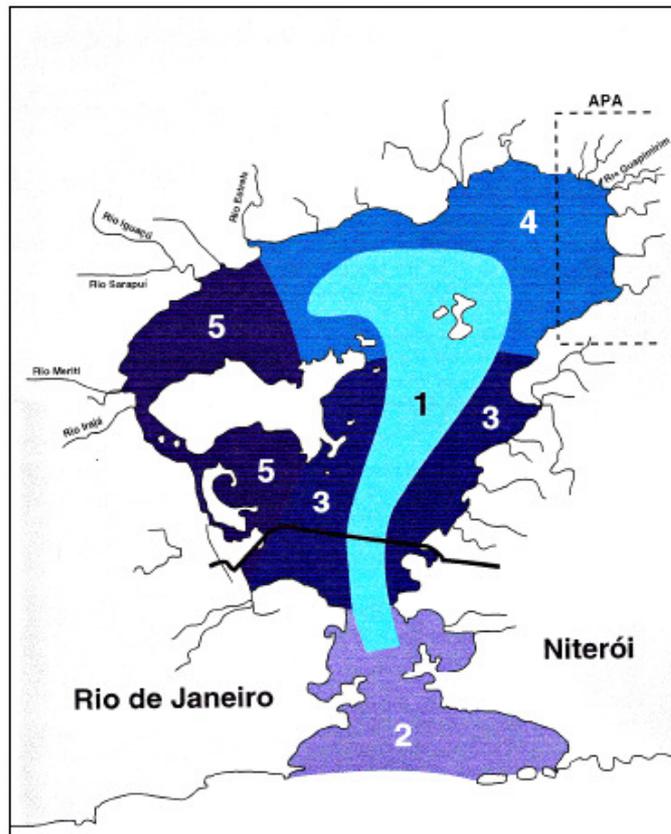


Figura 6: Divisão hidrográfica da Baía de Guanabara (Mayr *et al.*, 1989 *apud* Lima, 1996)

Região 1: definida pelo canal principal de circulação. Nesta região são encontradas as melhores condições ambientais devido à maior contribuição da água do mar.

Região 2: esta região está sujeita à intensa poluição orgânica oriunda dos dois centros urbanos mais desenvolvidos da região, as cidades do Rio de Janeiro (parte oeste da Baía) e Niterói (parte leste da Baía).

Região 3: caracterizada por um elevado grau de deterioração ambiental. Recebe o lançamento de esgotos domésticos, despejos industriais e poluição por óleo oriunda da presença do Porto e de vários estaleiros.

Região 4: região diretamente influenciada pela desembocadura de rios menos poluídos (Guapimirim e Caceribu). É berço da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, onde está presente um dos poucos manguezais remanescentes.

Região 5: apresenta-se muito deteriorada devido ao aporte de várias fontes de poluição. Os aterros aumentaram sua degradação, pois tornaram a circulação deficiente.

3.4. Fontes de Sedimentação e Assoreamento na Baía de Guanabara

Em um ambiente como a Baía de Guanabara os mecanismos de transporte e deposição de sedimentos são, basicamente, a ação de correntes produzidas pelos ciclos de marés, o influxo fluvial e a ação de ondas e/ou correntes na interface baía/oceano. A ação dos ventos tem uma ação secundária, sendo expressiva no transporte de sólidos flutuantes. As fontes de sedimentação podem ser naturais ou antropogênicas, como esgotamento doméstico, o lixo e principalmente a aceleração dos processos naturais (Amador, 1997).

A contribuição fluvial para o assoreamento da Baía de Guanabara é de cerca de 4.000.000 toneladas anuais de carga sólida. O fornecimento de sedimentos fluvial é controlado por ciclos climáticos sazonais. As grandes chuvas de verão são responsáveis pelos influxos mais significativos de sedimentos (Amador, 1997).

O mar, muitas vezes considerado a principal fonte de sedimentos para muitos ambientes, tem sido considerado fonte secundária para a Baía de Guanabara (Amador, 1997).

Amador, 1997, sugere que as fontes marginais foram significativas para a Baía de Guanabara, conforme ainda pode ser observada por feições erosivas nas Ilhas de Paquetá e Governador e litoral de São Gonçalo e Magé, regiões que não sofreram aterramento. Os aterros também tem sido responsáveis pelo assoreamento da Baía de Guanabara (Amador, 1997).

O mais importante papel dos organismos na Baía de Guanabara é, provavelmente, na aglomeração das finas partículas em suspensão, através de mecanismo de filtragem (Amador, 1997).

3.5. Velocidade de sedimentação na Baía de Guanabara

Em estudos realizado por Amador, 1997, dois processos foram usados para a determinação das taxas de sedimentação na Baía de Guanabara relacionadas à escala de tempo: taxa de assoreamento geológica ou natural e taxa de assoreamento histórica.

Utilizando a metodologia adotada para determinação da taxa de assoreamento geológica, assumindo a idade de 3.000 anos, o valor determinado foi de 0,19 cm.ano⁻¹. Levando-se em conta a compactação, e assumindo a

densidade atual dos sedimentos depositados na baía de 1,256 g.cm⁻³ e 1,744 g.cm⁻³ para sedimentos a 4 metros de profundidade, foi possível corrigir o valor para 0,27 cm.ano⁻¹.

O valor médio de assoreamento determinado pelo confronto das cartas náuticas (taxa de assoreamento histórica) foi de 0,25 cm.ano⁻¹, no período de 1849 a 1922, o que se aproximou muito do valor obtido para a taxa de assoreamento geológica (Amador, 1997).

A taxa de sedimentação da Baía de Guanabara mudou drasticamente ao longo do século XX, estas mudanças estão intimamente relacionadas com mudanças históricas sofridas na região. Estudos realizados por Amador (1980) demonstraram que a região que sofreu maiores alterações encontra-se entre o continente e a Ilha do Governador, apresentando taxa de sedimentação de 0,27 cm.ano⁻¹ entre os anos de 1949 a 1922 e um valor médio de 0,87 cm.ano⁻¹ entre os anos de 1938 a 1962, chegando a 1,0 cm.ano⁻¹ na década de 1990. Em regiões próximas ao continente foram encontradas taxas superiores a 1,0 cm.ano⁻¹ (Amador, 1997).

Wilken e colaboradores, 1986, determinaram as taxas de sedimentação da região noroeste da Baía de Guanabara. A velocidade de sedimentação foi estimada em 2,0 cm ano⁻¹, utilizando a geocronologia com ²¹⁰Pb.

Estudos realizados por Godoy *et al.*, 1998, mostraram que as taxas de sedimentação encontradas em diferentes regiões da Baía de Guanabara são semelhantes, apresentando valores entre 1 e 2 cm ano⁻¹. Estes resultados concordam com valores encontrados pela Agência Japonesa de Cooperação Internacional (JICA) no ano de 1997, em estudos realizados para o planejamento do programa de despoluição da Baía de Guanabara, que sugeriram velocidade de sedimentação de 2 cm ano⁻¹ (Godoy *et al.*, 1998).

A taxa de sedimentação da Baía de Guanabara sofreu um aumento de 10 vezes a taxa original. Este aumento está relacionado com a industrialização ocorrida na região, ao crescimento da população que vive no entorno da Baía, a construção de aterros, a expansão do aeroporto internacional, bem como a construção de vias de transporte rápido. Estas atividades têm aumentado o fluxo dos rios e o transporte de sedimentos (Godoy *et al.*, 1998).

3.6. Quadro Atual

A Baía de Guanabara tem sido identificada como um dos ambientes costeiros mais poluídos do litoral brasileiro. O processo de degradação da Baía de Guanabara teve sua intensificação a partir da década de 1950, com o surgimento de um dos maiores pólos industriais da região de sua bacia hidrográfica e do elevado crescimento urbano na região (Lima, 2006).

Apesar dos projetos criados para a despoluição da Baía de Guanabara, a situação da qualidade da água tornou-se crítica. Algumas estações de tratamento de efluentes têm sido criadas desde a década de 70, porém não são suficientes para tratar a enorme quantidade de resíduos lançados na baía (Kjerfve *et al.*, 1997).

Atualmente, dados da FEEMA demonstram que a baía recebe uma elevada carga de efluentes domésticos brutos ou parcialmente tratados de cerca de 10 milhões de habitantes, efluentes industriais de mais de 12.000 indústrias (FEEMA, 1998, *apud* Lima, 2006). Além de hospedar dois aeroportos, manter o principal porto do estado e ser cortada por 12 km de uma longa ponte (Ponte Rio-Niterói) usada por milhares de automóveis diariamente (Baptista Neto *et al.*, 2006).

Os despejos industriais se constituem uma fonte de poluição considerável das águas da baía, responsável pela quase totalidade da poluição química por substâncias tóxicas e metais pesados, nocivos à saúde humana, que acabam por se acumular nos sedimentos (Lima, 2006).

Atualmente, a Baía recebe não só consideráveis quantidades de efluentes sanitários, descargas industriais, urbanas e agrícolas, mas também poeira atmosférica, todos combinados ao escoamento dos rios.

Nos últimos 100 anos a região ao redor da Baía tem sido fortemente modificada por atividades humanas, em particular desflorestamento e a ocupação descontrolada do solo, que aumentou a carga de sedimentos e transporte para a Baía. Conseqüentemente as taxas de sedimentação tem aumentado de 1 a 2 cm por ano (Baptista Neto *et al.*, 2006).

A Baía de Guanabara é um ambiente muito estudado atualmente no Brasil, porém, ainda, não se conhece o nível de contaminação da mesma por alguns compostos de origem antropogênica (Almeida, 2003).

Este ambiente tem despertado interesse científico por se constituir em um ecossistema de estuário importante para a remoção de material suspenso e poluentes associados ao ciclo natural da água (Baptista Neto *et al.*, 2006).

3.7. Fontes de Poluição

Diversas fontes de poluição, pontuais e difusas, são identificadas como responsáveis pela contaminação da Baía de Guanabara em função da ocupação populacional e do desenvolvimento industrial, conforme demonstrado na tabela 2:

Tabela 2: Principais fontes poluidoras para a Baía de Guanabara (Almeida, 2003).

Principais fontes de poluição	Características
Indústrias (cerca de 6000)	80% da poluição industrial é proveniente de apenas 52 indústrias
Refinaria de Duque de Caxias (REDUC)	1,4 t dia ⁻¹ , representando 20% do total lançado, além de despejos contendo fenóis, metais pesados e micropoluentes orgânicos
Terminais marítimos de petróleo (16)	1 t dia ⁻¹ de óleo
Portos comerciais (2) e outras fontes	2,3 t dia ⁻¹ de óleo
Postos avançados de combustível (2000), estaleiros (32)	2,3 t dia ⁻¹ de óleo que representam 33% do total lançado na baía
Lançamento de esgotos domésticos (7,3 milhões de habitantes)	20 m ³ s ⁻¹ de esgoto doméstico; apenas 2,7 m ³ s ⁻¹ recebem tratamento
Vazamento de lixo	Vazamento de 800 m ³ dia ⁻¹ de chorume
Ocupação de terra pública que margeia os rios e encostas	Lançamento de lixo e esgoto doméstico sem qualquer controle
Cargas poluidoras despejadas diariamente na baía	Orgânica (DBO): 400 t Orgânica Industrial: 64 t Metais pesados: 0,3 t Lixo doméstico: 6 t Carga de óleo: 7 t

Dentre as fontes pontuais, estão os efluentes derivados de lixões, das indústrias petroquímica, metalúrgica, alimentícia, de curtumes e de outras atividades industriais. Estes efluentes encontram-se principalmente na região noroeste da baía. Nessa região a alta taxa de sedimentação (aproximadamente 2 cm.ano⁻¹) promove uma remoção rápida de boa parte dos contaminantes presentes na água, em solução ou no material em suspensão, transferindo-se para os sedimentos, os quais guardam elevado potencial de toxicidade (Wagener *et al.*, 2002).

Esses sedimentos sofrem re-suspensão periódica, devido a processos turbulentos e, assim, transita entre estágios de oxidação e redução. Durante este processo, há decomposição do material orgânico lábil e redistribuição de fases e formas físico-químicas do material persistente. Após a sedimentação do material orgânico residual, num ambiente anóxico, o mesmo tende a permanecer estável.

A anoxia dos sedimentos favorece a preservação mesmo dos contaminantes menos persistentes na presença de oxigênio (Wagener *et al.*, 2002).

As principais fontes de poluição difusas são os esgotos domésticos, os materiais originados das emissões atmosféricas e o óleo derivado das atividades de transporte. A fonte de esgoto doméstico carrega, por exemplo, metais tóxicos e substâncias orgânicas persistentes devido à introdução de materiais sintéticos nas atividades domésticas, em virtude da adição de águas de drenagem e da contribuição de materiais de procedência diversa como: postos de combustíveis, lavanderias, metalúrgicas, reveladoras, etc. (Wagener *et al.*, 2002).

O registro geocronológico de alguns contaminantes presentes nos sedimentos da Baía de Guanabara demonstra ter ocorrido uma alteração profunda na qualidade do ecossistema, principalmente dos últimos 50 anos. Há indicativos do acréscimo de metais tóxicos, de hidrocarbonetos de petróleo, de produtos da combustão de matéria orgânica (combustíveis fósseis e outros) e de substâncias exclusivamente relacionadas ao esgotamento doméstico (Wagener *et al.*, 2002).

3.8. Metais pesados na Baía de Guanabara

Os sedimentos da Baía de Guanabara são considerados altamente enriquecidos por Pb, Zn, Cu e Cr, comparadas as concentrações naturais e a outras regiões costeiras no mundo (Baptista Neto *et al.*, 2006; Almeida, 2003).

Vários estudos fornecem dados a partir dos quais é possível verificar que a principal carga de metais pesados atinge a Baía através de alguns poucos rios localizados na região noroeste, principalmente os rios Sarapuí, Meriti, Iguaçu, Estrela e Irajá (De Luca Rebello *et al.*, 1986; Pfeiffer *et al.*, 1980; Pfeiffer *et al.*, 1982; Carvalho *et al.*, 1982). As concentrações altas de metais atribuídas à região noroeste se devem a descarga de rios mais poluídos nesta área e também a localização de uma grande refinaria de petróleo na região (Baptista Neto *et al.*, 2006).

Porém, estudos indicam que os rios que cortam os municípios de São Gonçalo e Niterói também são fontes de metais pesados para Baía de Guanabara, em especial para a região leste. As concentrações de metais nestes rios são atribuídas ao desenvolvimento urbano e ao grande aporte de efluentes domésticos lançados na Baía sem tratamento (Baptista Neto *et al.*, 2003).

Dois outros pontos que apresentam concentrações altas de metais pesados são o porto do Rio de Janeiro e a enseada de Jurujuba, que é altamente poluída por esgotamento doméstico (Baptista Neto *et al.*, 2006).

As menores concentrações de metais pesados encontram-se na região sul da Baía, próximo da entrada. A região nordeste apresenta concentrações mais baixas em comparação com a região noroeste. Ambas as regiões apresentam o mesmo tipo de sedimento, porém nesta região está localizada uma área de proteção ambiental (Baptista Neto *et al.*, 2006).

A tabela abaixo demonstra os principais relatos de concentrações de metais em sedimentos da Baía de Guanabara:

Tabela 3: Concentração de Metais pesados na Baía de Guanabara: comparação com dados da Literatura (Média) (Mínimo – Máximo).

Nº	Autor	Local	Concentração ($\mu\text{g metal g}^{-1}$ sedimento seco)							
			Pb	Cu	Cr	Zn	Ni	Co	Hg	Cd
1	Borges, 2007	Noroeste	35,3	65,3						
		Mangue Mauá	52,1-75,0	18,3-23,4						
2	Geraldes, 2006	Noroeste Baía de Guanabara	47- 66							
3	Baptista Neto <i>et al.</i> , 2006	Baía de Guanabara	2 -19340	2 -18840	2 - 41364	5-755149	1-3515,5	1-209		
4	Baptista Neto <i>et al.</i> , 2005	Porto de Niterói	84 45-120	241 35-1450	116 75-230	299 115-850	63 30-110			
5	Barbosa, 2004	Canal do Fundão	101-198	100-300	23-136	266-825	186-357		1,0-2,3	<0,01
6	H. A. Kehring <i>et al.</i> , 2003	Mangue Jequiá (Sul da Ilha do Governador)	150,6-180,4	86,3-97,1	43,3-43,5	78-707			0,7-9,78	0,02-2,6
7	Machado <i>et al.</i> , 2002	Noroeste Mangue de D. de Caxias	86,7	46,7		53,3	10,3			
		Nordeste Mangue de Guapimirim	26	28,3		26,7	12			
		Leste Mangue São Gonçalo	20	18		610	8,7			
		Oeste Mangue Ilha Governador	130	80		263	6			
		Nordeste Baía de Guanabara	69	119		290	1			
8	Faria e Sanchez, 2001	Nordeste Baía de Guanabara	69	119		290	1			
9	Baptista Neto <i>et al.</i> , 2000	Enseada de Jurujuba	61 5 - 123	51 5-213	89 10-223	158 15-337	48 15-79			
10	Godoy <i>et al.</i> , 1998	Desembocadura Rio Estrela							0,4-11,1	
		Desembocadura Rio São João de Meriti		90,8 90,8-237,7						
		Desembocadura Rio Guapimirim		34,8 11,6 - 34,8						
		Desembocadura Rio Guaxindiba		20,5 12,0 - 52,9						
		Desembocadura Rio Imbuauçu		31 2,5 - 37,1						
11	G. Perin <i>et al.</i> , 1997	Baía de Guanabara	0-177	0-139	0-180	8,2-465	0-16			
12	Rego <i>et al.</i> , 1993	Desembocadura Rio São João de Meriti	169	508	87	806	52		4	1,1
	JICA, 1992 apud Barbosa, 2004	Baía de Guanabara	20-180	10-120	40-285	0-660	15-40		0,01-3	0,01-3
13	De Luca Rebello <i>et al.</i> , 1986	Baía de Guanabara	3,6-268	2,4-337	3,5-427				0,07-9,8	0,02-5,6
14	Concentrações Pré- antropogênicas Baptista Neto <i>et al.</i> , 2000	Baía de Guanabara	24,4	9	40,5	58,4	27			
15	Concentrações Pré- antropogênicas Rebello <i>et al.</i> , 1986	Baía de Guanabara	3,6	2,4	3,5					0,02

- 1 O testemunho de 10 cm de profundidade foi seccionado em intervalos de 2 cm. A extração foi realizada com HCl 0,1 mol.L⁻¹. A análise dos metais foi realizada através da técnica de Espectrometria de Absorção Atômica em chama. Os resultados reportados referem-se a uma área desmatada;
- 2 A extração seqüencial de metais dos sedimentos superficiais foi realizada usando ácido nítrico a 0,1 mol.L⁻¹; 0,2 mol.L⁻¹; 1,0 mol.L⁻¹ e 2,0 mol.L⁻¹. A análise da concentração de Pb foi realizada utilizando-se a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica;
- 3 A concentração de metais nos sedimentos superficiais foi determinada por digestão total da amostra com HF/HClO₃ e analisada utilizando-se a técnica de ICP-OES;
- 4 Frações de sedimentos superficiais foram digeridas com água régia. A análise dos metais foi realizada utilizando-se a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica;
- 5 Testemunhos de sedimentos de diferentes profundidades foram coletados no Canal do Fundão. A concentração de metais no sedimento foi determinada pelo método de digestão total e posterior análise utilizando-se a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica;
- 6 O método utilizado para determinação da fração móvel de metais em sedimentos de testemunhos de 12 e 24 cm de profundidade, seccionados em intervalos de 3 cm, foi constituído de lixiviação com H₂O₂ e HCl 0,3 mol.L⁻¹. A fração residual foi determinada por digestão ácida com HNO₃, HF e HClO₄. A concentração de metais totais foi determinada pela técnica de Espectrometria de Absorção atômica;
- 7 Uma alíquota das amostras de sedimentos de 5 cm de profundidade foram digeridas com solução ácida nítrica-perclórica concentrada. A concentração de metais foi analisada utilizando-se a técnica de espectrometria de absorção atômica em chama;
- 8 Amostras de sedimentos recentes, de 5 cm de profundidade, foram digeridas com a mistura: 1 HCl + 3 HNO₃. Após a digestão a concentração de metais foi determinada por Espectrometria de absorção Atômica;
- 9 Frações de sedimentos superficiais foram digeridas com água régia. A análise dos metais foi realizada utilizando-se a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica;

- 10 Testemunhos de 100 cm de profundidade foram coletados e seccionados em intervalos de 3 cm. Uma alíquota do sedimento seco foi digerida com HNO_3 concentrado e a análise de cobre foi determinada utilizando a técnica de espectrometria absorção atômica com chama ar-acetileno e adição padrão;
- 11 Os metais totais contidos em sedimentos superficiais de 40 cm de profundidade foram determinados por dois tratamentos diferentes: com ácido nítrico e com $\text{HF} + \text{HNO}_3$. As soluções resultantes das extrações foram analisadas pela técnica de Espectrometria de Absorção Atômica de chama;
- 12 O método utilizado para determinação da fração móvel de metais em sedimentos superficiais consistiu na lixiviação com H_2O_2 e HCl $0,3 \text{ mol.L}^{-1}$. A fração residual foi determinada por digestão ácida com HNO_3 , HF e HClO_4 . A concentração de metais totais foi determinada pela técnica de Espectrometria de Absorção Atômica;
- 13 27 testemunhos de sedimentos de até 95 cm de profundidade foram coletados em diversas regiões da Baía e seccionados em diferentes intervalos. A digestão para determinação de metais pesados foi realizada utilizando-se HNO_3 . A concentração de metais pesados foi estimada utilizando-se a técnica de Espectrometria de absorção atômica em forno de grafite. As maiores concentrações de metais foram encontradas nos primeiros 20 cm das secções de sedimentos principalmente da região noroeste;
- 14 Amostras de sedimentos superficiais foram utilizadas como estimativa de concentrações naturais de metais pesados. A digestão foi realizada com água régia. A análise dos metais foi realizada utilizando-se a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica;
- 15 De 27 testemunhos coletados em diferentes regiões da Baía de Guanabara, o mais longo, coletado na região noroeste, com profundidade de 95 cm, apresentou concentrações baixas de metais nesta profundidade. Os resultados foram assumidos como as concentrações naturais. A digestão para determinação de metais pesados foi realizada utilizando-se HNO_3 . A concentração de metais pesados foi estimada utilizando-se a técnica de Espectrometria de absorção atômica em forno de grafite.