

Distribuição do mercúrio em sedimentos de fundo no Estuário de Santos – SP/Brasil

Gilmar Wanzeller Siqueira

*Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará
Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LAQUANAM). E-mail: gilmar@ufpa.br*

Elisabete de Santis Braga

*Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica
Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Laboratório de Nutrientes,
Macronutrientes e Traços no Oceano-LABNUT. E-mail: edsbraga@usp.br*

Simone de Fátima Pinheiro Pereira

*Departamento de Química - Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará
Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LAQUANAM). E-mail: simonefp@ufpa.br*

Elisamar da Silva

*Bolsista de Iniciação Científica-Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará
Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LAQUANAM). E-mail: elisamarsilva@yahoo.com.br*

Resumo

Amostras de sedimentos de fundo foram coletadas e analisadas para o mercúrio no Estuário de Santos-SP. Os resultados analíticos foram revistos para contaminação antropogênica de alguns setores da área estuarina como resultado de resíduos petroquímico e metalúrgico derivados do distrito industrial de Cubatão, das atividades siderúrgicas do Estado de São Paulo (COSIPA), do porto de Santos e, finalmente, das descargas dos efluentes do emissário submarino dentro da baía de Santos. Os valores para o fator de contaminação médio (FC) obtidos para os sedimentos de fundo variam de 1 a 3, principalmente para os canais de Santos e São Vicente; entretanto, na baía de Santos, os valores de FC (abaixo de 1) indicam baixa contaminação, exceto na área de descarga do emissário submarino.

Palavras-chave: mercúrio, sedimentos de fundo, Estuarino de Santos.

Abstract

Bottom sediment samples were collected and analyzed for mercury in the Estuary of Santos-SP. The analytical results reveal anthropogenic contamination for some sectors of this estuarine area as a result of petrochemical and metallurgical residues derived from the Industrial District of Cubatão, from the activities of the State of São Paulo Siderurgy (COSIPA), from the Santos harbor and, finally, from effluents discharged by the submarine emissary into the Bay of Santos. The values for the factor of contamination (FC) found in the bottom sediments range from 1 to 3, mainly for the channels of Santos and São Vicente; however, in the Bay of Santos the FC values (below 1) indicate low contamination except in the discharge area of the submarine emissary.

Keywords: mercury, bottom sediments, Estuary of Santos.

1. Introdução

A Baixada Santista é a área central do litoral paulista compreendida entre Bertioga, a noroeste, e Monguá, a sudeste, e Santos, no litoral, estendendo-se até a escarpa da serra do Mar, para o interior (Boldrini, 1990). Essa região ocupa uma área de 51.500 ha, onde 5.000 correspondem às águas (rios e braços de mar), 6.700 às montanhas (morros isolados), 10.800 de mangue e 29.000 de áreas remanescentes, inclusive de áreas urbanizadas (Boldrini, op cit.).

O Estuário de Santos está inserido na região metropolitana da Baixada Santista (região sudeste), é formado pela baía de Santos e um complexo emaranhado de rios (Piaçabuçu, Paranhos, Cubatão, Morrão, Perequê, Moji da Onça, Quilombo, Jurubatuba, Diana, Santo Amaro, Bertioga, Casqueiro, Santana entre outros), além de vários canais, como os de Bertioga, Barreiros, Piaçaguera, Mar Pequeno, e, ainda, os lagos da Pompeba, Candinho, São Vicente e o de Santa Rita (Siqueira et al., 2004). Encontram-se, ainda, nessa região cidades densamente povoadas, como São Vicente, Cubatão, Santos, Guarujá, Bertioga e outras (Braga et al., 2000 e Siqueira, 2003).

O município de Cubatão assume um ponto estratégico nessa região, pois abriga um dos mais importantes pólos industriais do Brasil, contendo mais de uma centena de fábricas, incluindo indústrias químicas, petroquímicas e de fertilizantes, além de uma grande siderúrgica (COSIPA), as quais são as principais fontes de contaminação do sistema local (Luiz-Silva et al., 2002).

De acordo com Förstner e Wittmann (1983), os processos naturais como intemperismo, erosão e transporte nos continentes, bem como os padrões ambientais que controlam o ciclo biogeoquímico dos elementos-traço, têm sido quantitativamente alterados pelas atividades antrópicas em geral. À medida que esses elementos-traço são transportados e depositados nos ecossistemas aquáticos por ação antrópica e/ou natural, eles tendem a se deslocar para os sistemas

adjacentes e, posteriormente, incorporam-se aos vários compartimentos ambientais existentes no meio circundante, modificando a composição química dos sítios abióticos e bióticos.

No ambiente aquático, o mercúrio é mais comumente encontrado no estado mercúrico (II) e o seu destino, uma vez lançado, é dominado pela adsorção rápida ao material orgânico e inorgânico solúvel e particulado e, em seguida, pela floculação, precipitação e pelo acúmulo final no sedimento de fundo (Moore & Ramamoorthy, 1984). O mercúrio é considerado o mais nocivo e é o único metal pesado que, comprovadamente, sofre biomagnificação ao longo da cadeia trófica, sofrendo, ainda, eficiente organificação, atingindo a sua forma mais tóxica (metil-mercúrio) no sistema aquático (Barrocas & Wasserman, 1995). De acordo com Moore e Ramamoorthy (1984), esse tipo de dinâmica sugere que a exposição ao mercúrio pode ser potencialmente muito danosa, difícil de ser detectada e de ação muito ampla. Para Lacerda e Menezes (1995), em função das propriedades biogeoquímicas do mercúrio e de seus complexos orgânicos, como metil-mercúrio, pode ocorrer uma larga dispersão e uma alta exposição ambiental desse metal nos vários compartimentos. O mercúrio produz intoxicação, cujo resultado é ataxia, sensação de depressão periférica, disfunção dos membros e modo de andar, além de ser um agente teratogênico (USPHS, 1997).

Face ao interesse sócio-econômico que a região de estudo desperta, o presente trabalho tem por objetivo verificar a distribuição de mercúrio associados aos sedimentos de fundo e estabelecer o Fator de Contaminação de Hakanson (1980) para o Estuário de Santos (setores dos canais de Santos/São Vicente e baía de Santos).

2. Materiais e métodos

Foram selecionados 31 pontos ao longo de todo sistema estudado (Figura 1 e Tabela 1). Os pontos de coletas foram georeferenciados com auxílio de um

GPS portátil de marca Garmin. As amostras foram obtidas nos períodos de 24 a 31 de julho e 01 e 02 de agosto de 2000. Como meio flutuante, foram utilizadas as embarcações Vellinger I e o Navio Oceanográfico “Prof. W. Besnard”, pertencente ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

Coletaram-se, aproximadamente, 250g de amostras de sedimentos de fundo com auxílio de um coletor do tipo “van Veen” em cada ponto de coleta. As amostras foram retiradas com uma espátula de polietileno, acondicionadas em sacos plásticos resistentes, lacradas e codificadas no campo até serem resfriadas em câmara fria a -20°C para evitar perdas de elementos voláteis (por exemplo, o mercúrio) e limitar, também, as atividades biológicas, além de evitar a oxidação.

No Laboratório de Nutrientes, Macronutrientes e Traços no Oceano (LABNUT/IO-USP), procedeu-se ao tratamento das mesmas, que consistiu na secagem em estufa de circulação de ar a 40°C ± 5°C por 48 horas para eliminação da unidade, desagregação, pulverização, homogeneização e quarteamento. Posteriormente, as amostras foram peneiradas em peneira de malha de 0,063 mm (230 mesh), sendo obtida a fração menor para as determinações químicas. A fração menor que 0,063 mm é comumente utilizada para medir a concentração de mercúrio e outros elementos metálicos, tendo em vista que ela tende a concentrar mais os metais (Salomons & Förstner, 1984). De acordo com Loring e Rantala (1992), o peneiramento a seco, em peneira de malha de 0,063 mm, é para corrigir desvios da variabilidade dos metais analisados, e por levar em consideração que a granulometria dos sedimentos influencia na capacidade de adsorção de metais pesados de forma inversamente proporcional.

O método de digestão para determinação de mercúrio utilizado foi o proposto por Knechtel e Frase (1979) o qual determina o mercúrio total, e, por ser uma técnica simples, precisa de pouco tempo para sua execução. Em tubos de ensaio foram pesados 1,000g de amostras se-

cas e 0,1000g de V_2O_5 . Em seguida, foram adicionados 10ml de HNO_3 , concentrado, a cada frasco. Os frascos foram deixados em repouso por alguns minutos até que a formação de espuma cessasse. Em seguida, os tubos de digestão foram transferidos para um cilindro de alumínio, mantido aquecido a $160^\circ C$ em uma chapa aquecedora por um período de 5 minutos. Posteriormente, as amostras foram retiradas, deixadas em repouso e a elas foram adicionados 15ml de H_2SO_4 concentrado. Os frascos foram aquecidos novamente a $160^\circ C$. Como produto final, as amostras digeridas foram transferidas para balões volumétricos de 100ml contendo 20ml de água deionizada. Os resíduos das amostras foram lavados por decantação e transferidos para os balões de 100ml. Posteriormente, as amostras foram deixadas em repouso para resfriar e completadas ao volume final com água deionizada.

As leituras de mercúrio nas soluções foram realizadas pela técnica de geração de vapor a frio, em espectrometria de emissão de plasma - ICP. O limite de detecção instrumental foi de 10 ppb e os resultados foram certificados com o padrão internacional MAG-1 da

Geostandards Newsletter. Amostras tipo branco e triplicatas foram também utilizadas para controle analítico dos resultados. O folhelho médio de Turekian e Wedepohl (1961) foi utilizado como valor de referência para interpretação dos dados.

Com a finalidade de estimar a contribuição antropogênica do mercúrio e estabelecer seções ao longo de todo sistema, onde é significativa a contaminação do sedimento de fundo, foi calculado o Fator de Contaminação de Hakanson (1980). Esse Fator de Contaminação (FC) é calculado pela razão da concentração do metal no sedimento pelo teor do nível de referência (*background*). Nesse caso, o valor adotado foi de $0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ do folhelho médio de Turekian e Wedepohl (1961). Essa metodologia permite verificar em que ordem de grandeza o nível natural dos metais foi excedido, indicando o enriquecimento ou, caso contrário, o empobrecimento do metal no sedimento de fundo. A classificação de Hakanson propõe que valores de $FC < 1$ indicam baixa contaminação, valores entre 1 e 3, moderada contaminação, valores entre 3 e 6, considerável contaminação e valores > 6 , alta contaminação.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a descrição dos pontos de coletas e os dados obtidos de mercúrio, para o sistema como um todo, e a Figura 2 apresenta o mapa de isotores de mercúrio, para todos os setores do Estuário de Santos.

Observando os resultados, nota-se um valor acentuado de mercúrio na saída do emissário submarino (ponto 26/ baía de Santos), que é 5,04 vezes maior do que os valores publicados por GESAMP (1976) de $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$. Ainda para esse sítio, os teores de fundo locais são 1,26 vezes mais elevados do que o valor relatado para folhelho médio de $0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ segundo Turekian e Wedepohl (1961). Os dados obtidos para esse sítio evidenciaram o emissário submarino como fonte de mercúrio para os compartimentos bióticos e abióticos no setor da baía de Santos. Em princípio, esse sítio deve ser avaliado criteriosamente e corresponde a um ponto crítico nessa área.

Nota-se que nos pontos 9 ($0,814 \text{ mg.kg}^{-1}$), 10 ($0,514 \text{ mg.kg}^{-1}$), 11 ($1,000 \text{ mg.kg}^{-1}$), 12 ($0,610 \text{ mg.kg}^{-1}$) e

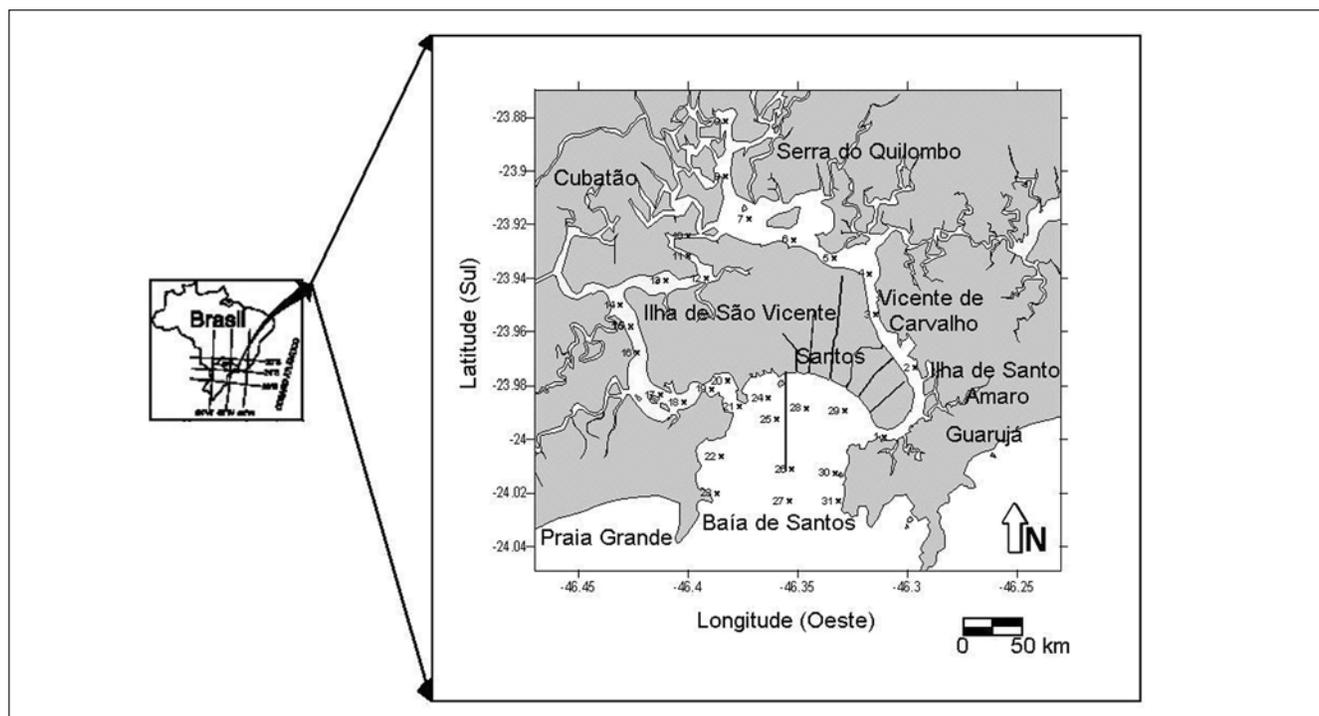


Figura 1 - Mapa da região de estudo com os pontos de coleta de sedimentos de fundo (Estuário de Santos).

Tabela 1 - Descrição dos pontos de amostragem e teores de mercúrio determinados para a região de estudo.

Setores	Pontos	Prof. (m)	Teor de Hg (mg.kg ⁻¹)	Localização dos Pontos
Canal de Santos	1	15,0	0,332	Entrada do Porto de Santos
	2	13,0	0,307	Montante do rio Santo Amaro
	3	10,0	0,119	Vicente de Carvalho
	4	11,0	0,225	Saída do Canal de Bertioga
	5	19,0	0,441	Ilha Barnabé
	6	3,0	0,391	Ilha dos Bagres
	7	9,5	0,223	Largo do Canéu
	8	7,0	0,375	COSIPA
	9	9,0	0,814	COSIPA
Cana de São Vicente	10	6,0	0,514	Ilha Duas Barras/Lixão Alemoa
	11	5,5	1,000	Rio Casqueiro
	12	4,5	0,610	Foz do rio São Jorge
	13	3,0	0,586	Largo da Pompeba
	14	3,5	0,157	Largo de São Vicente
	15	5,5	0,051	Largo de São Vicente
	16	5,5	0,250	Canal do Barreiro
	17	6,0	0,050	Jaguarezinho
	18	7,5	0,050	Mar Pequeno
	19	5,0	0,050	Barra de São Vicente
	20	14,0	0,050	Barra de São Vicente
Baía de Santos	21	3,0	0,050	Saída do Canal de São Vicente
	22	4,5	0,050	Morro da Xixova
	23	7,5	0,050	Morro de Itaipu
	24	13,0	0,050	Ilha Porchat
	25	4,5	0,050	Esquerda do Emissário Submarino
	26	10,0	0,504	Saída do Emissário Submarino
	27	11,0	0,050	Saída do Emissário Submarino
	28	5,0	0,068	Direita do Emissário Submarino
	29	12,0	0,050	Canais artificiais 4 e 5
	30	13,0	0,107	Ilha das Palmas
	31	15,0	0,050	Morro da Barra

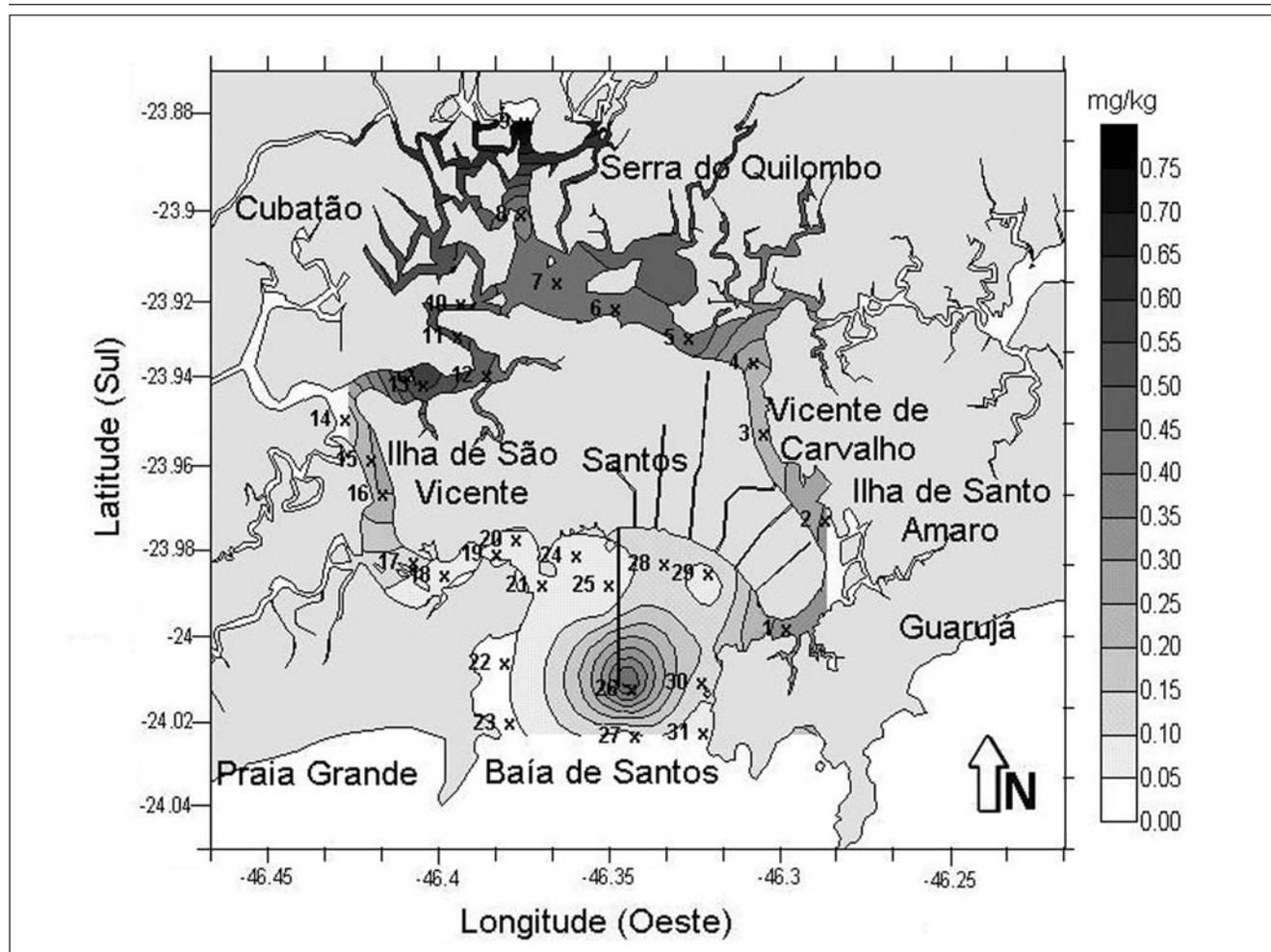


Figura 2 - Mapa de distribuição dos isotores de mercúrio nos sedimentos de fundo nos pontos de coleta (Estuário de Santos).

13 ($0,586 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Figura 2), localizados nos canais de Santos e São Vicente (Tabela 1), respectivamente, ocorreram as concentrações mais elevadas de mercúrio. Essas áreas recebem grande quantidade de efluentes lançados no rio Cubatão, como, por exemplo, da Carbocloro S/A, que conta com unidades eletrolíticas de fabricação de cloro-soda, utilizando eletrodo à base de mercúrio. Os efluentes contaminados com mercúrio dessa indústria são tratados em estação a partir de 1977 (antes disso eram despejados diretamente no rio Cubatão após serem tratados em caixa de sedimentação). De acordo com inventário sobre a poluição das águas do rio Cubatão, realizado pela regional da CETESB no ano de 1989, verificou-se que a Carbocloro S/A continuava sendo uma das principais fontes de despejos de mercúrio para o ecossistema aquático. Segundo Luiz-

Silva et al. (2002), o rio Cubatão contém as maiores concentrações de mercúrio, as quais constituem o principal veículo poluidor do estuário. Ainda para Luiz-Silva et al. (2002), esse rio recebe a principal carga de efluentes do setor industrial de Cubatão e lança suas águas poluídas no Largo de Canéu, que, em virtude do movimento do fluxo das marés, avança suas águas sobre a drenagem tributária, promovendo a dispersão desse metal.

Para Lamparelli et al. (2001) e CETESB (2001), os teores de mercúrio nos sedimentos de fundo no setor do canal de Santos estão relacionados às atividades industriais (por exemplo, a COSIPA e Dow Química) e também à operação de terminais de carga (por exemplo, granéis sólidos, corrosivos e fertilizantes). De acordo com Siqueira e Braga

(2001), até o presente momento, as áreas ao redor do complexo industrial de Cubatão, canais de Santos e São Vicente e na saída do emissário submarino, representam as maiores contribuições antropogênicas para o mercúrio, apresentando teores acima do valor de folhelho médio ($0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ de mercúrio, segundo Turekian & Wedepohl, 1961). De acordo com Marins et al. (1999) e Machado (2000), o mercúrio, além de ser encontrado em efluentes urbanos e nos efluentes dos diversos tipos de indústrias (o mercúrio constitui matéria-prima na produção de cloro e soda), apresenta, também, elevados teores na lixívia de depósitos de rejeitos sólidos urbanos, os chamados lixões a “céu aberto”. Destaca-se, nesse estudo, que o ponto 10 ($0,514 \text{ mg.kg}^{-1}$) localizado no setor de São Vicente, está sob influência de um grande depósito

de lixo a “céu aberto” (lixão Alemoa), existindo assim uma possibilidade de haver contribuição de mercúrio para esse sítio. Em trabalho realizado pela CETESB (1997), foi obtida uma concentração de mercúrio de $0,630 \text{ mg.kg}^{-1}$ em sedimento coletado na margem do lixão Alemoa. Observa-se que essa concentração é bem próxima do teor encontrado no trabalho atual para o ponto 10.

Para uma análise final da Figura 2 e Tabela 1 constata-se que a poluição por mercúrio ainda é inexistente em alguns pontos do sistema, tais como 15, 17, 18 e 19 (canal de São Vicente), 20, 21, 22, 23, 25, 27, 29 e 31, com exceção do ponto 26 ($0,504 \text{ mg.kg}^{-1}$) (baía de Santos). Observou-se que esse ponto está sob influência da descarga de efluentes do emissário submarino na baía de Santos. As concentrações determinadas em ambos setores são, em geral, baixas, com valores médios de $0,120 \text{ mg.kg}^{-1}$, quando comparadas com o folhelho médio ($0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$, de acordo com Turekian & Wedepohl, 1961).

A Tabela 2 apresenta uma compilação dos teores de mercúrio associados aos sedimentos de fundo do Estuário de Santos, determinados em períodos diferentes por diversos autores, incluindo os dados da presente pesquisa.

Os resultados da Tabela 2 permitiram avaliar o comportamento histórico desse poluente metálico nos sedimentos de fundo no Estuário de Santos. De maneira geral, os teores de mercúrio mostram-se bastante heterogêneos, refletindo os efeitos de uma variável acumulação no espaço e no tempo. No espaço, pois os diversos autores amostraram porções diferentes do Estuário, entre as quais citam-se a montante dos canais de Santos e São Vicente, desembocadura dos rios Casqueiro, Cubatão, Santo Amaro, efluentes da COSIPA e outros; no tempo, pois é de se esperar a introdução de novas taxas (por exemplo, o polo industrial de Cubatão contém cerca de 110 indústrias, sendo que algumas dessas indústrias podem estar gerando no-

vos efluentes contendo o mercúrio) em pontos de coletas notadamente mais vulneráveis (por exemplo, setores no estuário mais rasos, onde os processos oceanográficos não são tão acentuados).

Os resultados da Tabela 1 foram utilizados para o cálculo do Fator de Contaminação (FC) de Hakanson (1980), obtido pela razão da concentração do metal no sedimento pelo teor do nível de referência (*background*). Nesse caso, o adotado foi o valor de $0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ do folhelho médio de Turekian e Wedepohl (1961). Para Salomons e Förstner (1984), o folhelho médio é muito utilizado como base de comparação, devido a aproximar-se dos teores encontrados, naturalmente, em sistemas aquáticos.

Quando se considera o nível de referência de $0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ do folhelho médio de Turekian e Wedepohl (1961), obtiveram-se fatores de contaminação variando entre 0 a 3, indicando uma baixa e moderada contaminação para o sistema estudado. A identificação de uma moderada contaminação para o mercúrio, nos sedimentos de fundo, em pontos de coleta situados nos canais de Santos e São Vicente, mostra diferentes fontes antropogênicas relacionadas com o parque industrial petroquímico e metalúrgico de Cubatão. De certa forma, o FC representa somente a acumulação de metais pesados, não proporcionando informações sobre a forma em que os metais se encontram nos sedimentos. Cabe destacar que os teores elevados de metais pesados em sedimentos de fundo não constituem uma biodisponibilidade destes para biota associada, entretanto a variação de parâmetros físico-químicos (pH, Eh, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e outros) das águas circundantes pode promovê-la. Corroborando os resultados obtidos nas análises químicas, o FC indicou contaminação de mercúrio, principalmente para os canais de Santos e São Vicente, com destaque para os pontos 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 26 (moderada contaminação/valores entre 1 e 3), sendo que, para os outros pontos de coletas, foi encontrada uma baixa contaminação de mercúrio ($FC < 1$), fato que pode ser observado na Figura 3.

Tabela 2 - Variação da concentração de mercúrio em sedimentos de fundo no Estuário de Santos ao longo do tempo segundo diversos autores.

Intervalos de concentração de Hg em mg.kg^{-1}	Referências
0,02 a 1,79	Tommasi (1979)
0,02 a 1,15	Pereira (1980)
0,10 a 1,70	Silva et al. (1983)
0,00 a 8,20	Tommasi (1985)
0,04 a 1,16	Boldrini e Pereira (1987)
0,12 a 1,60	Boldrini (1990)
0,04 a 0,20	Prósperi et al. (1998)
0,04 a 1,19	Bonetti (2000)
0,005 a 0,83	CETESB (2001)
0,10 a 6,77	Luiz-Silva et al. (2002)
0,05 a 1,00	Esse estudo

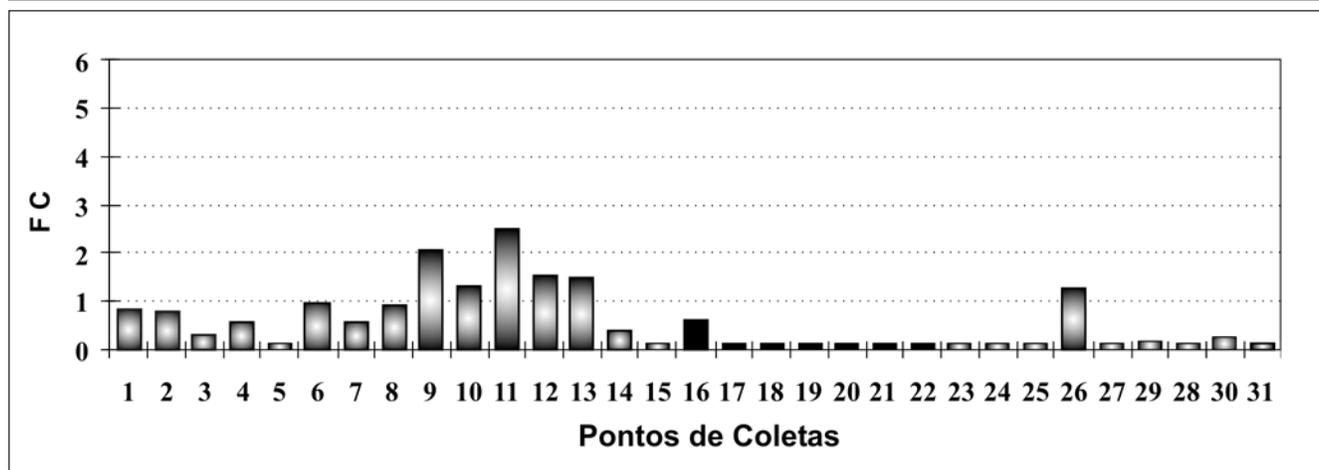


Figura 3 - Histograma de distribuição dos Fatores de Contaminação calculados para os pontos de coletas (Estuário de Santos).

4. Conclusões

Pelos dados obtidos, conclui-se que a distribuição de mercúrio nos sedimentos de fundo provenientes do Estuário de Santos parece ser influenciada pelos efluentes locais e pela circulação de água no sistema. Os teores mais elevados de mercúrio encontram-se nas proximidades dos setores mais industrializados e na saída do emissário submarino, sinalizando uma possível influência das ações antropogênicas nesses sítios. Os Fatores de Contaminação (FC) encontrados para mercúrio nos sedimentos de fundo oscilaram entre 1 e 3, indicando uma contaminação moderada para esse metal em alguns setores dos canais de Santos e São Vicente. No setor da baía de Santos, o Fator de Contaminação indica baixa contaminação ($FC < 1$), com exceção para o ponto 26, localizado na saída do emissário submarino, onde o Fator de Contaminação é ligeiramente superior a 1.

5. Agradecimentos

A FAPESP, pelo financiamento do projeto “Estudo da Dinâmica do Sistema Estuarino de Santos: Aspectos Biogeoquímicos e Influência de Efluentes Domésticos e Industriais no Sistema” nº 2000/0090-9; agradecemos também ao Programa de Pós-Graduação em Ocea-

nografia Química e Geológica do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, ao Departamento de Química do Centro de Ciências Exatas e Naturais da UFPA e ao Programa PICDT/UFPA/CAPES, pela bolsa de doutoramento para o primeiro autor.

6. Referências bibliográficas

- BARROCAS, P. R., WASSERMAN, J. C. O mercúrio na baía de Guanabara; uma visão histórica. *Geochimica Brasiliensis*, v. 9, n.2, p.115-127, 1995.
- BOLDRINI, C. V., PEREIRA, D. N. Metais pesados na baía de Santos e estuários de Santos e São Vicente, Bioacumulação. *Ambiente*, v. 1, n. 3, p. 118-127, 1987.
- BOLDRINI, C. V. Mercúrio na baixada santista. In: SEMINÁRIO NACIONAL “RISCOS E CONSEQUÊNCIA DO USO DO MERCÚRIO” HACON, S., LACERDA, L. D., PFEIFFER, W. C., CARVALHO, D. Rio de Janeiro: 1990. p. 161-195.
- BONETTI, C. V. H. *Foraminíferos como bioindicadores do gradiente de stresse ecológico em ambiente costeiros poluídos. Estudo aplicado ao sistema estuarino de Santos-São Vicente (SP/Brasil)*. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2000. 229p. (Tese de Doutorado.).
- BRAGA, E. S., BONETTI, C. V. D. H., BURONE, L., BONETTI FILHO, J. Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista Estuarine System-Brazil. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 40, n.2, p.165-173, 2000.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Sistema Estuarina de Santos e São Vicente. *Relatório Técnico*, 2001.177p.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Levantamento de Preliminar do Grau de Contaminação de Amostras de Sedimento do Canal de Santos. Memorando n. 247/97/DA (anexo), 1997. 8p.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Avaliação preliminar da contaminação por metais pesados na água, sedimento e organismos aquáticos do Rio Cubatão (SP). *Relatório Técnico*. 1989. 28p.
- FÖRSTNER, V., WITTMANN, G. T. W. *Metal pollution in the aquatic environment*, Berlin: Springer-Verlag, 1983. 486 p.
- GESAMP. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution. Reports and Studies nº2. United Nation. Review of Harmful Substances, 1980. 80p.
- HAKANSON, L. An ecological risk index aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.*, v.14, p.975-1001, 1980.
- KNECHTEL, J. R., FRASE, J. L. 1979. Wet digestion for the determination of mercury in biological and environmental samples. *Anal. Chem.* v. 51, n. 2, p. 315-317, 1979.
- LACERDA, L. D., MENEZES, C. F. de. O mercúrio e a contaminação de reservatórios no Brasil. *Ciência Hoje*, v. 19, n.110, p. 43-39, 1995.
- LAMPARELLI, M. L., COSTA, M. P., PRÓSPERI, V. A., BEVILÁQUA, J. E., ARAÚJO, R. P. A., EYSINK, G. G. L., POMPÉIA, S. Sistema estuarino de Santos e São Vicente. *Relatório Técnico da CETESB/SP*. 2001. 178p.
- LORING, D. H., RANTALA, R. T. T. Manual for the geochemical of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth. Science*, Amsterdam, v. 32, p. 235-283, 1992.

- LUIZ-SILVA, W., MATOS, R. H. R., KRISTOCH, G. C. Geoquímica e índice de geoacumulação de mercúrio em sedimentos de superfície do estuário de Santos-Cubatão (SP). *Química Nova*, n. 25, p.753-756, 2002.
- MACHADO, W. T. V. *Acumulação de metais pesados em sedimentos de manguezal de Jardim Gramacho, baía de Guanabara*. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2000. 72p. (Dissertação de Mestrado).
- MARINS, R. V., LACERDA, D., VILLAS BOAS, R. C. Relative importance of no point sources of mercury to an industrialized coastal system, Sepetibe Bay, SE Brazil. In: EBINGHAUS, R., TURNER, R. R., LACERDA, L. D., VASILIER, O. SALOMONS, J. M. & W. *Mercury in continrntal sites*. Berlin: Springer-Verlag, 1999. p.202-220.
- MOORE, J. W., RAMAMOORTH, S. *Heavy metals in natural waters*. Springer-Verlag, 1984. 268p.
- PEREIRA, D. N. Aspectos da poluição dos estuários por metais pesados. In: I SEMINÁRIO POR POLUIÇÃO POR METAIS PESADOS, Brasília: 1980. p. 65-83.
- PRÓSPERI, V.; EYSINK, G. G. J., SAITO, L. M. Avaliação do grau de contaminação de sedimentos ao longo do canal de navegação do Porto de Santos. *Relatório Técnico da CETESB/SP*. 1998. 33p.
- SALOMONS, W., FORSTNER, V. *Metals in Hydrocycle*. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 340p.
- SILVA, C. C. do AMARAL, TOMMASI, L. R., BOLDRINI, C. V., PEREIRA, D. N. Níveis de mercúrio na Baixada Santista. *Ciê.n.Cult.*, v. 35, n. 6, p. 771-773, 1983.
- SIQUEIRA, G. W., BRAGA, E. S. Estudo dos teores de Hg na fração fina do sedimento: uma visão ambiental com aplicação de normalizantes geoquímicos para as regiões estuarina de Santos/São Vicente e baía de Santos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 8. *Anais...*, SIMPÓSIO DE GEOQUÍMICO DO MERCOSUL, 1. Curitiba/PR: 2001. CD-ROOM.
- SIQUEIRA, G. W. *Estudo dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do Sistema Estuarino de Santos (Baixada Santista/São Paulo) e Plataforma Continental do Amazonas (Margem Continental Norte do Brasil)*. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2003. 386p. (Tese de Doutorado).
- SIQUEIRA, G. W., BRAGA, E. S., LIMA, W. N. de, PEREIRA, S. F. P. Estudo granulométrico e de metais pesados (Pb, Zn e Cu) nos sedimentos de fundo do Sistema Estuarino de Santos/São Paulo-Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS AMBIENTAIS E SAÚDE, 4, *Anais...*, Santos/SP. 2004. v. 1, p. 1-6.
- TOMMASI, L. R. Consideração ecológica sobre o Sistema Estuarino de Santos, Estado de São Paulo, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo: 1979. 489p. 2v. (Tese de Livre-Docência).
- TOMMASI, L. R. Poluição por mercúrio na água e sedimentos de fundo da baía e Estuário de Santos e de São Vicente (SP). *Ciê.n.Cult.*, v. 35, n. 6, p.998-1001, 1985.
- TUREKIAN, K. K., WEDEPOHOL, K. H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, n. 72, p. 175-192, 1961.
- USPHS. Public Health Service. Toxicological profiles for Hg, Zn, Cr, Cu and Ni. Agency for Toxic Substances and Disease Registry's, 1997. (CD-ROOM).

Artigo recebido em 25/02/2005 e
aprovado em 15/09/2005.

A Rem já está comemorando os seus 70 anos.

Ela agora faz parte das revistas indexadas pela
Iniciativa dos Arquivos Abertos.

PUBLIC KNOWLEDGE PROJECT
Open Archives Harvester

Home > Add an Archive

Add an Archive

The archive **REM - Revista Escola de Minas** has been successfully added to our database, and will be indexed shortly. Thank you for your submission.

► [Back to Home](#)

[Home](#) | [Search](#) | [Archives](#) | [Submit Archive](#) | [Links](#) | [About](#)

© 2003-2004 Public Knowledge Project