

Processo de Bioacumulação na área estuarina de Santos e São Vicente, São Paulo

Maurea Nicoletti Flynn

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, mestrado e doutorado em Oceanografia Biológica pela Universidade de São Paulo e pós-doutorado em ecologia aplicada e experimental pelo programa recém doutor do CNPq, Universidade de São Paulo. Foi coordenador do Curso de Engenharia Ambiental das Faculdades Oswaldo Cruz e Coordenadora de Pesquisas na Escola Superior de Química das Faculdades Oswaldo Cruz. Professor adjunto do curso de graduação em Ciências Biológicas e de pós-graduação em Biodiversidade da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tem experiência nas áreas de Ecologia Bêntica, Ecologia Experimental, Dinâmica Populacional e Biodiversidade da Ambientes Aquáticos. Especialista em auditoria ambiental (Certificado EARA - Environmental Auditors Registration Association). E-mail: maureaflynn@gmail.com

Leila Cristina Magalhães Silva

Possui graduação em Bacharelado em Química e Licenciatura Plena em Química, na Universidade Presbiteriana Mackenzie, Especialização em Atribuições Tecnológicas, nas Faculdades Oswaldo Cruz, Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, área de Materiais, no Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. Atualmente é professor dos cursos de graduação em Engenharia Química, Engenharia de Produção Química, Engenharia Ambiental e Química Industrial das Faculdades Oswaldo Cruz. E-mail: leilamagalhaes.silva@uol.com.br

Mônica Ponz Louro

Possui graduação em Licenciatura Plena Em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo e em Bacharelado Em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo (1989), mestrado e doutorado em Ciências pela Universidade de São Paulo. Atualmente é professor adjunto da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tem experiência nas áreas de Zoologia de Vertebrados, com ênfase em Ictiologia. E-mail: mo.ambiente@gmail.com

Maura Vincenza Rossi

Possui graduação em Química pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, mestrado e doutorado em Química Analítica pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo e pós-doutorado pela State University of New York - College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York, USA. Foi professora assistente doutor da Universidade de São Paulo, chefe de departamento da Universidade Presbiteriana Mackenzie e professor adjunto da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Análise de Traços e Química Ambiental. Trabalhou 8 anos (1999 a 2007) na Itália em laboratório de análises químicas e microbiológicas como responsável pela parte analítica ambiental, não apenas no que se refere à aplicação dos métodos analíticos, mas também com relação ao determinado pela legislação na área ambiental. Tratou da codificação de resíduos perigosos e não perigosos, do controle de emissão de poluentes industriais, avaliação do nível de ruído para a segurança do trabalhador, entre outros. Utiliza as técnicas absorção atômica e molecular, cromatografia gasosa com diferentes detectores, cromatografia líquida (HPLC) com diferentes detectores, além das técnicas eletroanalíticas. E-mail: mvrossi@gmail.com

Resumo

A contaminação dos corpos hídricos litorâneos no Estado de São Paulo tem ocorrido de forma intencional ou acidental, principalmente a partir de fontes não naturais e em decorrência da atividade humana. O objetivo do presente estudo é fazer uma revisão do processo de bioacumulação de contaminantes de interesse listados na resolução CONAMA 344/2004 pela biota aquática da área estuarina de Santos e São Vicente, fazendo um paralelo com a qualidade dos sedimentos. Os contaminantes mais frequentemente bioacumulados foram o Zinco e os PCBs. Zinco apresentou frequência semelhante de detecção em sedimento e organismos, mas proporcionalmente uma maior frequência de detecção de concentrações acima dos limites recomendados para organismos. Nos organismos avaliados a frequência de detecção para bifenilas policloradas foi de 96% dos indivíduos sendo que destes 19,2 % apresentavam concentrações acima dos limites recomendados. Os metais chumbo cobre, cromo, níquel e zinco e os HPAs acenaftileno, benzopireno, criseno, fluoranteno, fluoreno, naftaleno e pireno ultrapassaram para sedimento o nível

TEL (Resolução CONAMA 344/04) principalmente na área mais interna do estuário.

Palavra-chave: bioacumulação, contaminação de sedimento, região estuarina de Santos e São Vicente, metais, PCBs

Abstract

The littoral water contamination in the State of São Paulo has occurred either intentionally or accidentally, mainly from non natural sources and in result of human being activity. The aim of the present study is to make a revision of bioaccumulation data of listed contaminants in resolution CONAMA 344/2004 by the aquatic biota of the Santos and São Vicente estuarine area, tracing a parallel with sediment quality. The contaminants more frequently accumulated is Zinc and PCBs. Zinc presents similar frequency of detection in sediment and organisms, but proportionally, a higher frequency of concentration above the recommended level in organisms for human consumption. For the assessed organisms the frequency of bifenilas policloradas detection is 96%, and of those individuals, 19.2% presented concentrations above the recommended limits. The metals lead, copper, chromium, nickel and zinc and the HPAs acenaftileno, benzopireno, criseno, fluoranteno, fluoreno, naftaleno and pireno had exceeded sediment level TEL (Resolution CONAMA 344/04) particularly in the inner area of the estuary.

Keywords: bioaccumulation, sediment contamination, Santos and São Vicente estuarine region, metals, PCBs

Introdução

As propriedades de acúmulo e de redistribuição de contaminantes nos sedimentos os qualificam como de extrema importância em estudos de impacto ambiental, pois registram em caráter mais permanente os efeitos de contaminação. Dependendo das características físicas e químicas do ambiente, contaminantes e nutrientes acumulados nos sedimentos podem ser disponibilizados para a coluna de água, influenciando diretamente a qualidade desta (BEVILACQUA *et al*, 2009), além de serem acumulados pela biota. As ações antrópicas atuam tanto aumentando os níveis de contaminação como promovendo condições para a redistribuição.

Para compreender o processo de bioacumulação de organismos aquáticos a partir de poluentes encontrados nos sedimentos de fundo de estuários ou ambientes marinhos é preciso que seja feita a caracterização da exposição destes organismos. Dados sobre biodisponibilidade, ingestão, acumulação e eliminação de contaminantes pelos animais, são necessários para caracterizar a exposição aos agentes. A ingestão depende da biodisponibilidade destes contaminantes nas matrizes: sedimento, água e alimento. As vias de entrada nos organismos aquáticos são principalmente as guelras, brânquias ou trato digestivo, e podem acumular-se principalmente no fígado (peixes) ou hepatopâncreas / glândula digestiva (anelídeos/ crustáceos/ moluscos) (MÄENPÄÄ, 2007).

O principal efeito da contaminação sobre os estoques pesqueiros é a grande mortalidade sobre os ovos e larvas, refletindo, a curto e médio prazo, numa redução nos recursos pesqueiros disponíveis. Peixes são os principais consumidores (e também controladores das populações) de plâncton e de bentos, acumulando, portanto, grande concentração de contaminantes, via cadeia trófica. O acúmulo destes contaminantes pode ocasionar doenças e morte nos peixes, lesões, ulcerações, gosto ou odor desagradável que prejudicam a sua comercialização, ou ainda a contaminação da população humana, quando consumidos. Além do

homem, répteis, aves e mamíferos aquáticos que têm nos peixes sua principal dieta, podendo também ser contaminados.

Impactos agudos e/ou crônicos, quando não causam grande mortalidade imediata ou em curto prazo em peixes, afugentam-nos das áreas impactadas, podendo ocasionar uma redução nos estoques pesqueiros, acarretar colapso na pesca artesanal e industrial, com impactos sociais negativos na comunidade de pescadores. A escolha dos organismos para a caracterização da contaminação da biota deve avaliar animais representativos dos diferentes hábitos alimentares e dos principais habitats do ecossistema estuarino. Entre as espécies selecionadas devem ser incluídos organismos intimamente associados ao sedimento – o macrobentos (sirís, caranguejos, camarões, peixes demersais, mexilhões, ostras e mariscos) que vive em contato com os sedimentos estuarinos e de manguezais.

A contaminação ambiental dos corpos hídricos litorâneos no Estado de São Paulo tem ocorrido de forma intencional ou acidental, principalmente a partir de fontes não naturais e em decorrência da atividade humana. O objetivo do presente estudo é fazer uma revisão do processo de bioacumulação de contaminantes de interesse listados na resolução CONAMA 344/2004 pela biota aquática da área estuarina de Santos e São Vicente, fazendo um paralelo com a qualidade dos sedimentos.

Metodologia

A elaboração desta revisão sobre bioacumulação na região estuarina de Santos e São Vicente foi realizada através do levantamento de dados secundários extraídos principalmente de estudos realizados pela CETESB, e também publicações acadêmicas e Estudo de Impacto Ambiental (EIA) de empreendimentos já licenciados (Figura 1). A biota aquática considerada foi composta pelos peixes carapeba, robalo, tilápia, tainha e bagre; pelos crustáceos, sirí, caranguejo e camarão; e pelos moluscos, ostra, unha de velho, mexilhão e mariscos.

FLYNN, Maurea Nicoletti. et al. Processo de Bioacumulação na área estuarina de Santos e São Vicente, São Paulo. **RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 2, p. 36-58, jun. 2011.

O diagnóstico da qualidade dos sedimentos baseado nas concentrações de contaminantes permitiram o estabelecimento dos níveis orientadores PEL (Probable Effect Level), que expressam a probabilidade de efeito na biota, e TEL (Threshold Effect Level), concentração abaixo da qual raramente é esperada a ocorrência de efeitos para a biota. Nos intervalos entre PEL e TEL, ocasionalmente é esperado efeito na biota (ARAÚJO, 2005). Com relação aos parâmetros não definidos na legislação brasileira, foram utilizados critérios adotados pela agência ambiental do Canadá (ENVIRONMENT CANADA, 1999b).



Figura 1. Locais de levantamento de dados de bioacumulação: CT1- largo de Santa Rita (ADA); CT2- rio Cubatão; CT3- rio Piaçaguera a jusante do rio Mogi; CT4- Cosipa; CT5- canal de Bertioiga; CT6- rio Casqueiro; CT7- rio Santana; CT8- rio Piaçabuçu; CT9- área próxima ao porto de Santos; CT10- rio Santo Amaro; CT11- área de acesso ao canal do estuário de Santos; CT12- Ponta Grossa da Barra; Área Embraport; Cas- rio Casqueiro; Cub- rio Cubatão e Uru- ilha Urubupungu.

Os resultados referentes às amostras de organismos foram comparados com critério para consumo humano estabelecido no Brasil. Para as substâncias que não

possuem legislação nacional foram adotados os critérios de agências do governo dos Estados Unidos (USEPA- U.S. Environmental Protection Agency e FDA-Food and Drug Administration).

Resultados

Na área do Largo de Santa Rita entre os contaminantes encontrados nos organismos em concentrações acima dos valores de referência, estão o zinco, PCBs totais, benzo(a)pireno e indeno(1,2,3-cd)pireno. No sedimento, apenas o mercúrio ultrapassou o valor de PEL. Os contaminantes acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, criseno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno e pireno apresentaram valores entre PEL e TEL (CETESB, 2001; SIQUEIRA *et al*, 2005) e estes, entretanto, não foram acumulados pelos organismos acima dos valores recomendados para consumo humano. O zinco e os PCBs, embora tenham apresentado valores inferiores a TEL nas amostras de sedimento, foram acumulados acima dos valores recomendados para consumo humano por alguns organismos. O zinco foi acumulado por siri, caranguejo, ostra e camarão, sendo a ostra o organismo que mais acumulou o contaminante (Figura 2) e os PCBs pela carapeba e ostra. Benzo(a)pireno esteve acima do valor de TEL no sedimento e acima do valor aconselhado para consumo humano em ostras. Embora o Indeno(1,2,3-cd)pireno não tenha sido analisado nas amostras de sedimento, os resultados das análises nos organismos mostraram que a ostra acumulou esse contaminante em concentração acima daquela recomendada para consumo humano (CETESB, 2001).

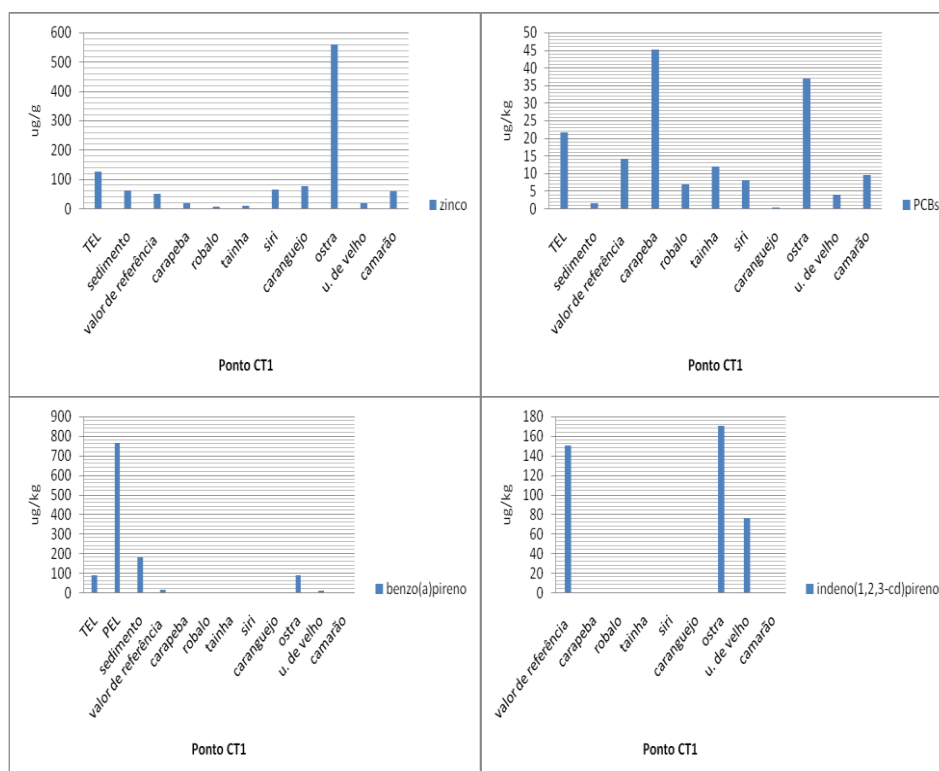


Figura 2 Concentrações de zinco, PCBs, benzo(a)pireno e de indeno(1,2,3-cd)pireno em amostras de sedimento e organismos coletados no Largo Santa Rita.

Dos organismos coletados para o estudo de bioacumulação no Rio Cubatão, carapeba, robalo, tilápia, tainha e siri, somente este último apresentou concentrações de contaminantes acima dos valores recomendados para consumo humano (CETESB, 2001; VIRGA & GERALDO, 2008) para o cobre, o níquel e os PCBs (figura 3). No sedimento as concentrações destes ficaram entre TEL e PEL, juntamente com arsênio, cádmio, cobre, níquel, bifenilas policloradas, acenafteno, acenaftileno, benzo antraceno, benzo pireno e criseno. O mercúrio, além de alfa, delta e gama BHC apresentaram valores superiores a PEL (CETESB, 2001; LUIZ-SILVA et al, 2006; LUIZ-SILVA, 2008).

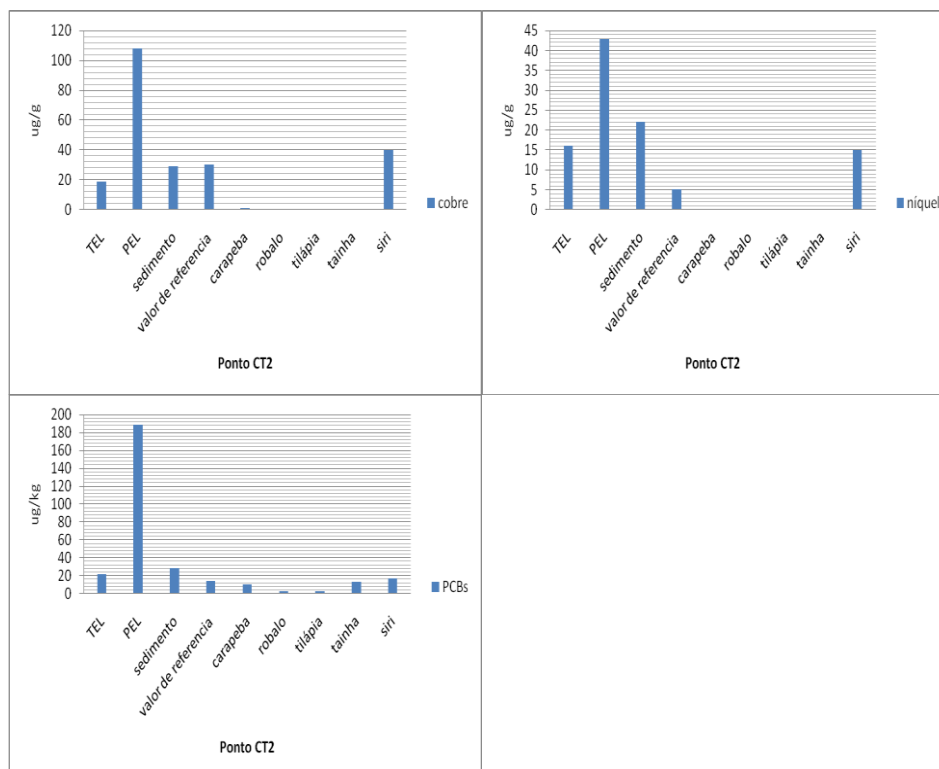


Figura 3. Concentrações de cobre, níquel e PCBs em amostras de sedimento e organismos coletadas no rio Cubatão.

Apesar dos sedimentos no Canal de Piaçaguera estarem contaminados por quantidade considerável de compostos em concentrações acima de TEL apenas o cobre foi acumulado em siri acima do recomendado para o consumo humano (figura 4). Neste ponto o sedimento apresentou valores entre TEL e PEL para arsênio, cádmio, cobre, zinco, acenaftileno, benzopireno, criseno, fluoranteno, fluoreno, naftaleno e pireno e acima de PEL para acenafteno, antraceno, fenantreno e alfa BHC (CETESB, 2001).

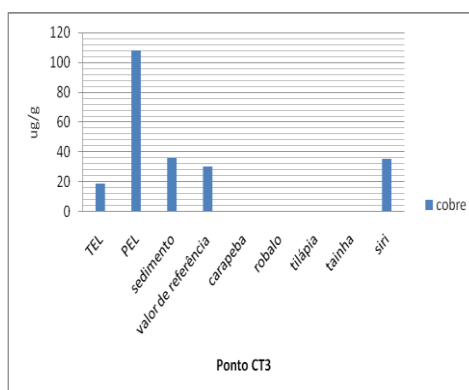


Figura 4. Concentrações de cobre em sedimento e organismos coletados no canal de Piaçaguera a jusante do rio Mogi

FLYNN, Maurea Nicoletti. et al. Processo de Bioacumulação na área estuarina de Santos e São Vicente, São Paulo. **RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 2, p. 36-58, jun. 2011.

Na área da COSIPA há uma grande contaminação do sedimento com valores ultrapassando TEL para cádmio, cobre, cromo e níquel, e ultrapassando PEL para chumbo, mercúrio, zinco, acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzoantraceno, benzopireno, criseno, fenantreno, fluorantreno, fluoreno, naftaleno e pireno (CETESB, 2001; SIQUEIRA *et al*, 2005). Porém somente o zinco e PCBs totais foram encontrados nos siris e caranguejos em concentrações acima dos valores permitidos para consumo humano (figura 5).

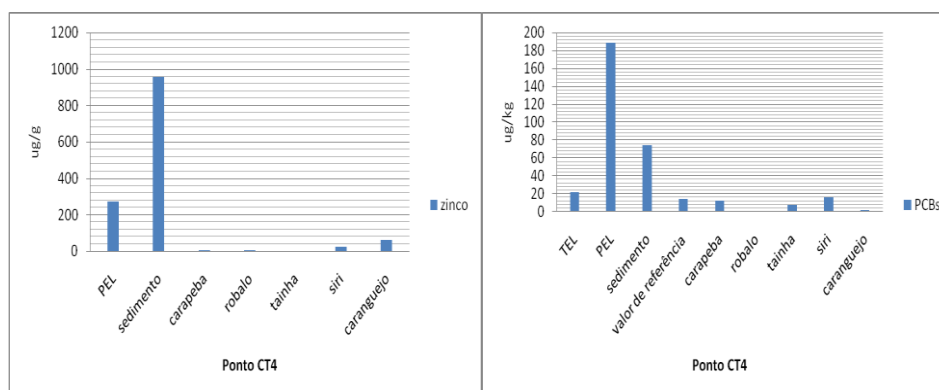


Figura 5. Concentrações de zinco e PCBs em sedimento e organismos coletados no canal da Cosipa.

O contaminante zinco ultrapassou o valor recomendado para consumo humano em caranguejo e tainha coletados no Canal de Bertioga, apesar de ser encontrado no sedimento em concentrações abaixo de TEL (Figura 6). Os PCBs foram acumulados em concentrações acima do recomendado pela USEPA, embora o sedimento não apresentasse valores acima de TEL para o contaminante. A tainha foi o organismo que mais acumulou, seguido pela carapeba e siri (Figura 6). O mercúrio, acenafteno, antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, naftaleno e pireno estiveram presentes no sedimento em concentrações entre TEL e PEL, porém não foram bioacumulados em concentrações suficientes para causar risco à saúde humana. Benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno e criseno também não foram encontrados nos organismos em concentrações superiores às recomendadas para o consumo, porém seus valores excederam PEL no sedimento (CETESB, 2001).

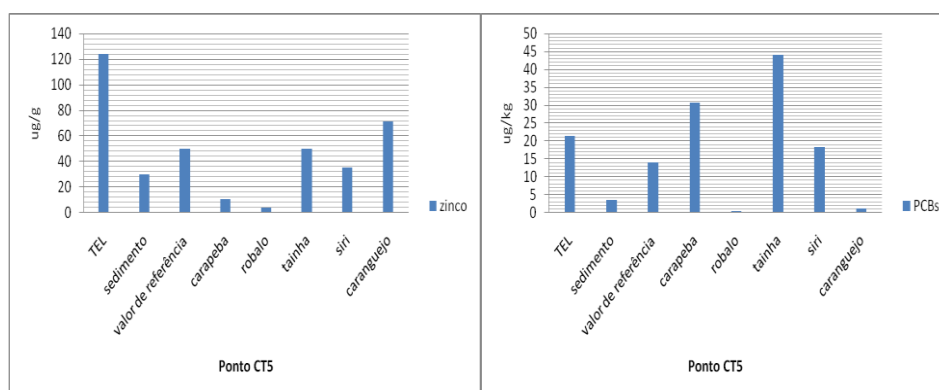


Figura 6. Concentração de zinco e PCBs encontrada em amostras de sedimento e organismos coletadas no canal de Bertioga.

Ostras e mexilhões no casco do navio Ais Giorgis naufragado em 1973 no Canal do Porto de Santos foram coletados pela CETESB (2001) para estudo de bioacumulação. Tanto a ostra como os mexilhões acumularam o zinco em concentrações superiores à recomendada pela legislação brasileira para consumo humano. A ostra acumulou quantidade muito acima da permitida (Figura 7). Os PCBs também foram encontrados em concentrações superiores à considerada segura pela USEPA para o consumo humano nos dois organismos, porém quem acumulou maior quantidade foi o mexilhão, praticamente o dobro do valor proposto pela USEPA (Figura 7). Todos os demais contaminantes analisados nos organismos não obtiveram concentrações acima da recomendada para o consumo humano. Os resultados das análises dos contaminantes no sedimento indicaram valor acima de TEL apenas para o mercúrio (HORTELLANI *et al.*, 2008; CETESB, 2001).

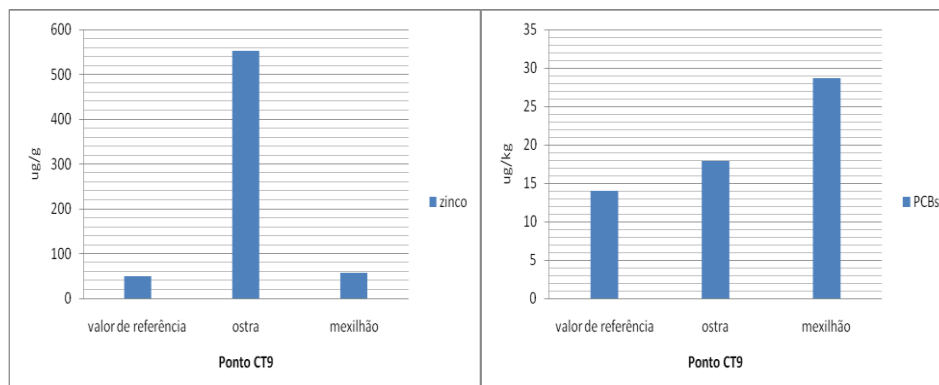


Figura 7. Concentrações de zinco em organismos coletados pela CETESB (2001) no casco do navio Ais Giorgis.

No rio Santo Amaro apenas siri e caranguejo foram coletados pela Cetesb para estudo de bioacumulação. Entre os compostos avaliados, somente o zinco e os PCBs totais foram acumulados pelos organismos em concentrações superiores às recomendadas para o consumo humano. Embora encontrados nos sedimentos em concentrações entre TEL e PEL, cádmio, chumbo, cobre, níquel, acenafteno e fluoreno não foram detectados nos organismos em concentrações acima daquelas recomendadas para o consumo humano (SIQUEIRA *et al.*, 2005; CETESB, 2001). O mercúrio presente no sedimento em concentrações acima de PEL também não foi acumulado pelos organismos coletados em concentrações acima do recomendado. O zinco, presente no sedimento em concentrações entre TEL e PEL, foi acumulado com valor acima do recomendado apenas pelo caranguejo. Os PCBs totais, embora em concentração abaixo de TEL no sedimento, foram acumulados pelo siri em concentrações acima do recomendado para o consumo humano (Figura 8).

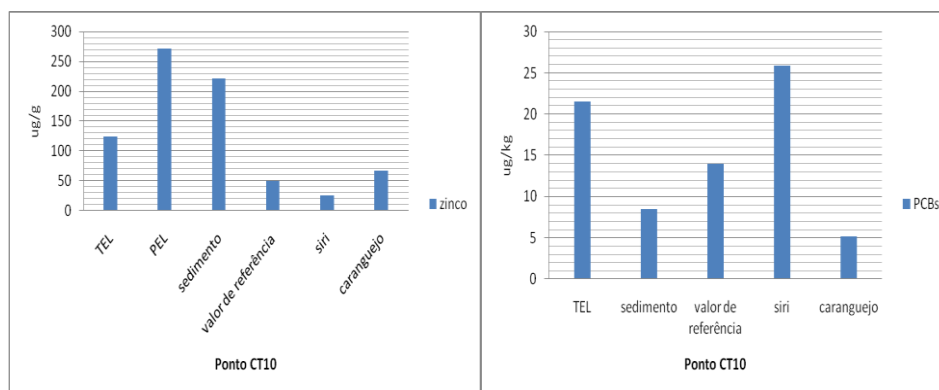


Figura 8. Concentrações de zinco e PCBs em sedimento e organismos coletados no rio Santo Amaro.

No acesso ao Canal do Porto de Santos, somente níquel e PCBs foram encontrados em mexilhões em concentrações acima da recomendada para o consumo humano, ambos se encontravam no sedimento em concentrações abaixo de TEL (Figura 9). Os contaminantes cádmio e mercúrio não foram encontrados nos organismos em concentrações maiores que a recomendada para o consumo humano, mas estiveram presentes nos sedimentos com valores entre TEL e PEL FLYNN, Maurea Nicoletti. et al. Processo de Bioacumulação na área estuarina de Santos e São Vicente, São Paulo. **RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 2, p. 36-58, jun. 2011.

(HORTELLANI *et al.*; 2008; SIQUEIRA *et al.*, 2005; LUIZ-SILVA *et al.* 2006 e CETESB, 2001).

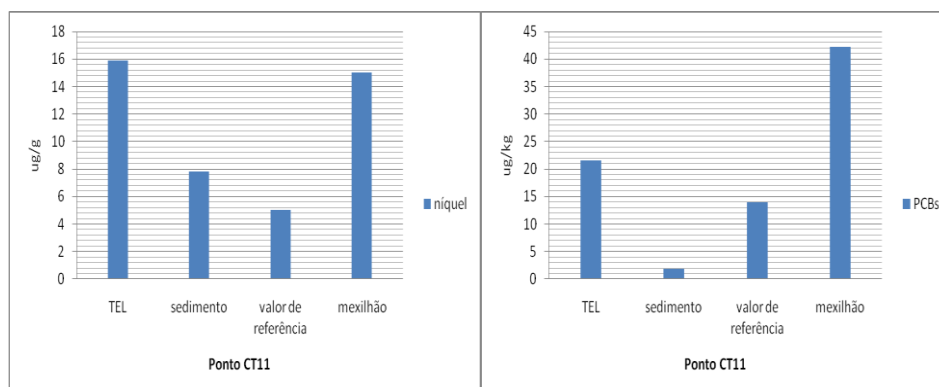


Figura 9. Concentrações de níquel e PCBs em amostras de sedimento e mexilhão coletados no acesso ao canal de Santos.

O zinco foi acumulado, em concentrações acima do valor máximo permitido pela legislação brasileira para fins de consumo, por caranguejos do rio Casqueiro e os PCBs totais, pela tainha. A concentração de PCBs em siris esteve próximo do valor de referência. Esses contaminantes estiveram presentes no sedimento em concentrações abaixo de TEL (Figura 10) (CETESB, 2001). A análise de bioacumulação desse contaminante pelo siri *Cathorops spixii* (AZEVEDO *et al.*, 2009) não excedeu o valor permitido pela legislação brasileira. Outros contaminantes foram encontrados no sedimento com valores entre TEL e PEL, porém estes não foram encontrados nos organismos em concentrações que pudessem oferecer riscos à saúde humana. São eles: cádmio, cobre, níquel, acenafteno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, criseno, fenantreno e pireno (LUIZ-SILVA *et al.*, 2006; SIQUEIRA *et al.* 2005; CETESB, 2001). Para mercúrio os valores de contaminação do sedimento se mostraram acima de TEL e eventualmente PEL para mercúrio (LUIZ-SILVA *et al.*, 2006; SIQUEIRA *et al.*, 2005).

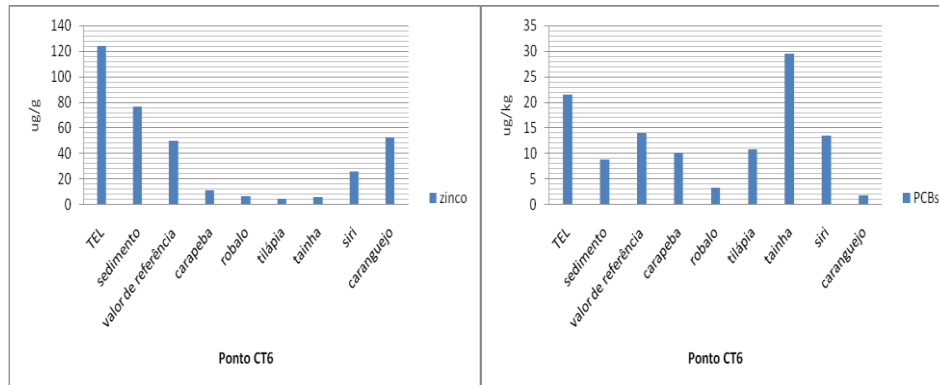


Figura 10. Concentrações de zinco e PCBs presentes em amostra de sedimento e organismos coletados no rio Casqueiro.

Estudos de bioacumulação realizados com organismos coletados na foz dos rios Diana e Sândi, mostraram acumulação em concentrações superiores às recomendadas para o consumo humano de cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, níquel, zinco e PCBs totais por bagre, caranguejo e marisco (Figura 11). Somente em siri não foram encontrados valores superiores aos de referência para os contaminantes analisados. Embora encontrados no sedimento em concentrações entre TEL e PEL, o mercúrio e arsênio não foram detectados em nenhuma das amostras dos organismos coletados. O composto antraceno também foi encontrado no sedimento em concentrações entre TEL e PEL, porém não foram realizadas análises desse contaminante para as amostras da biota coletada. Os contaminantes com concentrações acima de TEL formam mercúrio, arsênio e antraceno (EIA EMBRAPORT, 2003).

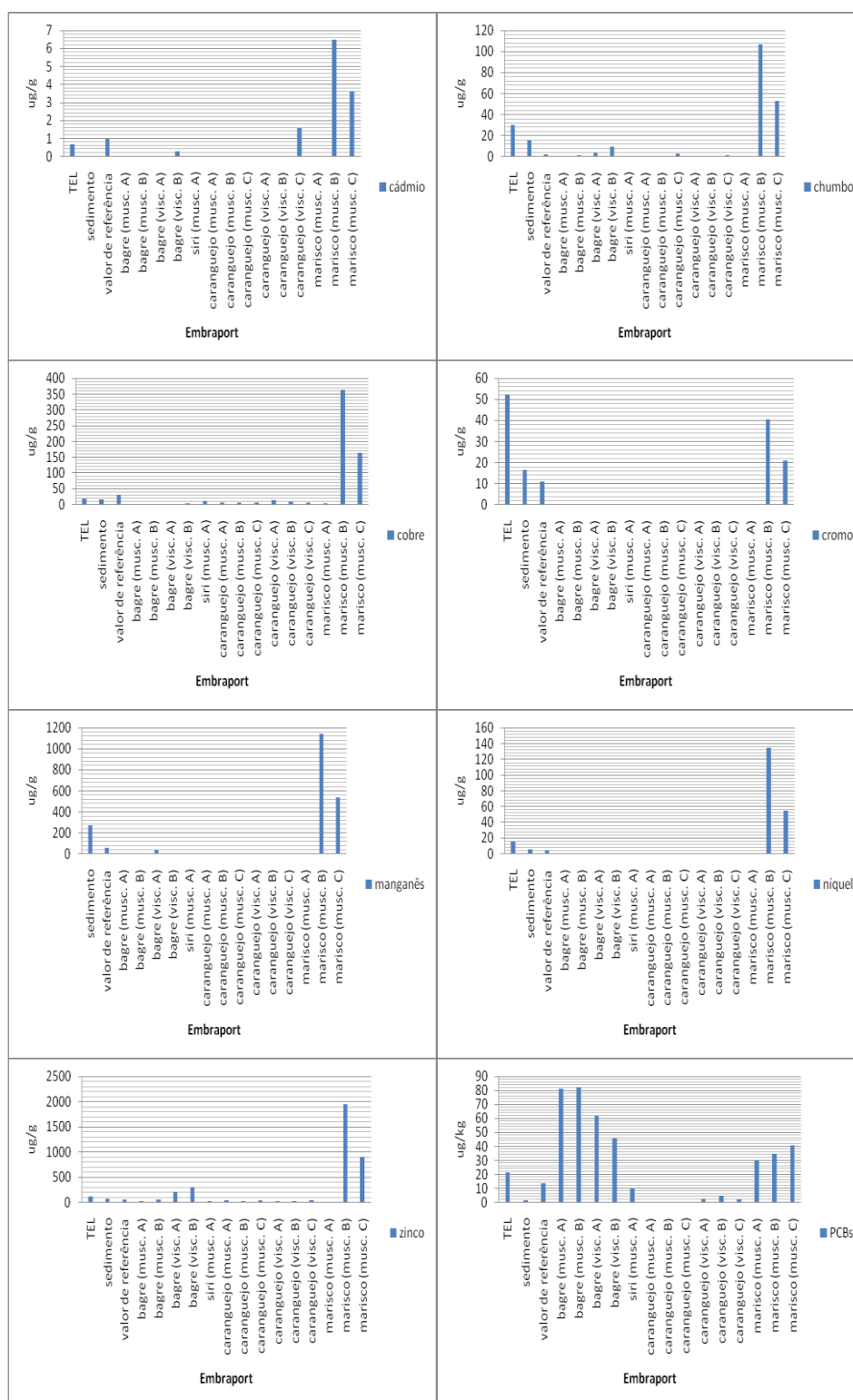


Figura 11. Concentrações de cádmio, chumbo, cobre, cromo, manganês, níquel, zinco e PCBs em amostras de sedimento e organismos na foz dos rios Diana e Sândi.

No Rio Santana houve acúmulo de mercúrio e zinco por caranguejos em concentrações que ultrapassam os valores máximos recomendados para o consumo humano (figura 12). Os demais organismos analisados – carapeba, tainha e siri – não acumularam concentrações acima das permitidas de nenhum dos contaminantes analisados. No sedimento superando valores de TEL temos cádmio, zinco, cobre e níquel, e superando PEL mercúrio, alfa, delta e gama BHC.

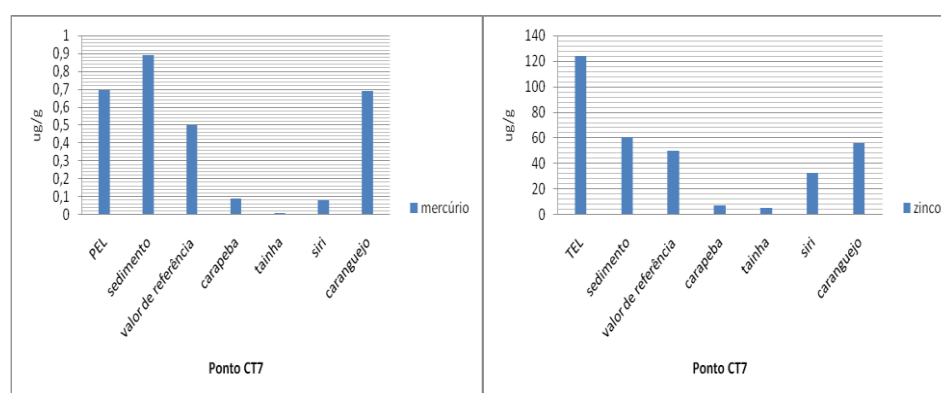


Figura 12. Concentrações de mercúrio e zinco em amostras de sedimento e organismos coletados no rio Santana.

Houve bioacumulação em concentrações acima dos valores recomendados para o consumo humano, apenas dos contaminantes zinco e PCBs totais, em siris e caranguejos coletados no Rio Piabuçu, Canal de São Vicente (Figura 13). O cádmio, mercúrio e níquel estiveram presentes no sedimento em concentrações entre TEL e PEL, não sendo bioacumulados pela biota coletada em concentrações que ultrapassassem os valores de referência. Foram encontrados também BHCs com valores acima de PEL, porém estes não foram analisados para os organismos. Azevedo e Favaro (2009) analisaram amostras de músculo de exemplares de *Cathorops spixii* coletados na área mais interna do estuário de São Vicente entre 2005 e 2006. A concentração encontrada, porém, não ultrapassou o valor máximo recomendado para consumo humano.

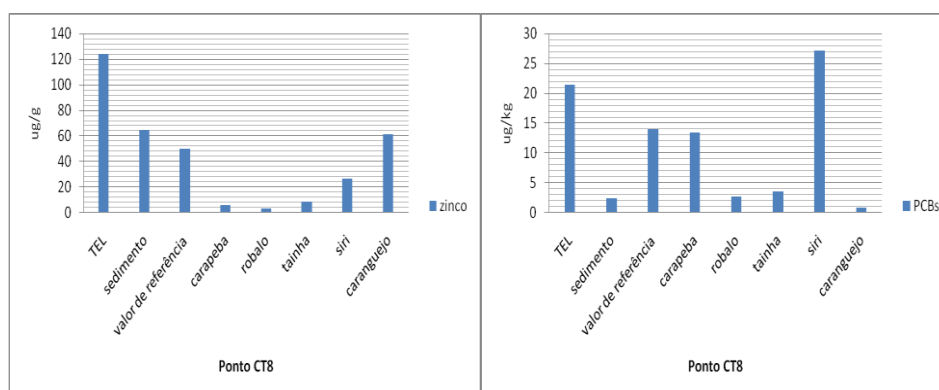


Figura 13. Concentrações de zinco e PCBs em amostras de sedimento e organismos coletados no rio Piaçabuçu.

Na Ponta Grossa da Barra foram analisados quanto à presença de contaminantes os mexilhões e os resultados indicam acumulação acima do valor máximo recomendado para consumo humano, apenas dos PCBs. A análise química do sedimento não mostrou contaminação por nenhum composto em concentrações que ultrapassassem TEL (Figura 14).

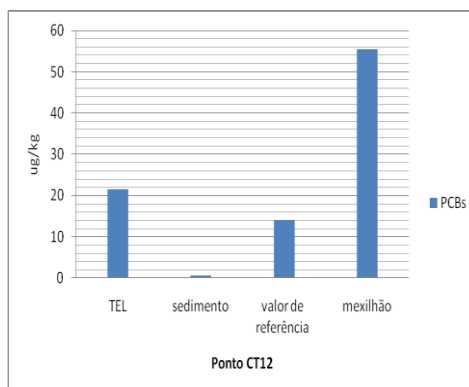


Figura 14. Concentrações de bifenilas policloradas totais encontradas em sedimento e mexilhão coletados na Ponta Grossa da Barra.

As tabelas 1 a 4 sintetizam os resultados para o conjunto de contaminantes levantados, indicando a frequência de amostras em que se detectou alteração e frequência de amostras acima dos critérios e limites utilizados neste estudo. Para as amostras de sedimento, os metais avaliados apresentaram em média frequência

de detecção de 75,61%. Os metais arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco apresentaram valores entre os limites TEL e PEL. Situando-se acima dos limites PEL o chumbo, o cobre, o cromo, o mercúrio, o níquel e o zinco. Nos organismos estudados, todos os metais foram detectados e ultrapassaram em frequências diferentes o limite estabelecido, com exceção ao arsênio que não apresentou valores superiores ao limite recomendado (Tabela 1).

Tabela 1. Número total de amostras levantadas e frequência de detecção para metais pesados e arsênio.

POLUENTES	NÚMERO DE AMOSTRAS									
	ÁGUA			SEDIMENTO				ORGANISMOS		
	FREQUÊNCIA (%)			FREQUÊNCIA (%)				FREQUÊNCIA (%)		
	n	DETECTADO	FORA LIMITES	n	DETECTADO	ACIMA		n	DETECTADO	LIMITES
						TEL	PEL			
arsênio	25	n.d.	0	126	28,57	5,55	0	137	100	0
cádmio		n.d.	0		29,36	15,87	0		92,7	1,45
chumbo		n.d.	0		100	3,17	13,49		94,16	2,18
cobre		n.d.	0		99,2	12,69	1,58		99,25	2,22
cromo		n.d.	0		99,2	3,17	1,58		91,24	0,72
manganês		NA	NA	36	97,22	0	0		95,62	0,72
mercúrio		n.d.	0	126	27,77	11,9	3,96		86,13	0,72
níquel		n.d.	0		99,2	14,28	27,77		91,24	2,18
zinco		36	12		100	3,17	4,76		98,54	17,51

A tabela 2 apresenta o número total de amostras levantadas e frequências de detecção para Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAHs) avaliados. Para as amostras de sedimento houve 94,44% de frequência de detecção para todos os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos avaliados, enquadrando-se todos os compostos entre os limites TEL e PEL e acima dos limites PEL. Os organismos

avaliados apresentaram frequência de detecção para todos os compostos avaliados e valor superior ao limite estabelecido para o composto acenafteno.

Tabela 2. Número total de amostras levantadas e frequências de detecção para Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAHs) avaliados.

POLUENTES	ÁGUA			SEDIMENTO				ORGANISMOS		
	FREQUÊNCIA (%)			FREQUÊNCIA (%)				FREQUÊNCIA (%)		
	n	DETECTADO	FORA LIMITE	n	DETECTADO	ACIMA		n	DETECTADO	ACIMA LIMITE
						TEL	PEL			
Naftaleno	25	0	0	34	94,44	8,82	8,82			
Acenaftileno		0	0		94,44	35,29	17,64	94	100	0
Acenafteno		0	0		94,44	35,29	11,76	120	89,16	2,5
Fluoreno		0	0		94,44	17,64	8,82	129	97,67	0
Fenantreno		0	0		94,44	17,64	11,76	120	98,33	0
Antraceno		0	0		94,44	14,7	11,64	107	100	0
Fluoranteno		0	0		94,44	17,64	8,82	125	100	0
Pireno		0	0		94,44	20,58	8,82	126	98,41	0
Benzo (a)		0	0							
Antraceno					94,44			118	99,15	0
Criseno		0	0		94,44	20,58	14,7	124	98,38	0
Benzo (a) Pireno		0	0		94,44	23,52	14,75	120	96,66	0
Indeno (1,2,3)		0	0							
Pireno					94,44			127	90,55	0
Dibenzo (a,h)		0	0			20,58				
Antraceno					94,44		17,64	120	91,16	0
Benzo (g,h,i)		0	0			23,52				
Perileno					94,44		14,7			

A tabela 3 apresenta o número total de amostras investigadas e a frequência de detecção para compostos fenólicos. Os compostos avaliados apresentaram frequência de detecção para amostras de sedimento em 100%, sem apresentar valores superiores aos Limites TEL e PEL. Os organismos apresentaram uma frequência média de 62,69% de detecção destes compostos em suas estruturas, mas sem ultrapassar os limites recomendados.

Tabela 3. Número total de amostras investigadas e frequências de detecção para Compostos Fenólicos.

POLUENTES	SEDIMENTO				ORGANISMOS		
	FREQUÊNCIA (%)				FREQUÊNCIA (%)		
	n	DETECTADO	ACIMA		n	DETECTADO	ACIMA LIMITES
			TEL	PEL			
2,4-dimetil fenol	34	100	0	0	128	77,34	0
fenol		100	0	0	143	79,72	0
2-metil fenol		100	0	0	133	75,78	0
3-metil fenol		100	0	0	131	23,6	0
4-metil fenol		100	0	0	122	73,77	0
2-clorofenol		100	0	0	5	60	0
fenóis totais		100	0	0	80	48,65	0

A tabela 4 apresenta a frequência de detecção para as bifelinas policloradas totais no sedimento e organismos avaliados. As bifelinas policloradas totais avaliadas apresentaram frequência de detecção de 27,2% para as amostras de sedimento, sendo que 1,6% estavam entre os limites TEL e PEL, mas nos organismos a frequência de detecção foi em 96% das amostras sendo que destas 19,2 % estavam acima dos limites recomendados.

Tabela 4. Número total de amostras avaliadas e frequências de detecção para bifelinas policloradas totais.

POLUENTE	ÁGUA			SEDIMENTO				ORGANISMOS		
	FREQUÊNCIA (%)			FREQUÊNCIA (%)				FREQUÊNCIA (%)		
	n	DETECTADO	ACIMA Limites	n	DETECTADO	ACIMA		n	DETECTADO	ACIMA LIMITES
Bifelinas policloradas totais	30	0	0	125	27,2	TEL	PEL	125	96	19,2

Considerações finais

Dos metais considerados, todos detectados em sedimento também o foram na biota. Metais como mercúrio, arsênio e cádmio apresentaram frequência relativa de detecção na biota superior à do sedimento. Zinco apresentou frequência semelhante de detecção em sedimento e organismos, mas proporcionalmente uma maior frequência de detecção de concentrações acima dos limites recomendados para organismos.

Nos organismos avaliados a frequência de detecção para bifenilas policloradas foi de 96% dos indivíduos sendo que destes 19,2 % apresentavam concentrações acima dos limites recomendados.

Os contaminantes mais frequentemente acumulados em organismos foram o Zinco e os PCBs.

Para a classe de poluentes dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, as frequências de detecção entre sedimento e biota são similares, não havendo, entretanto ocorrência de indivíduos apresentando concentrações de qualquer um dos contaminantes da classe dos HPAs acima do recomendado. Os compostos fenólicos apresentam frequência de detecção maior em amostras de sedimento do que na biota. Não houve caso de acumulação em organismos acima de limites recomendados.

Os metais chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco e os HPAs acenaftileno, benzopireno, criseno, fluoranteno, fluoreno, naftaleno e pireno ultrapassaram para

sedimento o nível TEL (Resolução CONAMA 344/04) principalmente na área mais interna do estuário.

Referências

ARAÚJO, R. P. de A. **Teste de toxicidade como instrumento na avaliação dos sedimentos de água doce do Estado de São Paulo**. 2005. Tese (Doutorado) – Departamento de Ecologia: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 2005.

AZEVEDO, J.S.; et al. Use of *Cathorops spixii* as bioindicator of pollution of trace metals in the Santos Bay, **Brazil**. *Ecotoxicology*, v. 18, p. 577-586, 2009.

BEVILACQUA, J.E.; et al. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do Rio Tietê, São Paulo. *Química Nova*, v. 32, n. 1, p. 26-33, 2009.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO. **Sistema Estuarino de Santos e São Vicente**. São Paulo: CETESB, 2001.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 344, de 25 de março de 2004**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/emergencias/wp-content/files/RESOLUÇÃO%20Nº%20344-04.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2009.

EMBRAPORT. **Relatório de Impacto Ambiental do Terminal Portuário Embraport**. 2003.

ENVIRONMENT CANADA. **Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life**. Summary Tables 1999a. Disponível em: <<http://www.ec.gc.ca>>.

ENVIRONMENT CANADA. **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life**. Summary Tables 1999b. Disponível em: <<http://www.ec.gc.ca>>.

FLYNN, Maurea Nicoletti. et al. Processo de Bioacumulação na área estuarina de Santos e São Vicente, São Paulo. **RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 2, p. 36-58, jun. 2011.

HORTELLANI, M. A. et al. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do estuário Santos - São Vicente. **Química Nova**, v. 31, n. 1, p. 10-19, 2008.

LUIZ-SILVA, W.R.H.R.; KRISTOSCH, W. Variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos traço em sedimentos do Sistema estuarino Santos-Cubatão, SP. **Química Nova**, v. 29, n. 2, 2006.

MÄENPÄÄ, K. **The toxicity of xenobiotics in an aquatic environment: connecting body residues with adverse effects**. 2007. Academic Dissertation – Faculdade de Biosciências da Universidade de Joensuu. 2007.

SIQUEIRA W.G., et al. Distribuição do mercúrio em sedimentos de fundo no Estuário de Santos – SP/Brasil. **Revista Escola Minas**, v. 58, p. 309-316, 2005.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories**. v. 2. Risk Assessment and Fish Consumption Limits. 2th ed. Office of Water, Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1997b.

VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P. Heavy metals content investigation in blue crab species of the genus *Callinectes* sp. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, 2008.