
Distribuição dos metais traços em sedimentos de fundo do sistema hidrográfico da região de Belém, PA (margem oeste da baía do Guajará e rio Carnapijó)

Elma Costa Oliveira^{1,*}
Jean Michel Lafon¹
José Augusto Martins Corrêa¹
Jully Hellen dos Santos Carvalho²
Fabiana Ferrari Dias³
Maria Helena Tirolo Taddei³

¹Instituto de Geociências
Universidade Federal do Pará CP 8608,
Belém - PA, Brasil
66075-110

²Instituto Federal do Maranhão
,Estrada de Pacas, km 4 nº05, Enseada
Campus Pinheiro, MA,
65200 - 000.

³Comissão Nacional de Energia Nuclear,
Laboratório de Poços de Caldas,
Rod. Poços de Caldas-Andradas km 13,
Poços de Caldas - MG, Brasil
37701-970

* ecoliveira2002@yahoo.com.br

Resumo

Um estudo granulométrico, mineralógico e geoquímico dos sedimentos de fundo da margem oeste da baía do Guajará e do rio Carnapijó foi realizado para contribuir no monitoramento da degradação ambiental gradativa do sistema estuarino da região de Belém, Pará, provocada pelo lançamento de resíduos domésticos e industriais da cidade de Belém. Os sedimentos apresentam homogeneidade mineralógica. A composição textural varia de areia a areia siltica e reflete condições hidrodinâmicas muito altas. Uma datação pelo método ²¹⁰Pb indica uma taxa de sedimentação em torno de 0,7 cm.ano⁻¹ para a margem oeste da baía do Guajará. Os teores de metais traço na fração fina dos sedimentos da margem oeste da baía do Guajará e do rio Carnapijó indicam que ainda não há contribuição antropogênica expressiva nas concentrações de Cu, Cr, Ni e Zn para esses setores do sistema hidrográfico de Belém, porém sugerem um processo incipiente de ação antrópica no caso do Pb. As concentrações trocáveis de Cu, Cr, Ni, Pb e Zn abaixo do valor de referência *TEL* indicam que os metais não causam efeitos danosos a biota. A comparação com os teores dos mesmos metais nos sedimentos da orla de Belém aponta para uma contribuição maior, nesses últimos, dos efluentes domésticos e rejeitos industriais para Pb e Ni, seguido pelo Cr e praticamente inexistente para o Cu e Zn. O estudo indica que os sedimentos de fundo do rio Carnapijó são adequados para serem utilizados como *background* do sistema estuarino de Belém em estudos futuros de avaliação geoquímica. Palavras chave: sedimento de fundo, metais traços, estuário

Abstract

A granulometric, mineralogical and geochemical study was carried out on bottom sediments of the western margin of the Guajará bay and Carnapijô River in order to evaluate the gradual environmental degradation of the estuarine system in the region of Belém, State of Pará. Sediments display mineralogical homogeneity and their sand to silty sand textural composition reflects very high hydrodynamic conditions. ²¹⁰Pb dating furnished a rate around 0.7 cm.year⁻¹ for the sedimentation at the western margin of Guajará bay. The trace metal contents in the fine fraction indicate that there are no significant anthropogenic contribution for Cu, Cr, Ni and Zn in the sediments from these sectors of the hydrographic system of Belém. However, the Pb contents suggest a weak anthropic action for this metal. The concentrations of Cu, Cr, Ni, Pb and Zn in the exchangeable fraction below the Threshold Effect Level (*TEL*) indicate that the metals do not offer risk to the local biota. Comparison between the studied sediments and those of the riverside of Belém point to a higher contribution in the latter from domestic sewage and industrial waste for Pb and Ni, followed by Cr and virtually nonexistent for Cu and Zn. The study indicates that the sediments of the Carnapijô River are suitable for use as *background* of the estuarine system of Belém in future geochemical studies. Key words: Bottom sediments, trace metals, estuary

1. Introdução

A poluição dos sedimentos de fundo por metais traços está intimamente ligada com a poluição das águas e tem origem em diversas fontes, dentre as quais se destacam fontes pontuais (esgotos e efluentes urbanos, rejeitos industriais, etc.) e fontes difusas (aerossóis industriais, cargas difusas urbana e agrícola, etc.). A situação é mais crítica nos ambientes estuarinos em que existem atividades portuárias, depósitos de resíduos industriais e urbanos (Hortellani et al., 2008; Shi et al., 2010; Brady et al., 2014; Chakraborty et al., 2014).

O crescimento urbano, desordenado na região metropolitana de Belém nos últimos anos, tem se refletido diretamente na qualidade das águas e sedimentos do rio Guamá e da baía do Guajará, elementos hidrológicos de maior extensão do sistema hidrográfico desta região. A baía do Guajará vem sofrendo uma degradação ambiental que tem aumentado gradativamente, devido ao acelerado processo de adensamento populacional e industrial do município de Belém, através do lançamento de resíduos líquidos domésticos e industriais, sem um tratamento prévio, provocando danos aos organismos (IDESP, 1990). Por outro lado, os estuários têm geralmente uma intensa hidrodinâmica e conseqüentemente uma grande capacidade de diluição dos poluentes. A baía do Guajará forma-se na confluência dos rios Acará e Guamá, a oeste da cidade de Belém e prolonga-se até próximo da ilha de Mosqueiro, onde se encontra com a baía do Marajó, que constitui junto com o rio Pará o sistema estuarino do sul na foz do rio Amazonas (sistema estuarino rio Pará - baía do Marajó). Numerosas ilhas e canais compõem a margem esquerda da baía do Guajará, que separa a baía do rio Pará, sendo a maior a ilha das Onças e um conjunto de ilhas menores. A interação entre as correntes fluviais, marés e regime de ondas conferem ao ambiente condições hidrodinâmicas de alta energia (Gregório & Mendes, 2009). A dinâmica das águas, as variações sazonais extremas são fatores importantes que influenciam na concentração do material em suspensão e na complexidade dos processos de sedimentação (Gregório & Mendes, 2009).

A área de estudo inclui a margem ocidental da baía do Guajará entre os paralelos 01°10' - 01°33'S e 48°38' - 48°15'O, englobando as ilhas das Onças, Jararaca, Jararaquinha, Mirim, Paquetá Açu e, a oeste das ilhas, o rio Carnapijó (figura 1). Na região o clima é quente e úmido com chuvas freqüentes pela tarde e noite, principalmente nos quatros primeiros meses do ano, com uma umidade do ar com média anual em torno de 87%. A área se

caracteriza por unidades geológicas dos períodos Neógeno e Quaternário. Fazem parte deste contexto sedimentos neógenos da Formação Barreiras, sedimentos Pós-Barreiras do Quaternário e sedimentos holocênicos. Os depósitos da Formação Barreiras são constituídos por sedimentos continentais incluindo argilitos (com estruturas vegetais), arenitos e conglomerados com arenitos ferruginizados pouco consolidados (Rosseti, 2001). A margem leste da baía possui zonas topograficamente mais baixas e os baixos teores de argila nos sedimentos comprovam que a baía do Guajará apresenta um regime hidrodinâmico mais energético (Gregório & Mendes, 2009).

Vários estudos geoquímicos em sedimentos de fundo foram realizados na baía do Guajará e no rio Guamá na região metropolitana de Belém para investigar a acumulação de metais pesados. O estudo da distribuição dos metais Cu, Cr, Ni, Pb e Zn em sedimentos de fundo de diversos setores da margem leste da baía do Guajará, ao longo da orla de Belém indicaram como a principal fonte antropogênica desses metais os canais que drenam o esgoto doméstico *in natura* gerado pela cidade (Carvalho, 2002; Corrêa & Pereira, 2002). Esses resultados confirmaram estudos pioneiros realizados nos canais de drenagem da cidade de Belém (Mazzeo, 1991; Oliveira, 1997), mostrando a influência antropogênica nos sedimentos da baía do Guajará, na orla de Belém.

Em sedimentos de fundo das ilhas que compõem a margem oeste da baía do Guajará, os estudos preliminares da distribuição dos metais Cu, Cr, Ni, Pb e Zn, apresentaram valores similares aqueles encontrados em outras áreas na baía sugerindo uma influência antropogênica para o Pb, Cr e o Ni e nenhuma influência para o Cu e o Zn (Saraiva, 2007). Na margem esquerda do rio Guamá, a sul da cidade os teores de Cu, Cr, Pb e Ni dos sedimentos de fundo diminuem em direção a jusante (Nascimento, 2007; Santos et al., 2012). Essa tendência é mais evidente para o Cr e foi interpretada como resultante do efeito conjugado do fluxo natural do rio com a maré, portanto sem influência antrópica. Na margem direita do rio Guamá os teores destes metais não diferem daqueles encontrados na margem esquerda e apresentam também uma diminuição em direção à baía do Guajará. Entretanto, variações expressivas de teores de metais foram encontradas localmente na margem direita próximo à confluência com o canal que drena o aterro sanitário do Aurá, principal depósito de lixo da região de Belém. Paralelamente, Santos et al., (2012) apresentaram

os primeiros dados sobre taxas de sedimentação com valores de $0,7 \text{ cm.ano}^{-1}$ para sedimentos na baía do Guajará e de $0,59$ e $0,56 \text{ cm.ano}^{-1}$ para sedimentos do rio Guamá.

As assinaturas isotópicas de Pb, determinadas em sedimentos de fundo de diversos setores do sistema hidrográfico de Belém, também apontaram para uma influência antropogênica na acumulação deste metal (Moura et al., 2004; Santos et al., 2012).

Em síntese, os teores dos metais obtidos em sedimentos de fundo da baía do Guajará e do rio Guamá mostraram que os valores mais elevados dos metais estão localizados na porção norte da orla de Belém, na margem leste da baía e, localmente, na margem direita do rio Guamá, próximo à desembocadura do canal do Aurá, sugerindo que as fontes antropogênicas dos metais estão ligadas aos canais que conduzem esgoto *in natura* para a baía

e para o rio Guamá. Uma investigação mais ampla na baía do Guajará é sem dúvida necessária para verificar qual o nível de contaminação da baía como um todo considerando o forte crescimento populacional. O objetivo deste estudo é realizar uma avaliação da distribuição de metais pesados (Cu, Cr, Ni, Pb e Zn) na margem oeste da baía do Guajará e no rio Carnapijô, uma área mais afastada da influência da cidade de Belém, e avaliar a extensão da influência antropogênica sobre a qualidade dos sedimentos estuarinos.

Em complemento, o estudo visa também caracterizar os sedimentos de fundo em termo granulométrico e mineralógico, sugerir valores de *background* bem como trazer uma nova determinação da taxa de sedimentação para municiar futuros estudos geoquímicos nesses sedimentos.

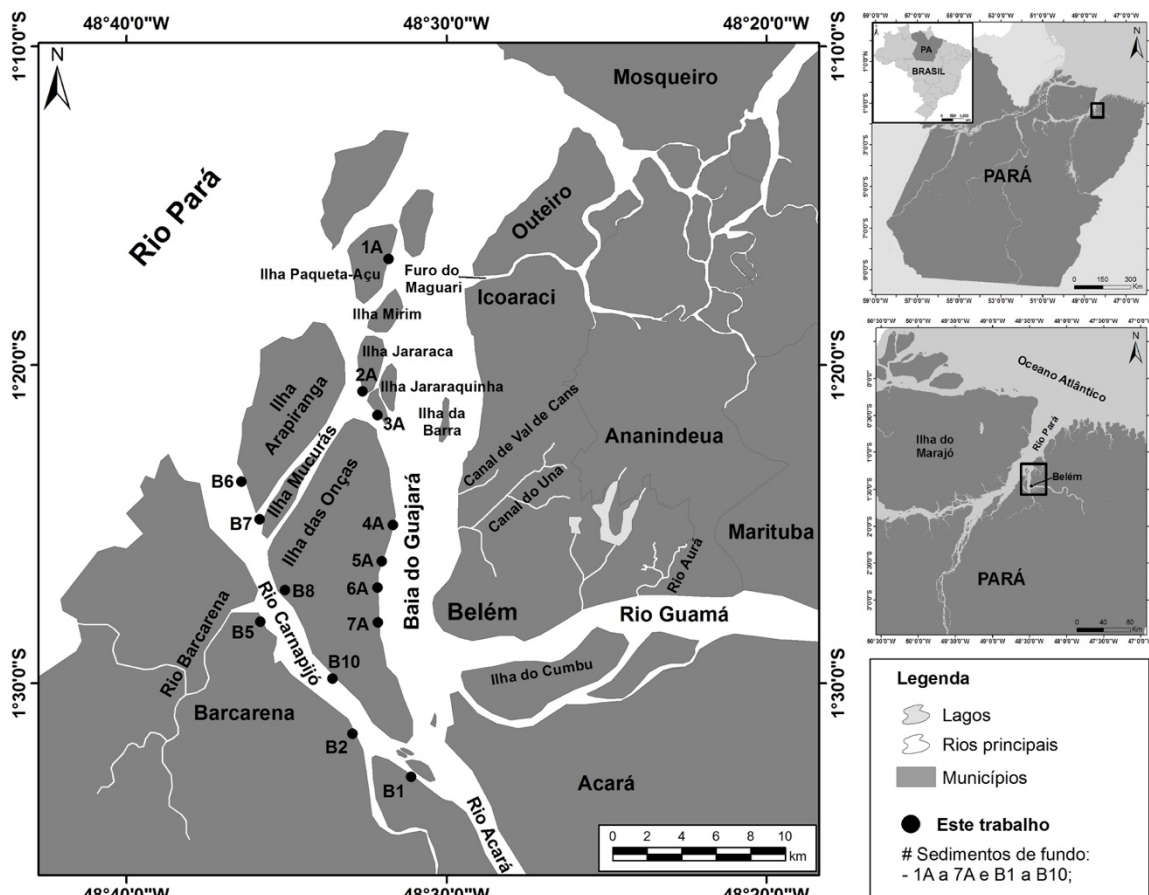


Figura 1- Mapa de localização das áreas estudadas com os pontos amostrados (Pinheiro, 1987, modificado).

2. Materiais e métodos

Foram coletadas 13 amostras de sedimento de fundo com testemunhador tipo *Russian Peat Borer* e uma amostra (amostra B5) com draga de *Petersen* correspondendo respectivamente, aos 10 e 5 cm da camada superficial dos sedimentos de fundo. Sete pontos foram amostrados, na margem oeste da baía do Guajará (amostras 1A a 7A), seis no rio Carnapijó (amostras B2 a B10) e uma amostra (amostra B1) na confluência com os rios Acará, Carnapijó e baía do Guajará. Essas amostras foram armazenadas em saco *zip lock*, posteriormente secas em estufa a 50 °C e desagregadas em gral de ágata. As amostras foram desagregadas e peneiradas a úmido utilizando uma peneira de aço inox de 63 µm (250 mesh) para obter a fração fina (silte + argila) dos sedimentos.

A análise granulométrica da fração total foi realizada com o auxílio de um analisador de tamanho de partículas por difração a laser (Laser Diffraction, SALD 2101 - Shimadzu) no Laboratório de Oceanografia do Instituto de Geociências da UFPA.

A análise mineralógica da fração argila das amostras de sedimento de fundo foi realizada por difração de raios-X pelo método do pó, no Laboratório de Caracterização de Minerais do Instituto de Geociências da UFPA, utilizando um difratômetro de marca Panalytical, modelo X-PERT PRO MDP (PW 3040/60). As amostras analisadas foram secas em temperatura ambiente (Orientada - OR), submetidas a uma atmosfera de etileno glicol por 24 horas (Glicolada - GL) e aquecidas à 550°C por 1 hora (Aquecida - AQ), seguindo o procedimento proposto por Reynolds & Moore (1992). A identificação dos minerais foi realizada com o auxílio do programa X-PERT Highscore 2.1B.

Para a determinação do percentual de matéria orgânica nos sedimentos, inicialmente foi determinado o carbono orgânico (CO) e realizado um cálculo da matéria orgânica pelo método proposto por Loring & Rantala (1992).

As concentrações total e parcial dos metais, Fe e Al na fração fina foram determinadas em laboratório comercial. O procedimento padrão utilizado para a dissolução total consiste em dissolver 0,25 g de amostra com uma combinação de ácidos concentrados HF-HNO₃-HClO₄-HCl, para posterior análise por espectrometria de massa ICP-MS. Para a concentração parcial (fração trocável) o procedimento padrão consistiu na lixiviação de 0,5 g de amostra com uma combinação de ácidos concentrados na proporção 1:3 de HNO₃-HCl, para posterior análise por espectrometria de massa ICP-MS. Durante as

análises químicas, o procedimento de controle de qualidade analítica deste laboratório incluiu a análise em duplicatas de amostras (amostra 2A) e de material de referência STD OREAS 24P e STD OREAS 45PA (*in house standard*), os limites de detecção das análises totais e parciais dos elementos foram de 0,1 mg kg⁻¹ para Cu, Ni e Pb, de 1 mg kg⁻¹ para Cr e Zn e de 0,01 %peso para Fe e Al. Detalhes sobre os procedimentos estão disponíveis *online* no site do laboratório (www.acmelab.com).

Para estabelecer possíveis associações entre as concentrações totais dos metais traços e com teores de Al, Fe e Matéria orgânica, matrizes de correlação foram calculadas a partir do aplicativo Estatística[®] versão 7.0. A avaliação dos resultados estatísticos foi realizada com base no cálculo dos coeficientes de correlação de Pearson, considerando intervalos para forte correlação (0,8 ≤ R ≤ 1), correlações moderadas (0,5 ≤ R ≤ 0,8) e ausência de correlação (0 ≤ R ≤ 0,5).

Com o intuito de avaliar o nível de contribuição antropogênica dos metais pesados nos sedimentos de fundo das duas áreas alvo, foram avaliados três índices de contaminação, são eles o fator de enriquecimento (Covelli & Fontolan, 1997), fator de contaminação e o índice de geoacumulação. Os valores de *background* escolhidos para o cálculo desses fatores, foram as médias de concentrações de metais dos sedimentos de fundo da margem esquerda do rio Guamá, considerada isenta de influência antrópica (Nascimento, 2007; Santos et al. 2012).

O fator de enriquecimento (FE) foi calculado de acordo com a equação 1, tendo o Al como elemento normalizador (Hortellani et al., 2008):

$$FE = \frac{[Metal/Al(\%)]_{amostra}}{[Metal/Al(\%)]_{background}} \quad (1)$$

Valores de FE inferior a 1,5 - 2 são consideradas contribuições naturais e valores de FE acima desses limites envolvem contribuições antropogênicas (Zhan & Liu, 2002; Feng et al., 2004; Sposito, 2008).

O fator de contaminação (FC) que segundo Hakanson (1980), expressa o nível de contaminação de cada metal no sedimento foi calculado utilizando-se a equação 2:

$$FC = \frac{Concentração\ do\ metal\ no\ sedimento}{background\ do\ metal\ na\ região} \quad (2)$$

O valor do “background do metal” indica a concentração do metal de interesse no sedimento, sem interferência antropogênica. Um valor de FC < 1 indica inexistente a baixa contaminação, 1 ≤ FC ≤ 3 indica uma contaminação moderada, 3 ≤ FC ≤ 6 indica uma considerável contaminação e para FC > 6, a contaminação é muito elevada.

O índice de geoacumulação também foi utilizado para determinar o nível de contaminação do sedimento de fundo da área estudada, o índice de geoacumulação (I_{geo}) proposto por Müller (1969), foi calculado utilizando a seguinte equação

$$I_{geo} = \frac{\log_2 C_n}{1,5 B_n} \quad (3)$$

Onde o C_n é a concentração medida do elemento ‘n’ no sedimento e B_n é o valor do background do elemento “n” no sedimento sem interferência antropogênica. O fator 1,5 é introduzido na equação para minimizar as diferenças no background devido às variações litológicas. Os níveis do índice de geoacumulação foram estabelecidos na tabela 3:

Tabela 1 – Valores do Índice de Geoacumulação (I_{geo}) e nível de contaminação

Classe	Índice de Geoacumulação (I_{geo})	Nível de Contaminação
0	$I_{geo} < 0$	Não poluído
1	$0 < I_{geo} < 1$	Não poluído a poluído
2	$1 < I_{geo} < 2$	Moderadamente poluído
3	$2 < I_{geo} < 3$	Moderadamente a fortemente
4	$3 < I_{geo} < 4$	Fortemente poluído
5	$4 < I_{geo} < 5$	Fortemente a extremamente
6	$I_{geo} > 5$	Extremamente poluído

A contaminação dos sedimentos de fundo pode ser quantificada pela avaliação dos índices de contaminação calculados a partir de valores de background ou de referência. Entretanto, esses valores não são os mais apropriados na avaliação de riscos ecológicos. Um protocolo canadense estabeleceu dois critérios orientativos de qualidade de ecossistemas aquáticos a partir da quantificação das substâncias químicas em sedimentos de fundo. O primeiro para identificar concentrações abaixo das quais efeitos adversos à biota são improváveis, denominado de TEL (*Threshold Effect Level*) e o segundo para concentrações acima das quais efeitos adversos à biota são prováveis de ocorrer, denominado de PEL (*Probable Effect Level*). Esse protocolo gerou um guia de qualidade de sedimentos (SQG) como indicadores de qualidade e foi adotado no Brasil em 2004, para a avaliação de qualidade de sedimentos, quando o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou a resolução CONAMA nº 344/2004, que estabeleceu as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras.

3. RESULTADOS

3.1. Análise granulométrica e composição mineralógica da fração argila.

As amostras de sedimentos de fundo da margem oeste da baía do Guajará apresentaram uma característica similar em relação ao baixo teor de argila que não ultrapassa 5,0% (figura 2). As amostras apresentam alto teor de areia (61,4 a

Em um ponto da baía do Guajará (ponto 1A - ilha Paquetá Açú) um testemunho foi duplicado para ser destinado à análise geocronológica pelo método ^{210}Pb . Esse testemunho (amostra 1B) foi retirado do testemunhador e transferido para uma calha de PVC de 50 cm de comprimento e 50 mm de diâmetro. Para a análise de ^{210}Pb foi realizado um fatiamento do testemunho de 3 em 3 cm *in situ* e as fatias foram transferidas para uma marmita de alumínio para posterior secagem e análise. As análises de ^{210}Pb e ^{226}Ra foram realizadas no Laboratório da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN - LAPOC) em Poços de Caldas, MG. As atividades de ^{210}Pb e ^{226}Ra foram determinadas por espectrometria gama, com um Sistema de Espectrometria Gama, de marca Canberra HPGe Modelo GX4519 (eficiência relativa de 45%) e software Genie 2000 (versão 3.1) de análise espectral. Os procedimentos experimentais foram descritos detalhadamente em Cazotti (2003). Para o cálculo da idade e da taxa de acumulação, foi utilizado o modelo CRS (fluxo constante).

71,5%), porém as amostras localizadas mais a sul da baía, na margem da ilha das Onças (6A e 7A) apresentaram um teor de areia menor que as demais amostras (44,6 e 48,5%).

No rio Carnapijó, as amostras de sedimentos apresentaram uma percentagem de areia similar aos sedimentos da baía (60,2 a 68,1%), porém as amostras B5, B6 e, sobretudo, B2

apresentam maior teor de areia de até 98,9%, bem superior às demais amostras. Excetuando-se a amostra B2, as outras amostras possuem teores de argila similares às amostras da baía

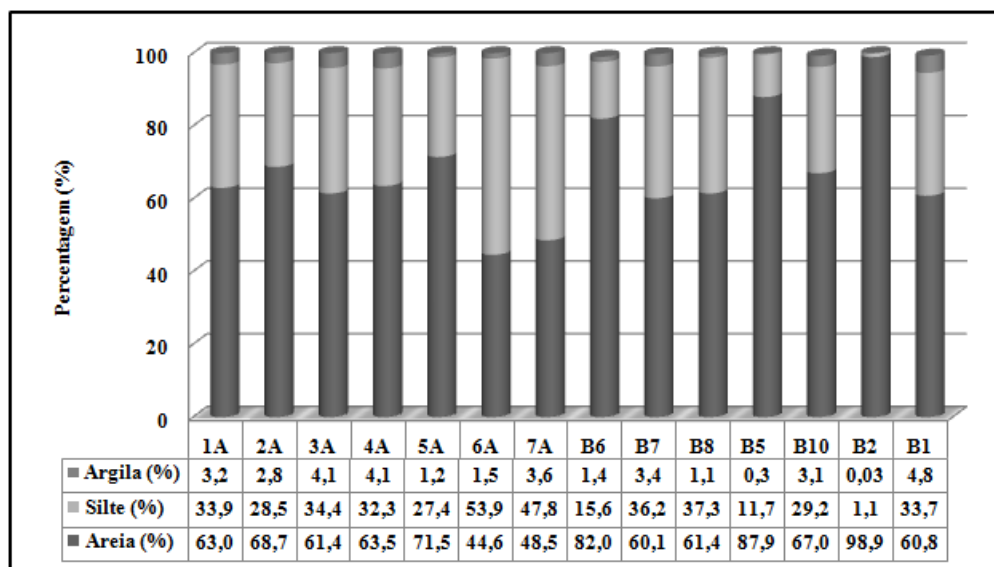


Figura 2 - Distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo da margem oeste da baía do Guajará e do rio Carnapijó

De acordo com a classificação textural no diagrama de Shepard (1954), as amostras da margem oeste da baía do Guajará apresentaram uma textura arenosa (amostras 1A, 2A, 3A, 4A e 5A) e de areia siltíca para as amostras localizadas mais a sul na baía (amostras 6A e 7A) (figura 3a). No rio Carnapijó, as amostras apresentaram uma textura similar aos sedimentos da baía, com textura arenosa para as amostras B2, B5 e B6 e areia siltíca para as amostras B1, B7, B8 e B10 (figura 3b). Para

ambas as áreas os sedimentos revelam um regime hidrodinâmico muito alto (figura 3c e d).

A natureza mineralógica da fração argila das amostras de sedimentos de fundo da margem oeste da baía do Guajará (1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A e 7A) e do rio Carnapijó (B2, B5, B6, B7, B8, B10 e B1) apresentaram semelhança com predominância dos argilominerais caulinita, esmectita e ilita, como ilustrado na figura 4.

3.2. Teores de Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Al, Fe e matéria orgânica

Os resultados das concentrações totais e parciais obtidas para os metais traços e dos teores de Al, Fe e matéria orgânica nas amostras de sedimentos de fundo da margem oeste da baía do Guajará e do rio Carnapijó são apresentados junto com os valores médios da baía do Guajará, rio Guamá obtidos em estudos anteriores (tabela 2) e ilustrados na figura 5.

Para os sedimentos da margem oeste da baía do Guajará, as concentrações totais de metais traços são relativamente homogêneas de uma amostra para outra e seguem a mesma ordem de abundância com Zn (valor médio de $69,3 \pm 15,4$ mg kg⁻¹), Cr (valor médio de $55,6 \pm 17,4$ mg kg⁻¹), Pb, Cu e Ni tendo valores médio similares de $25,3 \pm 5,4$ mg kg⁻¹, $22,4 \pm 5,5$ mg kg⁻¹ e $19,8 \pm 6,6$ mg kg⁻¹, respectivamente. Nos sedimentos do rio Carnapijó,

a situação se repete e as concentrações totais de metais traços estão na mesma ordem de grandeza daquelas dos sedimentos da margem oeste da baía. Novamente, Zn apresenta os mais altos teores (valor médio de $65,2 \pm 9,3$ mg kg⁻¹), seguido pelo Cr (valor médio de $51,3 \pm 11,9$ mg kg⁻¹) e pelos Ni, Pb e Cu (valores médios de $20,1 \pm 5,6$ mg kg⁻¹, $19,6 \pm 3,8$ mg kg⁻¹ e $16,5 \pm 3,7$ mg kg⁻¹, respectivamente). A amostra B1 da confluência com os rios Carnapijó, Acará e baía do Guajará apresentou um comportamento um pouco diferente das outras amostras, com teores mais elevados em todos os metais traços.

As concentrações parciais não apresentam diferenças expressivas para todos os metais traços

entre as amostras das duas áreas investigadas. A relação entre abundâncias totais e parciais também não apresentam variações expressivas entre os sedimentos da margem oeste da baía e do rio Carnapijô. Somente as amostras 1A (ilha Paquetá-Açu) e 2A (ilha Jararaca) possuem uma proporção maior de metais traços na fração trocável em relação à concentração total quando comparada às outras amostras da margem oeste da baía. Em todas as amostras, o cromo se destaca com uma concentração parcial representando apenas 40% da concentração total enquanto que para os outros metais traços, a concentração parcial é sempre superior a 60% da concentração total.

O Al e o Fe não apresentaram diferenças significativas entre os sedimentos dos dois setores estudados, com valores médios respectivos de 4,9 e 3,1% para os sedimentos da margem oeste da baía do Guajará e de 4,3 e 3,2% para os sedimentos do rio Carnapijô. Novamente, a amostra da confluência com o rio Acará (amostra B1) apresentou os maiores valores para esses elementos (7,1 e 6,0%).

A matéria orgânica apresentou valor médio na margem oeste da baía do Guajará de 3,9 %-peso, com maiores teores as amostras 2A e 6A com 5,2 e 5 %-peso. No rio Carnapijô foi encontrada uma

3.3. Análise geocronológica de ^{210}Pb

A análise geocronológica pelo método ^{210}Pb de fatias de testemunho de sedimento de fundo da ilha Paquetá Açu (1B) permitiu determinar taxa de sedimentação de $0,7 \text{ cm.ano}^{-1}$ com um registro de 47 anos (tabela 6). Como o

abundância média de 1 %-peso, com teores máximos e mínimos de 1,5 e 0,8 %-peso para as amostras B1 e B5, valor bem mais baixo que o obtido nos sedimentos da baía (tabela 2).

Na margem oeste da baía do Guajará, os metais traços apresentaram excelentes correlações entre eles variando de 0,87 a 0,99, assim como com o Al e o Fe (tabela 3). Por outro lado, os metais traços não apresentaram nenhuma correlação com a matéria orgânica. No rio Carnapijô observa-se uma forte correlação entre os metais traços e dos metais traços com o Al e Fe. A matéria orgânica apresentou uma correlação moderada à forte com os metais pesados (tabela 4).

Os valores do fator de enriquecimento (FE) encontrados nos sedimentos da margem oeste da baía do Guajará e do rio Carnapijô ficaram abaixo de 2,0 em ambas as áreas, excetuando a amostra 7A que apresentou um valor de 2,2 para o Cu, como mostra a tabela 5. Os valores obtidos para o fator de contaminação (FC) ficaram respectivamente entre 0,6 e 2,5 e 0,8 a 2,3 para os sedimentos da margem oeste da baía e do rio Carnapijô, com maiores valores para o Cu e o Ni. O índice de geoacumulação, por sua vez, foi sempre menor que 1 em todas as amostras das duas áreas.

4. DISCUSSÃO

4.1 - Características dos sedimentos e taxa de sedimentação

Os sedimentos de fundo da margem oeste da baía do Guajará e no rio Carnapijô apresentaram variação de arenosos a areia siltica. Essa granulação reflete condições hidrodinâmicas muito altas indicando que estes sedimentos sofrem ação direta das correntes fluviais e de maré, possibilitando também a atuação de processos erosivos. Na fração argila de todas as amostras houve a predominância dos argilominerais esmectita, illita e caulinita em ambos os setores, corroborando trabalhos anteriores e demonstrando certa homogeneidade mineralógica dos sedimentos desse setor do sistema estuarino rio Pará - baía do

testemunho foi coletado em março de 2009, o registro começa no ano de 1962, quando a cidade de Belém tinha uma população em torno de 360.000,00 habitantes (Penteado, 1968)

Marajó (Corrêa & Pereira, 2000; Santos et al., 2012).

A taxa de sedimentação de $0,7 \text{ cm.ano}^{-1}$ com um registro de 47 anos determinada para o testemunho de sedimento de fundo da ilha Paquetá Açu (1B) na porção norte da margem oeste da baía do Guajará confirma a taxa de $0,7 \text{ cm.ano}^{-1}$ com registro histórico de 43 anos, encontrada um pouco mais a sul para sedimentos de fundo da ilha Jararaquinha (Santos et al., 2012). Essa semelhança indica uma homogeneidade das taxas de sedimentação na margem oeste da baía do Guajará. Essa taxa de sedimentação é superior a taxa de sedimentação do rio Guamá, para o qual valores de

0,59 e de 0,56 $\text{cm}\cdot\text{ano}^{-1}$ foram determinados (Santos et al., 2012), retratando as diferenças de regime hidrodinâmico entre esses dois corpos d'água do sistema hidrográfico de Belém. Essas

taxas estão dentro da faixa de valores encontrados em outros estuários de rios brasileiros (Lima et al., 2011; Nery & Bonotto, 2011).

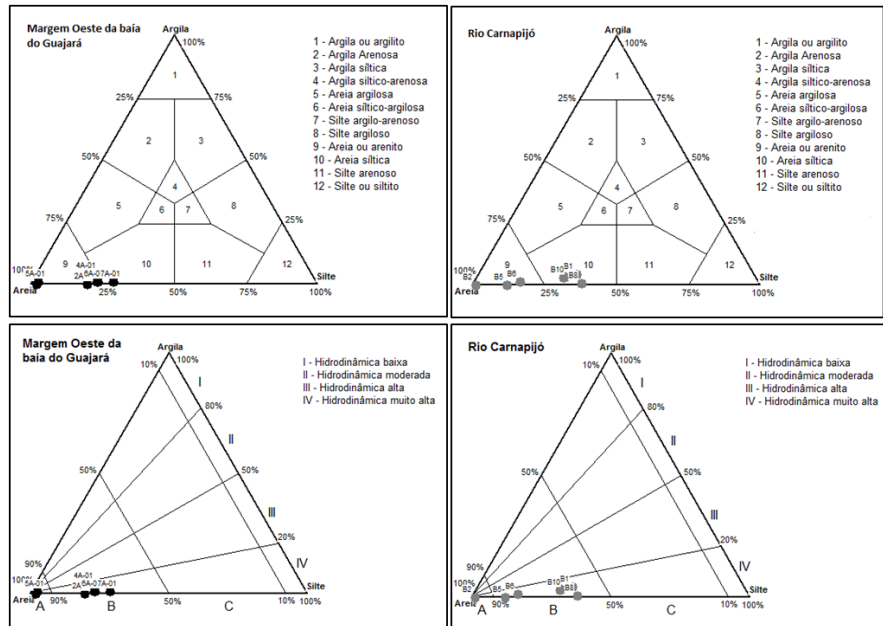


Figura 3 - Classificação textural e regime hidrodinâmico para os sedimentos de fundo da margem oeste da baía do Guajará e do rio Carnapijó. a e b: diagramas de Shepard (1954); c e d: diagramas de Pejrup (1988).

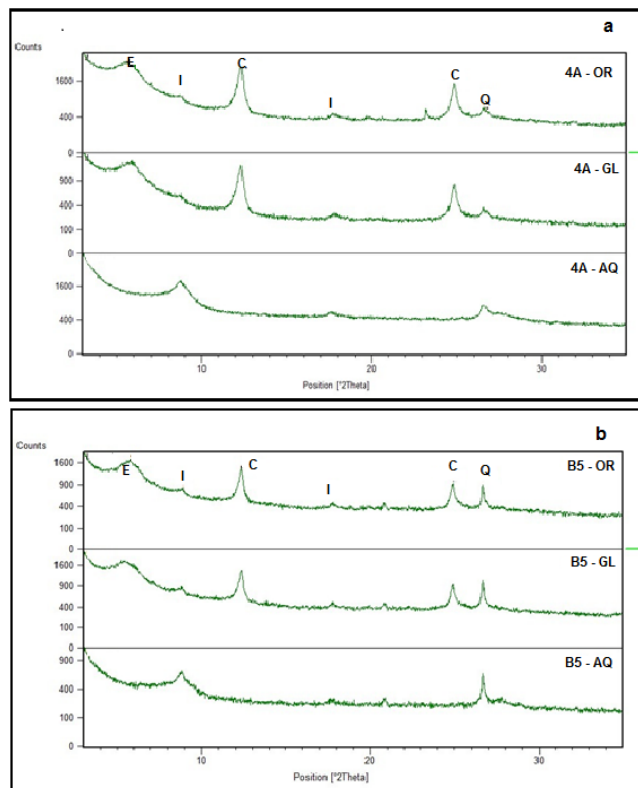


Figura 4 - Difratomogramas de raios X representativos para a fração argila dos sedimentos de fundo. a : margem oeste da baía do Guajará (amostra 4A) e, b: rio Carnapijó (amostra B5). C: (Caulinita), E: (Esmectita), I (Ilita), Q (Quartzo).

Tabela 2 - Concentrações totais (tr.) e parciais (tr.) de Cu, Cr, Ni, Pb e Zn (mg kg⁻¹), totais de Al, Fe e de matéria orgânica (M.O.) (%-peso) determinadas na fração fina dos sedimentos de fundo da margem oeste do Guajará e no rio Carnapijó, junto com valores de sedimentos de fundo obtidos em estudos anteriores na baía do Guajará e no rio Guamã na região de Belém. Valores de TEL e PERL (CONAMA 2012) e do material de referência são também apresentados.

Amostra	Cu _{tot}	Cu _{tr}	Cr _{tot}	Cr _{tr}	Ni _{tot}	Ni _{tr}	Pb _{tot}	Pb _{tr}	Zn _{tot}	Zn _{tr}	Al	Fe	M.O
Margem Oeste da baía do Guajará													
1A (Ilha paquetá Açú)	24.2	15.2	54	20	22.1	18.0	27.3	21.4	82	67	5.0	3.7	3.0
2A (Ilha Jararaca)	19.3	14.6	53	26	18.6	15.3	25.6	n.d.	67	n.d.	4.4	3.2	5.2
2A (Ilha Jararaca)*	20.4	n.d.	52	n.d.	20.2	n.d.	22.8	n.d.	68	n.d.	4.9	3.0	n.d.
3A (Ilha Jararquinha)	14.1	6.9	39	16	12.9	9.8	19.1	11.9	52	37	3.6	2.1	2.3
4A (Ilha das Onças)	24.7	15.4	73	27	26.2	14.3	29.4	16.6	79	49	7.0	3.4	5.0
5A (Ilha das Onças)	224.9	12.3	61	21	20.4	10.9	26.2	18.1	72	44	4.8	3.5	1.8
6A (Ilha das Onças)	31.0	118.5	79	29	28.4	14.9	32.4	18.5	87	56	6.8	4.0	5.1
7A (Ilha das Onças)	18.3	10.6	30	13	10.2	6.3	17.1	9.9	46	31	2.9	1.7	4.5
Média	22.4	13.4	55.6	21.7	19.8	12.8	25.3	16.1	69.3	47.3	4.9	3.1	3.9
Desvio Padrão	5.5	3.8	17.4	5.9	6.6	4.0	5.4	4.3	15.4	13.0	1.5	0.8	1.4
Valor Máximo	31.0	18.5	79.0	29.0	28.4	18.0	32.4	21.4	87.0	67.0	7.0	4.0	5.2
Valor Mínimo	14.1	6.9	30.0	13.0	10.2	6.3	17.1	9.9	46.0	31.0	2.9	1.7	1.8
Rio Carnapijó													
B6 (Ilha Arapiranga)	13.2	8.3	43	18	16.1	10.1	15.6	11.0	51	42	3.8	2.8	0.9
B7 (Ilha Mucurás)	17.6	11.9	60	24	22.8	15.2	22	16.3	68	56	4.9	3.5	1.3
B8 (Ilha das Onças)	22.5	15.6	70	26	29.2	16.9	23.6	16.8	78	55	6.3	4.2	1.0
B5 (Confluência com rio Barcarena)	12.6	7.3	37	13	13.2	7.9	14.3	9.2	59	44	3.0	2.3	0.8
B10 (Ilha das Onças)	15.2	9.8	49	21	19.8	11.4	19.9	12.8	70	47	4.4	3.1	1.0
B2 (Margem Oeste)	17.8	10.7	49	21	19.4	11.9	22.2	14.9	65	45	3.6	3.4	1.2
Média	16.5	10.6	51.3	20.5	20.1	12.2	19.6	13.5	65.2	48.2	4.3	3.2	1.0
Desvio Padrão	3.7	3.0	11.9	4.6	5.6	3.3	3.8	3.0	9.3	5.9	1.2	0.6	0.2
Valor Máximo	22.5	15.6	70	26	29.2	16.9	23.6	16.8	78	56	6.3	4.2	1.3
Valor Mínimo	12.6	7.3	37	13	13.2	7.9	14.3	9.2	51	42	3.0	2.3	0.8
B1 (Confluência com rio Acaraí)	29	21.6	84	37	32.1	17.3	26.1	19.7	85	60	7.1	6.0	1.5
Material de referência e limites de detecção													
STD OREAS 24P	59.9		217		146.7		3.9		131		7.8	7.9	
STD OREAS 45PA		613.4		897		299.9		19		131			
LD (mg kg ⁻¹)	0.1	0.1	1	1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	0.01	0.01	0.01
Margem Leste da baía do Guajará													
Norte e Sul do Canal da Una ¹	16		65.5		38.8		38.3		74		n.d.	3.2	1.9
Entre o Canal da Una e Icoroaci ²	16		66		24.1		59		70		n.d.	3.7	2.6
Margem Oeste da baía do Guajará													
Região das Ilhas	18		59.7		19.3		33.3		73.7		6.2	3.6	1.9
Rio Guamã													
Margem Esquerda	12		45		16		18		52		4.4	2.5	8.2
Margem Direita	13		43		16		16		46		4.5	2.5	9.3
TEL		35.7		37.3		18		35		123			
PEL		197		90		35.9		91.3		315			

n.d.: não determinado. * = duplicata, LD: limite de detecção, 1 Corrêa & Pereira (2002), 2. Carvalho (2002), 3. Saraiva (2007), 4. Nascimento (2007)

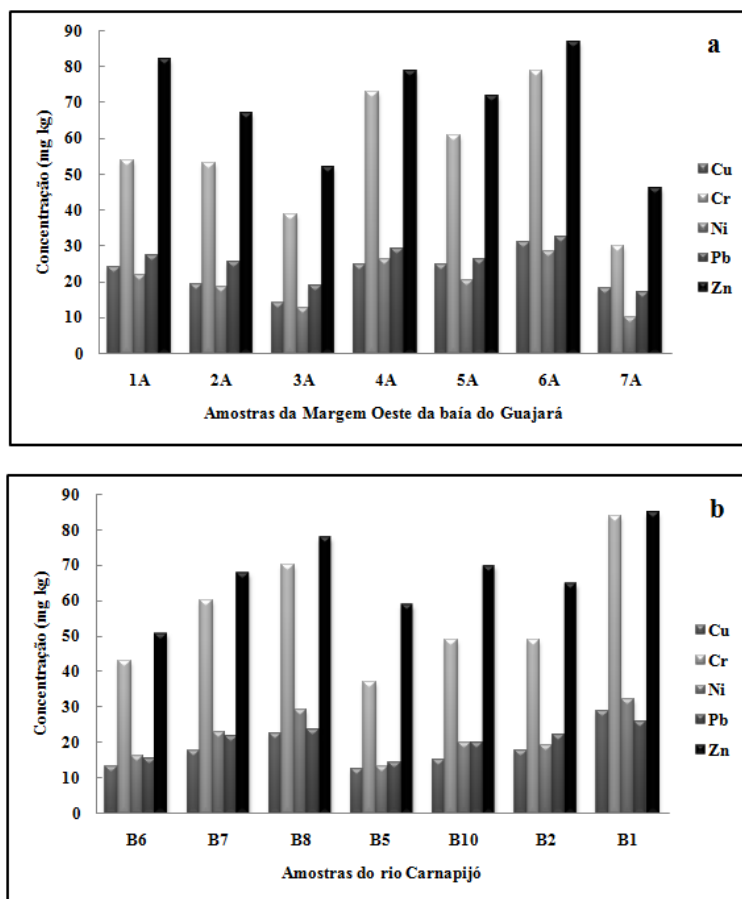


Figura 5 - Concentrações totais de Cu, Cr, Ni, Pb, Zn dos sedimentos de fundo da margem oeste da baía do Guajará (a) e rio Carnapijó (b).

Tabela 3 - Valores de correlação dos metais pesados dos sedimentos de fundo da margem oeste da baía do Guajará com Al, Fe e matéria orgânica (M.O.).

	Pb	Cu	Ni	Cr	Zn	Al	Fe	M.O.
Pb	1,00							
Cu	0,90	1,00						
Ni	0,99	0,89	1,00					
Cr	0,99	0,87	0,98	1,00				
Zn	0,97	0,88	0,97	0,91	1,00			
Al	0,93	0,82	0,97	0,95	0,96	1,00		
Fe	0,96	0,85	0,97	0,97	0,88	0,81	1,00	
M.O.	0,33	0,26	0,30	0,31	0,19	0,39	0,12	1,00

Tabela 4 - Valores de correlação dos metais pesados dos sedimentos de fundo do rio Carnapijó com Al, Fe e matéria orgânica (M.O.).

	Pb	Cu	Ni	Cr	Zn	Al	Fe	M.O.
Pb	1,00							
Cu	0,90	1,00						
Ni	0,92	0,96	1,00					
Cr	0,90	0,97	0,99	1,00				
Zn	0,89	0,91	0,92	0,91	1,00			
Al	0,84	0,93	0,98	0,90	0,89	1,00		
Fe	0,88	0,99	0,94	0,98	0,87	0,92	1,00	
M.O.	0,62	0,85	0,82	0,86	0,73	0,73	0,63	1,00

Tabela 5 - fator de enriquecimento (FE), fator de contaminação (FC) e índice de geoacumulação (I_{geo}) para Cu,

Cr, Ni, Pb e Zn nos sedimentos de fundo da margem oeste da baía do Guajará e do rio Carnapijô.

Amostra	Cu			Cr			Ni			Pb			Zn		
	FE	FC	I _{geo}	FE	FC	I _{geo}	FE	FC	I _{geo}	FE	FC	I _{geo}	FE	FC	I _{geo}
<i>Margem oeste do rio Guajará</i>															
1A	1,7	2,0	<1	1,1	1,2	<1	1,2	1,3	<1	1,5	1,5	<1	1,6	1,6	<1
2A	1,5	1,6	<1	1,2	1,2	<1	1,1	1,1	<1	1,6	1,4	<1	1,4	1,3	<1
3A	1,4	1,1	<1	1,1	0,9	<1	1,0	0,8	<1	1,4	1,1	<1	1,4	1,0	<1
4A	1,2	2,0	<1	1,0	1,6	<1	1,0	1,6	<1	1,1	1,6	<1	1,1	1,5	<1
5A	1,8	2,0	<1	1,2	1,4	<1	1,1	1,2	<1	1,5	1,4	<1	1,4	1,4	<1
6A	1,6	2,5	<1	1,1	1,8	<1	1,1	1,7	<1	1,3	1,8	<1	1,2	1,7	<1
7A	2,2	1,5	<1	1,0	0,7	<1	0,9	0,6	<1	1,6	0,9	<1	1,5	0,9	<1
<i>Rio Carnapijô</i>															
B6	1,2	1,0	<1	1,1	0,8	<1	1,1	0,8	<1	1,1	0,9	<1	1,3	1,2	<1
B7	1,3	1,2	<1	1,2	1,1	<1	1,2	1,9	<1	1,2	1,1	<1	1,3	1,4	<1
B8	1,3	1,4	<1	1,1	1,1	<1	1,2	1,2	<1	1,0	1,2	<1	1,2	1,3	<1
B5	1,5	1,8	<1	1,2	1,6	<1	1,2	1,8	<1	1,3	1,3	<1	1,9	1,5	<1
B10	1,2	2,3	<1	1,1	1,9	<1	1,2	1,9	<1	1,2	1,4	<1	1,5	1,7	<1
B2	1,8	1,4	<1	1,3	1,3	<1	1,4	2,2	<1	1,7	1,2	<1	1,7	1,3	<1
B1	1,4	1,1	<1	1,1	1,0	<1	1,2	1,6	<1	1,0	0,9	<1	1,1	1,0	<1

Tabela 6 - Resultado do ²¹⁰Pb do testemunho de sedimento da margem oeste da baía do Guajará (amostra 1B - ilha Paquetá Açú) com respectivas profundidades corrigidas, Ln ²¹⁰Pb, idades.

Amostra	Profundidade corrigida (cm)	Ln ²¹⁰ Pb	Idade (anos)	Data
1B (Ilha de Paquetá Açú)	2,66	3,434	4	2005
	4,64	3,496	7	2002
	6,75	3,434	10	1999
	13,96	3,178	20	1989
	24,23	3,091	35	1974
	30,14	0,693	43	1966
	33,14	3,295	47	1962

4.2 - Comportamento dos metais

A excelente correlação observada nas matrizes de correlação entre todos os metais traços e os elementos Al e Fe nos sedimentos da margem oeste da baía do Guajará e no rio Carnapijô possibilita sugerir que esses metais estão associados aos argilominerais e aos óxidos e hidróxidos de ferro. Essa correlação é frequentemente encontrada em sedimentos estuarinos (Jesus et al., 2004; Hortellani et al., 2008) e já foi observado para os sedimentos do rio Guamá (Nascimento, 2007; Santos et al., 2012).

No gráfico de distribuição dos metais traços (figura 5), percebe-se que os intervalos das concentrações dos metais na margem oeste da baía do Guajará são próximos aos do rio Carnapijô, mostrando que os sedimentos se comportam de forma similar nos dois setores. Os metais traços mostraram a mesma sequência de abundância nos sedimentos das duas áreas alvo, retratando as

similaridades granulométricas e mineralógicas desses sedimentos.

Em relação à matéria orgânica e distribuição de metais traços, os sedimentos das duas áreas mostraram um comportamento distinto. Na margem oeste da baía do Guajará, os metais traços estudados não apresentaram correlação com a matéria orgânica, o que pode ser explicado pelo fato de que a eficiência da matéria orgânica em adsorver compostos químicos depende basicamente de suas propriedades complexantes (Lima et al., 2004).

Possivelmente, a matéria orgânica existente na maioria dos sedimentos da margem oeste da baía do Guajará, não possui propriedades complexantes satisfatórias de modo a fixar os metais. A deficiência desses grupos funcionais complexantes pode ser causada por restos de vegetação e detritos animais, com baixas capacidades de adsorção dos metais justificando

assim a ausência de correlação. No rio Carnapijó, a boa correlação entre matéria orgânica e os metais traços indica que nessa área, a matéria orgânica pode ter contribuído para a acumulação dos metais traços nos sedimentos, junto com os alumino-silicatos e os óxidos e hidróxidos de Fe, apesar de

4.3 - Avaliação da contribuição antropogênica

Apesar de que os teores de metais dos sedimentos do rio Carnapijó e da margem oeste da baía do Guajará variaram em intervalos similares para todos os metais, os valores médios são levemente mais elevados para os sedimentos da margem oeste da baía. Esses teores médios ocupam uma posição intermediária entre os valores médios dos sedimentos do rio Guamá (margem esquerda) e da orla de Belém (figura 6). Esse posicionamento sugere a existência de uma contribuição antropogênica na margem oeste e no rio Carnapijó, porém os intervalos de concentração para a maioria dos metais traços nesses dois ambientes se superpõem aos valores médios encontrados tanto na orla de Belém quanto na margem esquerda do rio Guamá, inviabilizando concluir a respeito dessa contribuição antropogênica.

Os valores médios obtidos na baía e no rio Carnapijó para Cu e Zn foram próximos aos encontrados na porção norte da orla de Belém por Corrêa & Pereira (2002) e Carvalho (2002). As maiores diferenças foram encontradas para o Ni e o Pb. O valor médio do Ni encontrado tanto na margem oeste da baía quanto no rio Carnapijó ($Ni \approx 20 \text{ mg kg}^{-1}$) está próximo ao valor de 24 mg kg^{-1} de Carvalho (2002), porém bem abaixo do valor médio de 59 mg kg^{-1} de Corrêa & Pereira (2002). No caso do Pb, os valores de $20 - 25 \text{ mg kg}^{-1}$ são bem inferiores aos valores de $38,3 - 59 \text{ mg kg}^{-1}$ da porção norte da orla de Belém.

Para os sedimentos da margem oeste da baía do Guajará, os dados obtidos nesse estudo não diferem daqueles anteriormente obtidos por Saraiva (2007) para o mesmo setor da baía, excetuando-se o Pb que acusou uma diferença de teor um pouco maior, sendo mais elevado nas amostras de Saraiva (2007) (tabela 2). Essa diferença pode ser ligada à diferença na coleta das amostras. Enquanto nesse trabalho as amostras correspondem a uma espessura de 10 cm, as amostras processadas por Saraiva (2007) foram

ser bem menos abundante do que nos sedimentos da margem oeste da baía do Guajará. A amostra da confluência com o rio Acará apresentou as maiores concentrações para todos os metais traços, provavelmente ligadas aos altos teores de Fe, Al.

coletadas com draga de Petersen e correspondem apenas aos 5 cm superficiais dos sedimentos.

Os valores obtidos para o fator de enriquecimento, fator de contaminação e índice de geoacumulação em ambos os setores para os metais traços Cu, Cr, Pb, Ni, Zn indicam que as concentrações retratam contribuições naturais para esses elementos. Esses resultados sugerem que não há registro de uma contribuição antropogênica expressiva em metais traços na baía como um todo ao longo dos últimos 16-18 anos, tempo ao que correspondem os 10 cm de testemunho analisados, e que a contaminação se restringe à orla de Belém sob influência direta dos canais de drenagem que recebem os esgotos domésticos *in natura* e rejeitos industriais da cidade. A comparação dos teores de metais traços indica que a contaminação na orla de Belém é maior para os elementos Pb e Ni, seguido pelo Cr e praticamente inexistente para o Cu e Zn.

No caso específico do Pb, o maior despejo na orla de Belém poderia provocar uma incipiente contribuição antropogênica em escala da baía, favorecida pela hidrodinâmica das correntes de maré e fluviais que favorece o transporte do material em suspensão da margem leste para a margem oeste (Gregório e Mendes, 2009; Santos et al., 2012; Oliveira et al., Submetido). Essa incipiente contribuição antropogênica poderia explicar (1) os teores mais altos de Pb na margem oeste da baía em relação ao rio Carnapijó e (2) as assinaturas isotópicas de Pb menos radiogênicas que aquela do Pb natural (geogênico) encontradas para os sedimentos da margem oeste da baía (Santos et al., 2012; Oliveira et al., Submetido).

As concentrações trocáveis de Cu, Cr, Ni, Pb e Zn de todas as amostras de sedimentos da margem oeste da baía do Guajará e do rio Carnapijó apresentaram valores abaixo do valor de referência TEL (tabela 2). Esses resultados mostram que os teores não causam efeitos danosos a biota, nesses setores do sistema estuarino de Belém.

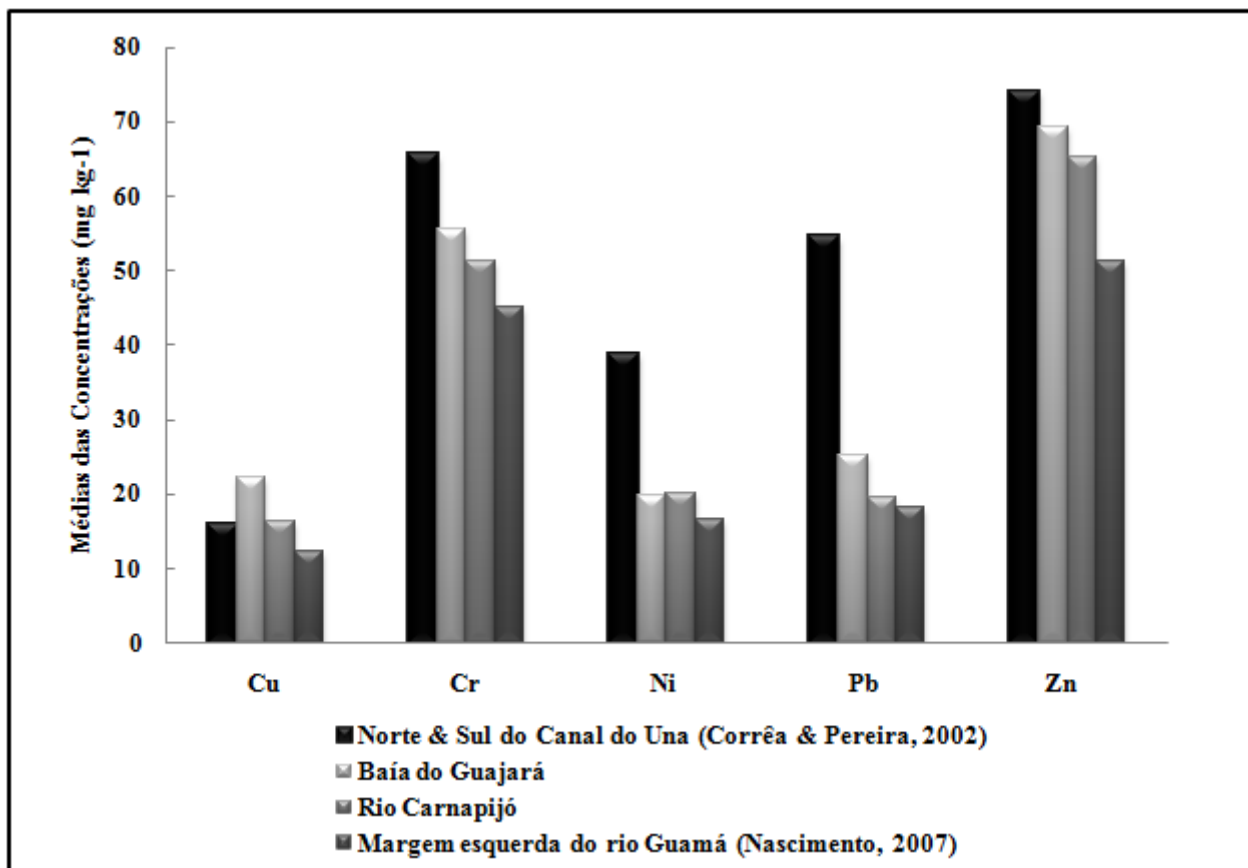


Figura 6 - Valores médios das concentrações totais de Cu, Cr, Ni, Pb, Zn dos sedimentos de fundo do sistema hidrográfico de Belém, na margem leste da baía do Guajará, a norte e sul do canal do Una (Corrêa & Pereira, 2002), na margem oeste da baía do Guajará (este trabalho), no rio Carnapijó (este trabalho) e na margem esquerda do rio Guamá (Nascimento, 2007).

4.4 - Níveis de background

A escolha adequada do valor de *background* para a determinação dos índices de contaminação em sedimentos de fundo é um ponto crítico, sobretudo em área ainda pouco impactada e/ou em área estuarina que constitui um contexto hidrodinâmico complexo (Rodrigues & Júnior, 2009). O sistema hidrográfico de Belém se encaixa em ambas as situações. Para o chumbo, foi proposto um valor de $18,1 \pm 1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ como o *background*, com base em composição isotópica de Pb dos sedimentos da margem esquerda do rio Guamá, considerados isento de qualquer contribuição antropogênica (Santos et al., 2012). Diferentemente dos outros metais traços, as assinaturas isotópicas do Pb de proveniências antropogênica e geogênica são geralmente distintas, podendo, portanto, serem utilizadas como traçador de fontes de contaminação deste metal mesmo quando as concentrações não indicam nenhum aumento quantificável (Komarék et al., 2008;

Kylander et al., 2010; Bird, 2011). Os resultados obtidos neste trabalho para o Pb e os outros metais traços Cu, Cr, Ni e Zn, junto com os dados publicados anteriormente nos diversos setores do sistema hidrográfico de Belém indicam que os teores mais baixos para esses metais traços são encontrados na margem esquerda do rio Guamá (tabela 2; figura 6). Dessa forma, é possível considerar que esses sedimentos possam também ser usados como *background* para os outros metais traços. O estudo isotópico de Pb dos sedimentos de fundo do rio Carnapijó apresentou resultados similares aqueles da margem esquerda do rio Guamá (Oliveira et al., Submetido). Sendo assim, os dados geoquímicos apresentados neste trabalho e a localização mais afastada da cidade de Belém indicam que os sedimentos do rio Carnapijó poderiam também ser considerados como adequados para o *background* do sistema estuarino de Belém em estudos futuros.

5. CONCLUSÃO

O estudo das características granulométricas dos sedimentos de fundo da margem oeste da baía de Guajará e do rio Carnapijó indica que os sedimentos variam de arenosos a areia siltica, refletindo condições hidrodinâmicas muito altas pela ação direta das correntes fluviais e de maré. Os sedimentos apresentam homogeneidade mineralógica e as taxas de sedimentação são similares ao longo da margem oeste da baía em torno de $0,7 \text{ cm.ano}^{-1}$, de acordo com as datações pelo método de ^{210}Pb .

As concentrações dos metais Cu, Cr, Ni, Pb e Zn na margem oeste da baía do Guajará variam em intervalos próximos aos do rio Carnapijó. Os teores de metais traços indicam que não há evidência de contribuição antropogênica na margem oeste da baía e o rio Carnapijó, porém sugerem um processo incipiente de ação antrópica no caso do Pb.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pesquisa concedida a ECO, JML e JHSC e pelo apoio financeiro dos projetos CNPq Universal (472.146/2008-4 e 485.539/2012-8). Os autores são gratos a equipe de técnicos dos laboratórios de Oceanografia, Difração de raios-X,

As concentrações trocáveis apresentaram valores sistematicamente abaixo do valor de referência *TEL*, portanto, mostram que os metais Cu, Cr, Ni, Pb e Zn não estão causando efeitos danosos a biota, nesses setores do sistema estuarino de Belém.

A comparação com os teores dos mesmos metais nos sedimentos da orla de Belém aponta para uma contribuição maior para os elementos Pb e Ni, seguido pelo Cr e praticamente inexistente para o Cu e Zn dos efluentes domésticos e rejeitos industriais da cidade de Belém. Por fim, o estudo indica que os teores dos metais traços dos sedimentos de fundo do rio Carnapijó são adequados para serem utilizados como *background* em futuros estudos geoquímico para monitoramento ambiental do sistema estuarino da região de Belém.

7. REFERÊNCIAS

- ACME Laboratories Ltd. Disponível em: http://acmelab.com./pdfs/Acme_Price_Brochure.pdf, Acesso em Abril de 2009.
- Brady, J.P.; Ayoko, G.A.; Martens, W.N.; Goonetilleke, A. 2014. Enrichment, distribution and sources of heavy metals in the sediments of Deception Bay, Queensland, Australia. *Marine Pollution Bulletin*. **81**: 248 - 255.
- Bird, G. 2011. Provenancing anthropogenic Pb within the fluvial environment: Developments and challenges in the use of Pb isotopes. *Environment International*. **37**: 802 - 819.
- Carvalho, Z.L. 2002. Caracterização geoquímica de sedimentos de fundo nas proximidades do distrito de Icoaraci - PA. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências. UFPA. 84p.
- Chakraborty, P.; Ramteke, D.; Chakraborty, S.; Nath, B. N. 2014. Changes in metal contamination levels in estuarine sediments around India – An assessment. *Marine Pollution Bulletin*. **78**:15 – 25.
- Corrêa, J.A.M.; Pereira, K.R. 2002. Estudo da dispersão de metais pesados em sedimentos da orla de Belém. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Série Ciências da Terra*. **14**: 79 - 101.
- Cazotti, R. I. 2003. Geocronologia de sedimentos recentes com ^{210}Pb : Metodologia e critérios para sua aplicação em Lagos e Represas. Tese de Doutorado. Centro de Exatas e de Tecnologia. Universidade Federal de São Carlos. 129p.
- Covelli, S., Fontolan, G. 1997. Application of a normalization procedure indetermining regional geochemical baselines. *Environmental Geology*. **30**:34 – 45.
- CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2012. Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 a janeiro de 2012. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA. DF.
- Feng, H., Han, X., Zhang, W., Yu, L. 2004. A preliminary study of heavy metal contamination in yangtze river intertidal zone due to urbanization. *Marine Pollution Bulletin*. **49**:910 - 915.
- Gregório, A.M.S.; Mendes, A.S. 2009. Characterization of sedimentary deposits at the confluence of two tributaries of the Pará River estuary (Guajará Bay, Amazon). *Continental Shelf Research*. **29**: 609 - 618.
- Hortellani, M.A., Sarkis, J.E.S.; Abessa, D.M.S.; Sousa, E.C.P.M. 2008. Avaliação da contaminação por

- elementos metálicos dos sedimentos do estuário Santos - São Vicente. *Química Nova*. **31**(1):10 - 19.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research*. **14**(8):975-1001.
- IDESP. 1990. Um estudo Ambiental do estuário Guajarino. (Relatório de Pesquisa, 17) 154p.
- Jesus, H.C.; Costa, E.A.; Mendonça, A.S.F.; Zandonade, E. 2004. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória-ES. *Química Nova*. **27**(3): 378-386.
- Komarék, M., Ettler, V., Chrástný, V., Mihaljevic, M. 2008. Lead isotopes in environmental sciences: A review. *Environment International*. **34**:562 – 577.
- Kylander, M.E., Klaminder, J., Bindler, R., Weiss, D.J. 2010. Natural lead isotope variations in the atmosphere. *Earth and Planetary Science Letters*. **1-2**:44 - 53.
- Lima, E.A.R.; Siqueira, G.W.; Lima, W.N., Mendes, A.S. 2004. Aplicação da técnica de infravermelho na identificação e caracterização da matéria orgânica nos sedimentos de fundo da plataforma continental do Amazonas. *Geochimica Brasiliensis*. **18**(1): 46-53.
- Lima G.M.P.; Vilas Boas, G.S.; Costa, A.B.; Argollo, R.M. 2011. Taxas de sedimentação recentes provenientes dos métodos Cs¹³⁷ e Pb²¹⁰ e estimativa de preenchimento do estuário Jacuípe, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. **41**(1): 44-55.
- Loring, D.M.; Rantala, R.T.T. 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth Science Review*. **32**: 235-283.
- Mazzeo, T.E. 1991. Avaliação ambiental das vias de drenagem da região metropolitana de Belém quanto à distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn. Dissertação de Mestrado em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 141p.
- Moura, C.A.V., Gaudette, H.E., Carvalho, M.C., Morales, G.P. 2004. The use of lead isotope composition as a tool to investigate the anthropogenic impacts on the environment in the metropolitan region of Belém (PA). *Terrae*. **1**(1):16-25.
- Müller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Journal Geology*. **2**:108 - 118.
- Nascimento, S.M. 2007. Caracterização da assinatura isotópica de Pb atual e da concentração de metais pesados em sedimentos de fundo da foz do rio Guamá e da baía do Guajará (Belém-Pará). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 103p.
- Nery, J.R.C.; Bonotto, D.M. 2011. ²¹⁰Pb and composition data of near-surface sediments and interstitial waters evidencing anthropogenic inputs in Amazon River mouth, Macapá, Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*. **102**:348 - 362.
- Oliveira, E.C.; Lafon, J.M.; Corrêa, J.A.M.; Carvalho, J.H. (submitted). Distribution and isotopic composition of lead in bottom sediment from the hydrographic system in Belém, Pará (Western bank of Guajará Bay and Carnapijó River).
- Oliveira, A.H.P. 1997. Metais pesados nos arredores de depósitos de lixo de Belém, PA. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 124p.
- Pejrup, M. 1988. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: Boer, P. L.; Van Gelder, A.; Nio, S. D. (Eds.). Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies. D. Reidel, Dordrecht. 289 – 300p.
- Penteado, A.R. 1968. Belém do Pará: estudo de cartografia urbana. Vol. 1. Coleção Amazônica, Série José Veríssimo. Universidade Federal do Pará.
- Pinheiro, R.V.L. 1987. Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará- Belém (PA). Centro de Geociências, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará. 179p.
- Reynolds, R.C.; Moore, D.M. 1992. X-ray diffraction and the analysis of clay minerals, Oxford University Press: New York, 332p.
- Rodrigues, A.S.L.; Júnior, H.A.N. 2009. Valores de *background* geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. *Revista escola de Minas, Ouro Preto*. **61**(2):155 – 165.
- Rosseti, D.F. 2001. Late Cenozoic sedimentary Evolution in northeastern Pará, Brazil, Within the Context of Sea level Changes. *Journal of South American Earth Sciences*. **14**: 77- 89.
- Santos, S.N., Lafon, J. M., Corrêa, J.A.M., Babinski, M., Dias, F.F. ,Taddei, M.H.T. 2012. Distribuição e assinatura de Pb em sedimentos de fundo da foz do rio Guamá e da baía do Guajará (Belém-Pará). *Química Nova*. **35**(2):249 - 256.
- Saraiva, A.L.L., 2007. Estudo sedimentológico e geoquímico em sedimentos de fundo da baía do Guajará - Belém (PA). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 122p.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*. **24**:151 - 158.
- Shi, Q.; Leipe, T.; Rueckert, P.; Di, Z.; Harff, J. 2010. Geochemical sources, deposition and enrichment of heavy metals in short sediment cores from the Pearl River Estuary, Southern China. *Journal of Marine Systems*. **82**:528 - 542.
- Souza, S.R., Oliveira, A.O., Hartmann, C. 2008. Utilização do testemunhador *Russian Pet Borer* no Saco do Martins e Arraial, Estuário da Laguna dos Patos: RS, Brasil. *Gravel*. **6** (1):1 - 13.
- Sposito, G. 2008. The Chemistry Soils, Second Edition. Oxford New York. 329p
- Zhan, J.; Liu, C.L. 2002. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China - weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. **54**:1051 - 1070.