

RESUMO

As tintas anti-incrustantes aplicadas em embarcações contêm altas concentrações de metais em sua composição, principalmente Cu e Zn, com concentrações superiores a 50% e 20%, respectivamente. Apesar de serem elementos essenciais para os seres vivos, em altas concentrações causam problemas no crescimento celular e na reprodução dos organismos. Na cidade de Belém, Estado do Pará, ocorre o lançamento de uma quantidade significativa de efluentes industriais e domésticos na Baía de Guajará, sendo uma delas relacionadas às atividades em estaleiros. Estudos anteriores mostraram indícios de contaminação por metais nos sedimentos da orla de Belém, entretanto, nenhum trabalho destacou a contaminação proveniente de estaleiros. Portanto, o objetivo desse trabalho é avaliar a contaminação de sedimentos por atividades em estaleiros e abandono de embarcações na orla de Belém. Foram realizadas 3 amostragens, em 5 estaleiros de Belém, sendo duas realizadas no período menos chuvoso (setembro de 2017 e novembro de 2019) e uma no período chuvoso em maio de 2018. O sedimento foi coletado até 10 cm de profundidade, sendo também coletadas amostras de fragmentos de tinta e fragmentos de cascos de embarcações abandonadas. Foi medido o pH *in situ* da água intersticial do sedimento. Em laboratório, as amostras de sedimento foram colocadas em estufa a 60°C para secar, foram desagregadas e em seguida peneiradas (< 63µm). As amostras de fragmentos de tinta e dos cascos de embarcações abandonadas foram lavadas com água deionizada e secas em estufa a 60°C, maceradas, misturadas a área branca pulverizada e reservadas. Uma amostra da tinta comercial de maior utilização nos estaleiros foi colocada em uma membrana de nitrato de celulose em uma capela, após parte da amostra foi removida e macerada. Uma alíquota das amostras do sedimento de cada estaleiro foi utilizada para análise granulométrica, por meio de um analisador de partículas a laser. A composição mineralógica das amostras foi determinada por difração de raios X de acordo com metodologia proposta por Moore e Reynolds Jr (2002). A caracterização dos argilominerais seguiu a Lei de Stokes e determinada por difração de raios X. Para a determinação do carbono orgânico total foi usado um analisador de TOC - VCPH com detector de combustão. Para a determinação das concentrações de Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Ba, V, Li, Fe e Al contidos no sedimento, na tinta comercial, nos fragmentos de tinta e nos fragmentos de casco de embarcações abandonadas, as amostras passaram por extração química com água régia e determinadas através de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). Para tratamento estatístico dos dados foram aplicados à correlação de Spearman, para determinar a relação entre os parâmetros, e o teste Análise de Componentes

Principais, para determinar a relação dos metais com os estaleiros, estação controle e estação de fonte antropogênica difusa. Foi também aplicado o teste Wilcoxon para averiguar se ocorreram diferenças significativas nas concentrações dos metais dos sedimentos coletados em frente ao estaleiro, com os sedimentos coletados em contato com a embarcação abandonada. Para avaliar o nível de contaminação por metais foi aplicado o índice de geoacumulação proposto por Muller (1969). A granulometria do sedimento da orla de Belém apresentam maior proporção de areia e silte. Os sedimentos são compostos por muscovita, illita, caulinita, quartzo e plagioclásio. Já os argilominerais identificados foram: esmectita, caulinita, illita e quartzo. Os valores do pH da água intersticial das amostras de sedimento da Baía do Guajará e Furo do Rio Maguari ficaram em torno 5,2 – 6,7. Já o carbono orgânico total do sedimento ficou em torno de 0,6 % a 2,2 %. A tinta comercial analisada apresentou as seguintes concentrações: Fe (21,2 %), Cu (18.497 mg kg⁻¹), Zn (16.589 mg kg⁻¹) e Al (1,59 %). As maiores concentrações encontradas na composição dos fragmentos de tinta e nos fragmentos dos cascos das embarcações abandonadas foram: Fe (117,9 %), Ba (29.583 mg kg⁻¹), Zn (9.350 mg kg⁻¹) Pb (1.097 mg kg⁻¹), Cu (679,0 mg kg⁻¹) e Cr (590 mg kg⁻¹). Esse resultado revelou que o abandono de embarcações é a maior fonte de contaminação nas áreas de estaleiro na cidade de Belém. De acordo com as Diretrizes de qualidade de sedimentos para metais em ecossistemas de água doce de Buchman (2008), apenas a concentração média do Cu, com 41,0 mg kg⁻¹, no sedimento atingiu valores acima do *Threshold Effects Level* para o antípoda, *Hyalloella azteca* (28,0 mg kg⁻¹) no estaleiro ABSS. Os demais estaleiros apresentaram médias de cobre que variaram entre 13,3 – 28,3 mg kg⁻¹. Os outros metais apresentaram concentrações médias sempre abaixo do valor de *Threshold Effects Level* com: Zn (42,0 – 80,3 mg kg⁻¹), Pb (18,3 – 24,3 mg kg⁻¹), Ni (10,0 – 13,0 mg kg⁻¹), Cr (19,6 – 26,6 mg kg⁻¹), Ba (51,6 – 125,6 mg kg⁻¹), V (22,0 – 33,0 mg kg⁻¹), Fe (1,64 – 2,61 %), Al (0,83 – 1,3 %) e Li (15,0 – 20,0 mg kg⁻¹). As concentrações dos metais encontradas nos sedimentos sob influência de atividades em estaleiros e abandono de embarcações, deste estudo, foram comparadas com estudos de outros autores, pelo Brasil e pelo mundo. Constatou-se que os sedimentos dos estaleiros de Belém apresentaram no geral concentrações mais baixas. Especialmente, os sedimentos que estavam em contato direto com as embarcações tiveram concentrações levemente mais altas quando comparados com o sedimento coletados em frente do estaleiro. Com concentrações de Cu (39,0 mg kg⁻¹) e Zn (120,0 mg kg⁻¹) e Cr (32,0 mg kg⁻¹) dos sedimentos do estaleiro MS que estavam em contato com o casco da embarcação abandonada ultrapassando o valor de *Threshold Effects Level*. Contudo, o teste estatístico Wilcoxon não atestou diferenças significativas nos sedimentos coletados em frente

aos estaleiros com os sedimentos em contato com as embarcações abandonadas. Os principais elementos que compõem as tintas anti-incrustantes: Cu, Zn obtiveram correlação forte positiva ($r = 0,80$; $p < 0,05$). O Ni obteve uma correlação forte positiva com Cr, V, Li e Al ($r = 0,70$; $r = 0,71$; $r = 0,85$; $r = 0,79$; $p < 0,05$, respectivamente) todos esses elementos fazem parte das ligas metálicas que compõem os cascos das embarcações ou a parte elétrica interna das embarcações (ex. bateria). A Análise de Componentes Principais confirmou a contaminação pelos metais Cu, Zn, Pb, Ni, Li, Fe e Al e tem relação mais forte com as atividades em estaleiros e abandono de embarcações do que com as fontes geogênicas ou antropogênicas difusas. O índice de geoacumulação classificou os sedimentos próximos aos estaleiros IS e ABSS, como moderadamente poluídos para o cobre com índices de 2,0 e 2,5, respectivamente. Os demais metais Zn, Ba, Fe e Al nos locais estudados mostram uma contribuição antropogênica por atividades em estaleiros e abandono de embarcações, classificando um ou mais estaleiros como já estando numa situação próxima de um ambiente considerado poluído, para um ou mais metais estudados, com índice de geoacumulação entre 1 e 2. Os resultados podem apoiar estudos adicionais de contaminação por metais através de atividades em estaleiros e abandono de embarcações, ainda, pode auxiliar na aplicação da gestão de resíduos em estaleiros e cemitérios de navios em todo o mundo.

Palavra-chave: tintas anti-incrustantes, metais traço, embarcações abandonadas, estuário superior amazônico

