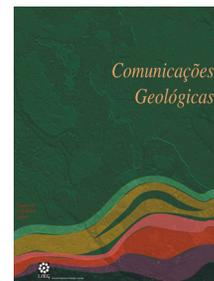


Análise geoquímica dos sedimentos de um curso de água contaminado por metais pesados na área de uma unidade fabril metalúrgica, Minas Gerais, Brasil

Geochemical analysis of sediments from a polluted waterway in the vicinity of a metallurgical plant, Minas Gerais, Brazil

L. Martins^{1*}, R. Fonseca¹, N. Dias¹, A. Araújo¹, A. C. Pinho¹



Artigo Curto
Short Article

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Resumo: As indústrias extrativa e metalúrgica são das maiores responsáveis por contaminações em metais pesados. Estas contaminações estão muitas vezes associadas à má gestão dos resíduos e à não existência de áreas de contenção adequadas para estes materiais. Esse é o caso de uma unidade industrial de produção de ligas metálicas, situada na bacia do rio São Francisco, no estado de Minas Gerais, Brasil. Durante o seu funcionamento, os resíduos da sua atividade têm sido acumulados na área envolvente, levando a concentrações em metais pesados (Mn, Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Cr e As), muito acima dos níveis críticos, que se acumulam nos sedimentos de linhas de água, nos solos na área de drenagem, e na própria coluna de água. Pretende-se assim discutir, quer o nível de contaminação do córrego Consciência, um pequeno afluente do rio São Francisco, através da análise geoquímica e mineralógica dos sedimentos, quer as estratégias de recuperação deste área e o seu impacto sobre o meio ambiente.

Palavras-chave: Contaminação em metais pesados, Remediação ambiental.

Abstract: Mining and metallurgical industries are the most responsible for heavy metal contamination. These contaminants are often associated to poor management strategies and the lack of suitable containment areas. This is the case of one of the largest metal alloy producers in the São Francisco river basin, in Minas Gerais state, Brazil. During operation, the tailings of this activity have been accumulated in the surrounding area, leading to heavy metal contamination (Mn, Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Cr and As), much above the critical levels, which accumulate in the sediments of the nearby waterways, in the soils of the drainage area, and in the water column.

In this work we are going to discuss both the contamination level and its extent in the Consciência river, a small tributary of the São Francisco river, the longest river entirely Brazilian, by analyzing the geochemistry and mineralogy of the accumulated sediments. It will be also discuss the reclamation strategies of this site and the impact on the environment.

Keywords: Heavy metal contamination, Ecological reclamation.

1. Introdução

Concentrações em metais pesados superiores às tidas como referência são muitas vezes encontradas na Natureza. Estas podem ocorrer naturalmente, associadas a depósitos naturais, por meteorização destas áreas, ou por ação antrópica, devido a episódios de descarga de efluentes domésticos ou industriais, atividade mineira ou devido à existência de unidades industriais nas áreas envolventes (Kabata-Pendias, 2001). É neste âmbito que surge este trabalho. A área em estudo, situada na bacia hidrográfica do rio São Francisco, no Brasil, encontra-se contaminada com metais pesados, cuja ocorrência se associa à presença e funcionamento de uma unidade industrial metalúrgica. Esta unidade é responsável desde 1969, pelo fabrico de produtos ricos em zinco (Zn), alumínio (Al) e níquel (Ni), a partir de minérios sulfuretados e silicatados, tendo como produtos finais óxidos de zinco e ligas metálicas (Oliveira & Horn, 2006). Devido à inexistência e/ou ao incumprimento de medidas mitigadoras de poluição, os resíduos provenientes do funcionamento desta unidade não foram devidamente geridos, tendo sido ao longo destes anos construídas duas barragens de contenção que se mostraram ineficazes na contenção da contaminação: a Barragem Velha, construída nas margens do rio São Francisco em 1983, e a Barragem da Lavagem, em funcionamento desde 2001 e situada a cerca de 5 km da unidade (Oliveira & Horn, 2006; Batista *et al*, 2008; Amador, 2013). Contudo, até 1983, os resíduos eram despejados em toda a área circundante da fábrica, sem qualquer medida de controlo. Pressionada pelos órgãos ambientais locais e pela própria sociedade civil, foi construída uma nova barragem de contenção em 2011 que segue todas as precauções e cuidados de modo a impedir o alastramento ao rio São Francisco destes elevados teores em metais pesados (Batista *et al*, 2008). A empresa foi responsabilizada pelo cumprimento das medidas de retenção da contaminação e pelo restauro ambiental das áreas envolventes (Batista *et al*, 2008). De modo a impedir o alastramento dos atuais níveis em metais pesados para o

¹Centro de Geofísica de Évora, Departamento de Geociências, Laboratório AmbiTerra, Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora.

*Autor correspondente / Corresponding author: lcmartins@gmail.com

rio São Francisco é necessário minimizar ou eliminar o contributo de pequenos afluentes que circundam a área envolvente à unidade. Tendo como base estudos prévios realizados na área, é um pequeno afluente, o córrego Consciência, a principal fonte de entrada destes teores para o rio São Francisco. Deste modo, as primeiras campanhas de amostragem de sedimentos e águas, que serviram de base para a elaboração deste trabalho, foram realizadas nesta linha de água, de forma a compreender quais os teores dos elementos metálicos, como estes evoluem com a profundidade e, numa fase mais final, como recuperar esta área degradada.

2. Enquadramento

A área em estudo localiza-se a cerca de 2 km da cidade de Três Marias, estado brasileiro de Minas Gerais, fazendo parte da bacia hidrográfica do rio São Francisco. É limitada a Norte pelo córrego Consciência, a Sul pelo córrego Barreiro Grande e a Oeste pelo rio São Francisco. Do ponto de vista climático, esta área é caracterizada por um clima tropical de savana, verificando-se temperaturas médias mensais superiores a 18°C e duas estações anuais bem marcadas (Oliveira & Horn, 2006; Oliveira, 2007). A área em estudo insere-se na formação de Três Marias, pertencente ao Grupo Bambuí. Esta formação, de idade proterozoica é, de acordo com o mapa geológico à escala 1:100 000, Folha de Três Marias – SE.23-Y-B-III (Soares, 2011), constituída essencialmente por rochas sedimentares detríticas de pequena dimensão (arenitos, siltitos e pelitos) ricos em quartzo, feldspato e minerais pesados como óxidos de ferro, turmalina, zircão, epídoto e granada, que sugerem uma fácies de formação de plataforma marinha de baixa profundidade, em que o transporte do material terá

sido muito reduzido (Campos & Dardenne, 1994; Bizzi *et al.*, 2003).

3. Metodologia laboratorial

As amostras recolhidas na área em estudo correspondem aos resultados referentes à estação pós-seca, tendo sido realizadas em Setembro e Novembro de 2013. Foram assim recolhidas em 34 locais, distinguindo-se amostras de sedimentos e aluviões do córrego Consciência, quer na área de atuação da unidade metalúrgica quer fora desta, sendo que estas últimas serviram como *background* geoquímico (amostras CA0). A localização geográfica das amostras é dada pela figura 1.

Os sedimentos e aluviões foram amostrados em profundidades específicas, tendo-se, quando possível, chegado aos 100 cm de profundidade. Em algumas amostras, os primeiros 20 cm foram seccionados em subamostras de 5 cm de espessura. Estas amostras foram recolhidas e conservadas a uma temperatura de 4°C, até ao início do trabalho no laboratório. O trabalho laboratorial, realizado no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora, consistiu na secagem das amostras, sendo esta procedida pela sua desagregação e moagem.

De modo a determinar o grau de contaminação procedeu-se a uma digestão parcial das amostras. Para tal, pesaram-se 0.5 g de cada amostra e, utilizando 5 ml de ácido nítrico (HNO₃) e 2 ml de ácido clorídrico (HCl), e de acordo com a metodologia da EPA para a digestão parcial de sedimentos (EPA, 2007), procedeu-se à sua digestão, num digestor micro-ondas *Anton Paar Multiwave PRO* e posterior leitura por espectrometria de emissão ótica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES).



Fig. 1. Localização das amostras. A azul estão marcados as aluviões, enquanto que a vermelho estão marcados os sedimentos.

Fig. 1. Samples' location.

4. Resultados e discussão

Os resultados obtidos pela digestão parcial das amostras mostram que as aluviões e sedimentos se encontram majoritariamente contaminados em arsênio (As), cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn).

A figura 2 mostra os teores obtidos nestes metais nas diferentes profundidades de sedimento e aluvião amostrados, comparando-os com os valores de referência no estado de Minas Gerais (CONAMA, 2012) e com os valores da EPA (EPA, 2000). De acordo com a mesma figura é visível que muitas das amostras ultrapassam os valores SEL (*Severe Effect Level*) da EPA, o que as tornam fortes pontos de contaminação. Vemos ainda que estas concentrações elevadas não se limitam à bacia do córrego Consciência, identificando-se ainda teores elevados à superfície na bacia do córrego Barreiro Grande, e que numa primeira fase não fazia parte do projeto de recuperação ambiental.

Tendo em conta as diferentes profundidades de colheita de amostras, é ainda possível compreender o comportamento em profundidade destes metais. Assim, é possível destacar duas zonas com comportamentos distintos:

- Zonas de acumulação de resíduos ricos em metais pesados, em que as concentrações tendem a aumentar com a profundidade, como os pontos CA2-10 e CA2-12;
- Zonas de escorrência, associadas a zonas de passagem de água (no próprio canal fluvial, como no ponto CA1-20), de escorrência sazonal (associados a episódios torrenciais) ou vertentes (como o ponto CA2-11).

Tendo em conta o objetivo final deste projeto e os níveis em metais pesados encontrados na área, a remediação ambiental torna-se mais complexa. Segundo os pontos de ação da EPA (EPA, 2000), o primeiro passo a dar na remediação de uma área contaminada é a diminuição das fontes de contaminação. Seguidamente terá de ser estudada a abordagem de remediação da área, finalizando com o tratamento e deposição dos sedimentos contaminados removidos.

Na área em estudo, a diminuição das fontes de contaminação não fará diminuir, num intervalo de tempo curto, as concentrações destes elementos nas águas do rio São Francisco, uma vez que as bacias dos córregos Consciência e Barreiro Grande constituem por si só fontes destes elementos. No entanto, é crucial que as emissões de efluentes líquidos e resíduos sólidos contaminados para estas áreas cessem, para que o método de recuperação seja eficiente.

Um dos maiores problemas consiste na determinação do melhor método de recuperação. Uma das hipóteses seria a dragagem dos córregos (EPA, 2000), por ser uma técnica com resultados permanentes ou de maior duração. No entanto, essa abordagem acarreta inúmeros riscos, entre eles a perda de habitats (por esta ser uma linha de água de baixa profundidade), ou o aumento da quantidade

de metais transportados pela linha de água (devido ao remeximento do material e libertação da água intersticial dos sedimentos). Para a dragagem ser uma opção viável, é necessária ainda a existência de uma área onde estes sedimentos possam ser tratados e/ou depositados sem que contaminem outras zonas.

Se a dragagem for o melhor método de recuperação desta área, esta terá de ser efetuada na estação seca, quando o nível freático estiver mais baixo e for mínima a quantidade de água no córrego, de modo a minimizar estes problemas. Assim, e tendo como fundo os valores já discutidos, a profundidade a que se deverá realizar a dragagem é, por si só uma grande dificuldade, por existirem áreas de acumulação, onde as amostras até aos 100 cm apresentam um maior teor de metais, sendo necessária uma dragagem mais profunda. Outro problema associado à dragagem nesta área são as elevadas concentrações em metais encontradas, que podem tornar esta técnica menos eficiente ou até uma nova fonte destes elementos nos córregos.

5. Conclusões e estudos complementares

Após as primeiras campanhas realizadas ainda não é possível concluir qual a melhor metodologia para a recuperação desta área. Deste modo, sugerem-se ainda a amostragem do próprio rio São Francisco na sua margem de acumulação numa área próxima à desembocadura do córrego Consciência, de modo a compreender se estes metais pesados ficam ou não retidos nos sedimentos, ou se são móveis e facilmente mobilizados pelas águas, contaminando assim o rio São Francisco. Será ainda necessário determinar de que forma estes metais se encontram nos sedimentos, de forma a comparar com a mineralogia presente e compreender a sua mobilidade química.

Sugere-se ainda uma campanha após a estação chuvosa, de modo a compreender como os elementos que nesta primeira fase foram identificados e lidos se comportam. Sabe-se assim que os resultados apresentados não correspondem a uma visão holística mas sim parcial, dos processos atuantes na área em estudo.

Paralelamente a este facto, para poder determinar-se se a dragagem do córrego Consciência é uma solução válida para a área em estudo, sugerem-se a realização de uma campanha geofísica, de modo a compreender o volume de sedimento a dragar e, complementarmente aos dados geoquímicos, permitir a delimitação das áreas contaminadas.

Desta primeira campanha de amostragem é ainda possível apontar a dragagem como uma técnica que permite resultados rápidos no processo de recuperação da área, permitindo a remoção destes elevados teores de metais, até profundidades precisas, ao contrário de outras formas de recuperação que podem implicar a adição ao sistema de outras substâncias (como os tratamentos químicos) e/ou cujo tempo de ação é mais longo.

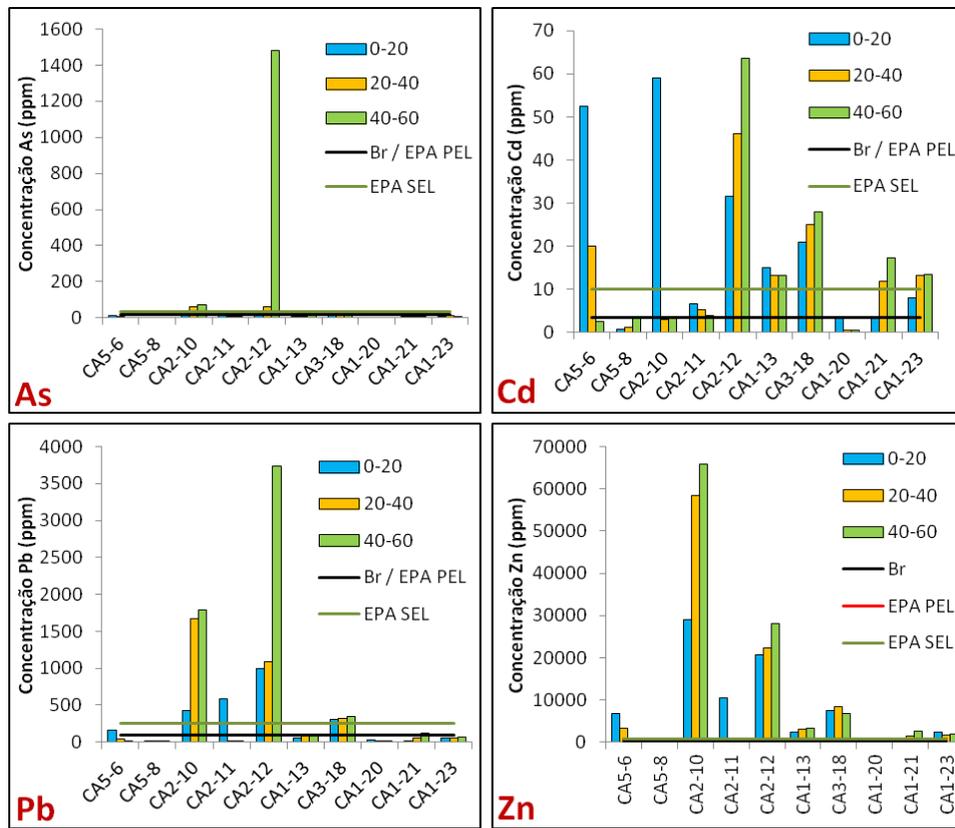


Fig. 2. Concentração em As, Cd, Pb e Zn em sedimentos e aluviões e comparação com valores de referência.

Fig. 2. Sediment and alluvium heavy metal (As, Cd, Pb and Zn) concentration. Comparison with U.S.EPA sediment guidelines.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho desejam manifestar o seu agradecimento pela oportunidade de participar no IX Congresso Nacional de Geologia / 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa e de poder partilhar o trabalho desenvolvido. Agradecemos ainda aos colaboradores do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental AmbiTerra, que permitiram que este trabalho fosse realizado com sucesso.

Referências

- Amador, A., 2013. Ficha Técnica: Luta contra a poluição provocada por barragens de rejeitos. In: Blogue “Conflitos Ambientais Minas Gerais”, <http://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/info.php?id=194> (consultado a 07/12/2013).
- Batista, A., Ribeiro, M., Macedo, A., Tonidandel, D., 2008. Parecer Técnico GEDIN nº00107/2008: Barragem Murici. “FEAM”, http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/urcparaopeba/3_reuniao/4-2_votorantim_pt.pdf, (consultado a 02/12/2013)
- Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M., Gonçalves, J.H., 2003. *Geologia, Tectónica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. Serviço Geológico do Brasil, CPRM, Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia, 642 p.
- Campos, J.E.G., Dardenne, M.A., 1994. A Glaciação Neopaleozóica na Porção Meridional da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, **24(2)**, 65-72.

- CONAMA, 2012. *Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012*. Ministério do Meio Ambiente, 1126 p.
- EPA, 2000. Prediction of Sediment Toxicity Using Consensus-based Freshwater Sediment Quality Guidelines. United States Geological Survey (USGS) final report for the U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). In “USGS”, <http://www.cerc.usgs.gov/pubs/center/pdfdocs/91126.pdf> (consultado a 30.11.2013).
- EPA, 2007. Method 3051A – Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. In “EPA”, <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf> (consultado a 15.11.2013).
- Kabata-Pendias, A., 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press L.L.C., 3ª ed., 432 p.
- Oliveira, M.R., 2007. *Investigação da Contaminação por Metais Pesados da Água e do Sedimento de Corrente nas margens do Rio São Francisco e tributários, a jusante da Represa da Cemig, no município de Três Marias, Minas Gerais*. Tese de doutoramento, Universidade Federal de Minas Gerais (não publicada), 172 p.
- Oliveira, M.R., Horn, A.H., 2006. Comparação da Concentração de Metais Pesados nas Águas do rio São Francisco em Três Marias, desde 1991 até hoje, relacionando a atuação da CMM-Três Marias. *Geonomos*, **14(1,2)**, 55-63.
- Soares, A.C.P., 2011. Mapa geológico à escala 1:100 000, Folha Três Marias – SE.23-Y-B-III. Governo do Estado de Minas Gerais, Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, CODEMIG.