

## CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO GUALAXO DO NORTE, MG, BRASIL: AVALIAÇÃO GEOQUÍMICA AMBIENTAL

Aline Sueli de Lima Rodrigues<sup>1</sup>, Dieferson da Costa Estrela<sup>2</sup>

### RESUMO

Este trabalho objetivou realizar uma caracterização da bacia do rio Gualaxo do Norte, Leste Sudeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), MG, Brasil. Inicialmente foi realizada uma avaliação das condições ambientais do rio principal da bacia, por meio de um Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR), a fim de conhecer a área e demarcar os sítios amostrais, bem como possibilitar associações entre a condição física atual da bacia e possíveis níveis de contaminação por elementos químicos. Em seguida, foi realizado o levantamento estratigráfico de 16 perfis sedimentares ao longo da bacia, sendo coletadas 119 amostras de sedimentos em fácies desses perfis. Após isso, procedeu-se análises mineralógicas, granulométricas, químicas, bem como a descrição e interpretações faciológicas. Em dois dos perfis foram coletadas amostras de material carbonoso para datação via C14 e em amostras de quatro desses perfis foi realizada análise da composição geoquímica dos sedimentos via extração sequencial. Em seguida, foram coletadas 51 amostras de sedimentos ativos de drenagem nas margens do rio principal da bacia e nas margens de alguns de seus afluentes. A avaliação das condições ambientais do rio principal da bacia evidenciou a presença de muitos focos de degradação ao longo de toda sua extensão. As análises químicas realizadas nos sedimentos dos perfis levantados, em associação com as análises mineralógicas, granulométricas e das interpretações faciológicas, permitiram o agrupamento dos perfis em três conjuntos distintos interpretados como: aqueles cujas concentrações químicas são influenciadas pela mineração de ferro e garimpo de ouro; aqueles influenciados pela mineração de ferro e aqueles sem influência de atividades antropogênicas. Em relação à extração sequencial, os resultados demonstraram a presença de Ba, Mn, S e Cu associados a frações mais lábeis e a presença de As, Fe, Zn e Al associados a frações mais estáveis. Contudo, em relação ao As, a associação dos dados de estratigrafia obtidos neste estudo – os quais evidenciam concentrações anômalas de As em fácies interpretada como depósito de canal com interferência direta ou indireta de atividades como garimpo ou draga (fácies Ct) – com as observações in situ da presença de garimpo recente na região onde os perfis com as maiores concentrações de As foram levantados (especialmente em perfis do alto curso da bacia), bem como a hipótese de associação do As a frações biodisponíveis, evidenciam contribuição antropogênica do As para o ambiente superficial. Por fim, os mapas geoquímicos da distribuição atual das concentrações dos elementos químicos reforçam alguns achados do estudo, sobretudo, aqueles que evidenciam contribuições antropogênicas no enriquecimento de metais tais como Mn, Ba e Fe; mostram que as atividades atuais de exploração aurífera na bacia, possivelmente não estejam disponibilizando concentrações elevadas de As e Pb, ambos metais altamente tóxicos, bem como revelam baixo risco de contaminação ambiental em relação aos elementos Zn e Ni, estando as poucas concentrações elevadas dos elementos, possivelmente relacionadas a anomalias geoquímicas naturais. De um modo geral, conclui-se que as atividades antropogênicas evidenciadas na bacia estudada acabam influenciando não apenas a distribuição química de elementos importantes do ponto de vista ambiental e de saúde pública, como também proporcionou, ao longo da história de exploração, um incremento considerável na concentração de alguns elementos como Ba, Fe, As e Pb.

**Palavras-chave:** Elementos químicos, concentrações, geoquímica.

## CHARACTERIZATION OF THE NORTH GUALAXO RIVER BASIN, MG, BRAZIL: ENVIRONMENTAL GEOCHEMICAL EVALUATION

### ABSTRACT

This work aimed to carry out a characterization of Gualaxo do Norte River basin, East/Southeast of Iron Quadrangle, MG, Brazil. Initially an evaluation of the environmental conditions of the main river of the basin was carried out, by means of a Rapid Assessment Protocol for Rivers in order to know the area and to limit the sample

sites, as well as to enable associations between the current physical condition of the basin and possible levels of contamination by chemical elements. Next, the stratigraphic study of 16 profiles was performed throughout the basin, collecting 119 sediment samples in facies of these profiles. After that, mineralogical, granulometric, and chemical analyses were made as well as faciologic description and interpretation. Two profiles had samples of carbonous material collected for <sup>14</sup>C dating and four of these profiles had samples analyzed for the geochemical composition of the sediments via sequential extraction. After that, 51 samples of drainage active sediments were collected on the banks of the main river of the basin and on the banks of some tributaries. The evaluation of the environmental conditions of the main river of the basin showed the presence of several points of degradation throughout its extension. The chemical analyses carried out on the sediments of the profiles studied, associated with mineralogical and granulometric analyses and faciologic interpretations, enabled the grouping of the profiles in three distinct sets: those whose chemical concentrations are influenced by iron mining and gold prospection; those influenced by iron mining and those not influenced by anthropogenic activities. Concerning sequential extraction, the studies showed the presence of Ba, Mn, S, and Cu associated to the more labile portions and the presence of As, Fe, Zn and Al associated to the more stable portions. However, regarding As, the association of data from stratigraphy obtained in this study – which show anomalous As concentrations at facies interpreted as channel deposit with direct or indirect interference from prospection or dredging activities (facies Ct) – with the in situ observations of the presence of recent prospection in the region where the profiles with the highest As concentrations were found (especially in profiles from the high course of the basin), as well as the hypothesis of As association to bio-available fractions, show anthropogenic contribution for As in the superficial environment. In this case, there is strong evidence of enrichment of the element by the iron mining at the headwaters of the basin studied. Finally, the geochemical maps of the current distribution of the chemical elements concentrations reinforce some findings of the study, mainly those which highlight anthropogenic contributions to the enrichment of metals such as Mn, Ba and Fe, show that the current activities of gold prospection in the basin may not yield high concentrations of As and Pb, both highly toxic metals, as well as reveal low risk of environmental contamination concerning the elements Zn and Ni, with the few high concentrations of the elements possibly related to natural geochemical anomalies. In general, it could be seen that the anthropogenic activities found in the studied basin have some influence not only on the chemical distribution of important elements from the environmental and public health points of view, but also provided, throughout the history of exploitation, a considerable increase in the concentration of some elements such as Ba, Fe, As and Pb.

**Keywords:** Chemical elements, concentrations, geochemistry.

---

**Autor para correspondência:** Dieferson da Costa  
Estrela  
Rodovia Geraldo Silva Nascimento, km 2,5 – Zona  
Rural, Urutaí, GO, Brasil.  
E-mail: [diefersonestrela@ifgoiano.edu.br](mailto:diefersonestrela@ifgoiano.edu.br)  
**Recebido em:** 28 jun. 2015  
**Aceito em:** 10 agos. 2015

<sup>1</sup>Instituto Federal Goiano – Câmpus  
Urutaí, GO, Brasil

## INTRODUÇÃO

É sabido que as atividades antropogênicas, como exploração minerária, construções civis (urbanização), indústrias de diversas naturezas, dentre outras, podem provocar fortes e, muitas vezes, irreversíveis impactos nos ecossistemas, alterando drasticamente as suas condições naturais.

Uma das principais atividades humanas que afetam a qualidade natural dos sistemas fluviais, em específico, são as minerações. Na bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil, foco deste estudo, sabe-se da existência de minerações e garimpo de elementos químicos importantes como o ferro e ouro, respectivamente. É inegável que essas explorações vêm contribuindo significativamente, há algumas décadas, para o desenvolvimento econômico dos municípios que fazem parte da bacia do rio Gualaxo do Norte, do Estado de Minas Gerais e até mesmo para o desenvolvimento do Brasil. Contudo, há a preocupação de que esse desenvolvimento econômico, cuja importância também é inegável, esteja sendo alcançado à custa de atividades antropogênicas contrárias à preservação das condições naturais dos recursos fluviais da região. Logo, emergem-se questões de caráter geoambiental que necessitam ser investigadas, tanto pela necessidade de se mensurar os impactos advindos das atividades de exploração, quanto pela cobrança da sociedade por práticas de exploração sustentável.

Neste sentido, surgem as hipóteses deste estudo. No caso específico da bacia do rio Gualaxo do Norte, pode-se dizer que as atividades de exploração minerária histórica e recente têm alterado significativamente suas condições naturais? As atividades mineradoras estariam contribuindo para o incremento de elementos químicos tóxicos no ambiente superficial, considerando que a região é naturalmente rica em alguns destes elementos? O quanto a análise de sedimentos oriundos de depósitos sedimentares (cutbanks e terraços aluviais) da bacia pode ajudar na obtenção de respostas à questão anterior

O presente trabalho, apoiado em uma metodologia multidisciplinar, busca contribuir para a obtenção de respostas às questões destacadas anteriormente, tendo sido o objetivo central realizar uma caracterização da bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil, com enfoque especial na análise de sedimentos oriundos de depósitos sedimentares antigos (terraços aluviais), recentes (cutbanks) e de sedimentos ainda mais atuais (sedimentos ativos de drenagem). Os objetivos específicos do trabalho foram:

i. Inicialmente realizar um diagnóstico das condições ambientais do rio Gualaxo do Norte, com

o intuito de conhecer a área estudada, demarcar os sítios amostrais e estabelecer possíveis associações entre a sua condição física atual e possíveis níveis de poluição por elementos químicos importantes;

ii. Promover o levantamento de perfis estratigráficos (nos cutbanks e nas escarpas dos terraços aluviais) ao longo da bacia do rio Gualaxo do Norte, para fins de amostragem de sedimentos, descrição e interpretações de fácies desses perfis;

iii. Realizar análises químicas nas amostras de sedimentos oriundas das diferentes fácies desses perfis e de sedimentos ativos de drenagem, buscando identificar a presença de metais pesados e de outros elementos importantes;

iv. Realizar análises granulométricas e mineralógicas dos sedimentos associando-as às fácies sedimentares, com o intuito de auxiliar na interpretação dos sistemas deposicionais correlacionando-os com a composição geoquímica;

v. Correlacionar os dados geoquímicos, mineralógicos, granulométricos e estratigráficos referentes às amostras de sedimentos coletadas em depósitos recentes (cutbanks e sedimentos ativos de drenagem) com as coletadas em depósitos sedimentares antigos (terraços aluviais);

vi. Determinar a origem dos elementos químicos presentes nos depósitos sedimentares investigados, se geogênica ou antropogênica.

## **2. BASES CONCEITUAIS E EPISTEMOLÓGICAS DO ESTUDO**

### **2.1- GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS EM SISTEMAS FLUVIAIS**

A geoquímica ambiental, tida como o estudo das inter-relações dos compostos/elementos químicos naturais e artificiais com o meio ambiente, visa conhecer, prever e controlar possíveis focos de poluição do solo, sedimentos, água superficial/subterrânea e da atmosfera (Eby 2004). Neste contexto, um interessante campo de pesquisa tem sido a análise geoquímica de sedimentos oriundos de diferentes sistemas deposicionais de ambientes fluviais, uma vez que, a contaminação dos sedimentos tem sido considerada um importante problema ambiental. Mesmo em baixas concentrações, alguns elementos químicos podem apresentar toxicidade ao meio em que estão inseridos.

Förstner et al. (2004) ressaltam que a análise química dos sedimentos tem sido uma importante ferramenta para o estudo da qualidade das águas, pois este compartimento desempenha importantes funções no meio aquático, tais como: i) efeito memória em ambientes de deposição, já que as camadas de deposição são temporal e sequencialmente acumuladas; ii) suporte à vida, pois além de representar uma parte essencial do

ecossistema aquático formando uma variedade de habitats e ambientes, fornece nutrientes para os organismos aquáticos; iii) fonte secundária, com mobilização de partículas contaminadas e subsequente liberação de contaminantes com ressuspensão natural ou artificial dos sedimentos e iv) reservatório final de contaminantes, por meio da capacidade de imobilizar elementos potencialmente perigosos, como por exemplo os metais pesados.

Conforme discutido por Rezende et al. (2011) e compartilhado por outros autores (Hakanson 1992, Altug & Balkis 2009), os sedimentos são matrizes compostas de partículas detríticas, inorgânicas ou orgânicas, relativamente heterogêneas em termos de características físicas, químicas e biológicas. Com frequência, os sedimentos são compostos de partículas finamente granuladas, que se encontram em contato com a parte inferior dos corpos de água natural, como lagos, rios e oceanos. Por possuírem propriedades de acumulação de poluentes, a determinação de elementos tóxicos nos mesmos permite avaliar o seu ciclo geoquímico (Rezende et al. 2011). Além disso, os sedimentos constituem um armazenamento temporário e podem agir como dissipadores ou fontes de metais por meio de reações de adsorção/dessorção e precipitação/dissolução (Lindell et al. 2010).

Em termos geoquímicos, pode-se dizer que nos sedimentos os elementos químicos não são homogênea e distribuídos nos diferentes tamanhos de seus grãos e, de forma geral, uma grande diferença na concentração total de metais é observada para uma mesma amostra (Förstner et al. 1981; Salomons & Förstner 1984, Mudroch et al. 1997, Jesus et al. 2004). A fração fina dos sedimentos, normalmente a inferior a 63  $\mu\text{m}$ , é a que concentra os maiores teores de metais pesados, por exemplo. Nestes casos, os sedimentos podem agir como possíveis fontes de contaminação, uma vez que, esses metais não são permanentemente fixados por eles, podendo ser novamente disponibilizados para a coluna d'água, por meio de variações nas condições ambientais tais como mudanças de pH, de potencial redox ou pela

presença de quelantes orgânicos (Lemes et al. 2003).

Outra característica importante das frações granulométricas finas (< 63  $\mu\text{m}$ ) dos sedimentos refere-se à sua associação com material orgânico. Conforme discutido por Vidal & Becker (2006), a maior parte da matéria orgânica é encontrada em estado finamente disseminado e associada a sedimentos de granulometria fina. As partículas de pequeno tamanho associam-se a maior quantidade de matéria orgânica devido à grande capacidade de adsorção das argilas (Vidal & Becker 2006).

Em muitos casos além da concentração total do elemento na amostra, faz-se necessário o conhecimento sobre a qual fase do sedimento o elemento químico está associado. Neste sentido, as técnicas de extração sequencial são uma ferramenta importante uma vez que determina a concentração das formas físico-químicas individuais dos elementos que, em conjunto, constituem a concentração total dos mesmos na amostra. Além disso, a utilização de técnicas de extração sequencial podem auxiliar na avaliação da biodisponibilidade dos metais (Lopes 2010).

Diversos estudos têm utilizado os sedimentos para a elucidação de questões importantes no campo ambiental. Alguns utilizam os sedimentos para detecção de possíveis anomalias geoquímicas em solos e ambientes rochosos e outros para avaliação da dimensão da poluição química em ambientes diversos, incluindo os mecanismos de mobilização e disponibilização de elementos tóxicos nesses sedimentos. A título de exemplificação, o quadro 2.1 sumariza alguns trabalhos recentes que estudaram sedimentos fluviais com objetivos e abordagens variadas. Outro aspecto importante envolvendo o estudo dos sedimentos refere-se aos ambientes, nos quais estes são depositados e, posteriormente, coletados para estudos. Nos últimos anos, estudos têm sido realizados utilizando-se da coleta de sedimentos em diferentes sistemas deposicionais de rios, com destaque para as planícies de inundação, terraços aluviais, cutbank, overbank, entre outros.

Quadro 2.1- Exemplos de estudos nacionais e internacionais envolvendo sedimentos fluviais

Referências	Área de estudo	Principais objetivos	Principais conclusões
Alba <i>et al.</i> (2008)	Vale do Ribeira, Estado de São Paulo, Brasil.	Avaliou-se a capacidade da geoquímica de sedimentos de corrente na detecção de áreas com solos de padrão de qualidade alterado, por meio de um sistema de informação geográfica.	O estudo sugere que os sedimentos de corrente são indicadores eficientes da presença de solos com seu padrão de qualidade alterado, principalmente quando envolvidas anomalias multivariadas expressivas. O Cu foi o elemento mais efetivo nesse sentido, com teores acima de 120 ppm nos sedimentos de corrente em 62% dos casos com constatação de alteração do padrão de qualidade do elemento no solo.
Mohiuddin <i>et al.</i> (2010)	Rio Tsurumi, cidade de Yokohama, Japão.	Investigou-se a poluição por metais pesados em água e sedimentos à jusante do rio Tsurumi no Japão.	O estudo concluiu que os metais pesados investigados eram de origem tanto litológica, quanto antrópica, e que os sedimentos e água do rio Tsurumi são enriquecidos de Zn, Cu, Cd, Pb e Cr.
Humphries <i>et al.</i> (2010)	Rio Mkuze, Província de KwaZulu-Natal, África do Sul.	Investigou-se a geoquímica de sedimentos na planície do rio Mkuze, visando identificar os processos envolvidos na retenção química e suas influências no sistema de <i>wetland</i> .	A precipitação de minerais e imobilização de solutos em sedimentos da planície de inundação do rio Mkuze possuem implicações importantes para o desenvolvimento a longo prazo da geomorfologia e ecologia do sistema <i>wetland</i> , já que tem potencial para alterar as propriedades dos sedimentos, a composição de águas subterrâneas, salinidade, distribuição, vegetação e relevo topográfico.
Rubinos <i>et al.</i> (2010)	Rio Anllóns, Província de La Coruña - Galicia, Espanha.	Avaliou-se o potencial de mobilidade de As nos sedimentos do rio sob mudanças de pH e presença de substâncias inorgânicas competitivas.	As mudanças no pH, especialmente a alcalinização e entradas de P no rio Anllóns promove maior mobilização do As, aumentando os riscos à saúde.
Rezende <i>et al.</i> (2011)	Bacia do rio São Francisco, Estado de Minas Gerais, Brasil.	Estudou-se a mobilidade dos elementos As e Hg em sedimentos, via geração de hidretos acoplada à espectrometria de absorção atômica.	Quase metade das amostras (46,0%) apresentaram concentrações de As acima do limite de nível 1 estabelecido pela Resolução nº 344/2004 do CONAMA e 14% excederam o limite de nível 1 para Hg.
Varejão <i>et al.</i> (2011)	Porção Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.	Estudou-se a distribuição e mobilidade dos elementos As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn, via extração sequencial.	A extração sequencial mostrou altas concentrações de As e outros metais pesados nos sedimentos. As concentrações de muito desses elementos mostraram-se associadas a frações facilmente mobilizadas.
Sharif <i>et al.</i> (2011)	Vale do rio Mississippi, Estado do Arkansas, Estados Unidos.	Avaliou-se a capacidade de aplicação de modelos de superfície de complexação, utilizando o código de modelação geoquímica PHREEQC para prever a fase sólida do As em sedimentos do aquífero aluvial do Vale do rio Mississippi.	Os resultados dos modelos foram satisfatórios para poços rasos (10,6 m abaixo da superfície do solo), onde a condição redox é relativamente óxida ou levemente subóxida.
Botsou <i>et al.</i> (2011)	Rio Asopos, Grécia Central.	Avaliou-se o conteúdo e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio Asopos, via dissolução total, ácido diluído e procedimentos de extração sequencial.	Os sedimentos de superfície são enriquecidos em Cu, Cd, Ni e Cr. O baixo fluxo do sistema permite que as partículas e matéria orgânica que se acumulam nas "piscinas" rasas estuarinas, sofram uma série de reações redox, formação autigênica, entre outros processos.

### 2.1.1- Sistemas deposicionais fluviais: aspectos gerais

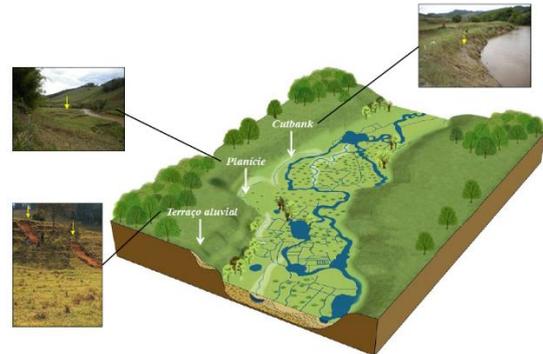
Como parte do ambiente fluvial, os sistemas de deposição apresentam grande importância na dinâmica de vários elementos químicos na bacia hidrográfica. Conforme discutido por Menezes (2004), a interpretação destes sistemas materializa a reconstrução paleogeográfica de uma determinada área, em um tempo geológico específico, tendo como base a leitura e interpretação de fácies sedimentares em afloramentos ou testemunhos, bem como o seu arranjo tridimensional. No presente estudo, o sistema planície de inundação e os depósitos terraços aluviais, cutbanks e overbanks são mencionados, sendo necessária uma abordagem descritiva sobre os mesmos.

Por definição, pode-se dizer que as planícies de inundação são sistemas deposicionais, típicos de rios meandrantés, desenvolvidos sobre a calha de um vale preenchido por sedimentos aluvionares e que apresenta meandros fluviais divagantes, devido à baixa declividade do curso do rio que, em épocas de cheia, extravasa do canal fluvial e inunda a região. As planícies de inundação ocorrem, normalmente, no baixo curso dos rios onde o relevo, mais aplainado pela erosão do que à montante, apresenta pequeno gradiente topográfico. Em consequência, a energia fluvial é diminuída e não consegue carregar muito da carga sedimentar do rio que é depositada, colmatando o vale com sedimentos fluviais (Glossário Geológico 2010) (Figura 2.1).

Os terraços aluviais são depósitos sedimentares constituídos por material aluvionar mais antigo e localizado em um nível mais alto do que as atuais planícies, o qual ficou como testemunho de um período da evolução de planícies aluvionares passadas (Figura 2.1). A origem desses terraços pode estar ligada a causas diversas, destacadamente a i) evolução geomorfológica; ii) mudanças climáticas e/ou iii) processos tectônicos que se refletem em mudança de poder erosivo da corrente fluvial, do gradiente topográfico e/ou de mudança de nível de base, levando a erosão da própria planície que deixa como testemunhos esses terraços (Glossário Geológico 2010).

Outro termo muito utilizado refere-se a cutbank, sinônimo de parede erodida do canal ou depósito dos cortes de canais de rios. Trata-se de depósitos mais recentes que os terraços aluviais, os quais podem ser facilmente observados nos canais fluviais (Figura 2.1). Já o termo overbank é atribuído

aos sedimentos finos mais recentes depositados sobre as planícies de inundação (Ferreira-Júnior & Castro 2001). Estes consistem em sedimentos em suspensão depositados quando a descarga da água excede a capacidade do canal do rio. Ressalta-se que parte destes sedimentos é depositada na porção superior dos cutbanks e representam os sedimentos que a água de inundação não consegue transportar para as porções mais distais da planície de inundação (Costa 2007).



**Figura 2.1-** Representação esquemática de terraços aluviais, cutbanks e planícies de inundação em um trecho de uma bacia hidrográfica. Modificado de Hoffmann *et al.* (2010).

É sabido que a análise dos sistemas deposicionais fluviais pode gerar dados sobre a diversidade de ambientes geomorfológicos, sobre o modo e a velocidade de formação dos referidos sistemas, suas composições, suas proximidades de fontes poluidoras, bem como sobre a diversidade de processos pós-deposicionais, tais como lixiviação e possíveis mudanças no nível freático (Miall 1982). Conforme discutido por Wolfenden & Lewin (1978), é comum que os sedimentos presentes em cutbanks ou terraços aluviais, por exemplo, estejam associados a concentrações anômalas de diversos elementos químicos inorgânicos, dentre eles os metais pesados, tornando tais sistemas locais de introdução de poluentes no ecossistema local/regional, via solo, água e plantas que neles se desenvolvem.

Neste sentido, destaca-se o problema relacionado à presença de metais pesados em planícies de inundação, locais comumente utilizados na agricultura e pecuária e que podem ainda atuar como uma importante fonte de substâncias nocivas (Friese *et al.* 2000). Conforme discutido por Costa (2007), muitos elementos tóxicos oriundos de fontes geogênicas ou antropogênicas, alguns de elevada toxicidade como

o As, Cd e Pb, podem ser depositados nas planícies de inundação a partir de sedimentos em suspensão durante as cheias ou se acumularem nos depósitos de barras de pontal, podendo interferir de maneira substancial nas cadeias e teias biológicas.

Por outro lado, em função desses processos (de deposição e/ou acumulação) os sedimentos dos depósitos aluviais também podem atuar como “relógios geológicos” na medida em que funcionam como coletores (scavengers) de elementos químicos contaminantes, permitindo que se obtenha um registro temporal da presença destes elementos no ecossistema. Neste caso, os terraços aluviais, oriundos do processo evolutivo das planícies de inundação, permitem o registro geológico associado ao comportamento geoquímico dos elementos nos sedimentos e solos (Costa et al. 2003a).

A abordagem para se reconstruir a história da poluição por diversos elementos químicos em sistemas fluviais, a partir de análises de sedimentos oriundos de cutbanks e/ou terraços aluviais, vem sendo empregada em diversos países do hemisfério norte, como demonstrado, por exemplo, nos estudos de Xie & Cheng (1997), Swennen et al. (1998), Owens et al. (1999), Renberg et al. (1999), Middelkoop (2000), Swennen & Van-der-Sluis (2002). Estas pesquisas mostram a aplicabilidade de sedimentos oriundos de depósitos aluviais no reconhecimento da história da poluição de uma determinada área. No entanto, no Brasil, tal abordagem vem sendo aplicada de forma pouco expressiva, com poucos exemplos de trabalhos a serem citados (Patchineelam et al. 1988, Lacerda et al. 1991, Rodrigues-Filho et al. 1997, Rodrigues-Filho et al. 2002, Costa et al. 2006), fato este que aumenta a necessidade de desenvolvimento de novos estudos. A escassez de estudos voltados à associação de fácies sedimentares e depósitos ou sistemas fluviais com a composição geoquímica é ainda maior.

### 2.1.2- Estratigrafia aplicada a estudos de geoquímica ambiental

No que se refere a abordagens e metodologias voltadas aos estudos de geoquímica ambiental, alguns trabalhos, sobretudo aqueles relacionados às contaminações por elementos químicos em ambientes de deposição fluviais, têm utilizado como ferramenta complementar as análises/interpretações de fácies sedimentares. Tais estudos, apoiados nos princípios da estratigrafia, fornecem dados que podem ser úteis na compreensão da dinâmica de muitos elementos tóxicos ao longo do tempo geológico.

Os trabalhos recentes de Costa et al. (2006) e Costa et al. (2010) exemplificam a utilização de tal

ferramenta. Em ambos os estudos, os autores correlacionaram dados sedimentológicos, estratigráficos e mineralógicos com a assinatura geoquímica de elementos químicos, buscando caracterizar a influência da mineração histórica do ouro no registro geoquímico de regiões importantes do QF, Minas Gerais, Brasil. Por meio das interpretações das fácies sedimentares e dos sistemas de deposição de sedimentos, os autores obtiveram informações sugestivas de interferências antropogênicas diretas ou indiretas nas concentrações de alguns elementos tóxicos. Outros estudos têm-se utilizado das análises estratigráficas em investigações sobre a contaminação de aquíferos por metais pesados (Fendorf et al. 2010, Burgess et al. 2010, Biswas 2010, Shah 2010, Uddin & Kurosawa 2010,).

De um modo geral, pode-se dizer que estes últimos e outros trabalhos sobre a geoquímica de sedimentos, fazem uso direto ou indireto dos conceitos de análises de fácies em sistemas fluviais. Conforme ressaltam Ferreira-Júnior & Castro (2001), essas análises, sobretudo quando realizadas visando o entendimento das sucessões verticais de fácies, não são meramente descritivas. Para os autores, o entendimento da natureza e origem dos depósitos sedimentares envolve além dos procedimentos descritivos, análises e interpretação das seqüências de fácies, que visam elucidar o ambiente fluvial em que se deu a sedimentação e suas condições de controle, tais como o clima e relevo.

Especificamente sobre as análises de fácies, as mesmas são abordagens metodológicas aplicadas à interpretação de depósitos fluviais. Com base nos atributos físicos, tais como granulometria, textura e estruturas sedimentares, é possível a realização de inferências sobre o nível de energia e os processos envolvidos na formação de um dado depósito sedimentar ou uma dada unidade rochosa (Ferreira-Júnior & Castro, 2001). Ainda de acordo com os autores, um ponto importante a se destacar em relação às análises de fácies, diz respeito ao próprio termo “fácies” e sua aceitação pelos pesquisadores, a partir da sua conceituação original realizada por Gressly (1838) e sua aplicação na prática.

Miall (1978) realizou uma unificação e padronização de vários conceitos relacionados ao termo “fácies” e admitiu, na época, como suficientes 10 fácies para englobar os mais diversos ambientes e regimes hidrológicos existentes nos sistemas fluviais. Porém, posteriormente, em uma revisão minuciosa, estendendo a utilização do termo “fácies” para todos os sistemas fluviais, Miall (1996) propôs um conjunto de 20 fácies. No entanto, se reconhece que não há um número

definitivo. A linha de raciocínio atualmente adotada é que se deve levantar as fácies e suas associações para cada conjunto de depósitos sedimentares ou rochas aflorantes e que, a partir de uma minuciosa divisão, se busque correlações com as codificações de Miall (1978 e 1996), tendo em mente que as diferenças encontradas podem ser frutos da própria dinâmica do meio.

Outro aspecto importante a se destacar, sobretudo, quando se menciona o termo “fácies” refere-se aos perfis estratigráficos ou sedimentológicos, tidos como representações gráficas da sucessão vertical de fácies que ocorre em um afloramento ou em depósitos expostos (Ferreira-Júnior & Castro 2001). Para os autores, apesar de apresentarem limitações técnicas, que se referem principalmente a sua perspectiva bidimensional, os perfis estratigráficos são, ainda assim, métodos eficientes para a realização de associações verticais de fácies.

## 2.2- EXPLORAÇÃO MINERÁRIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO E CONTAMINAÇÃO POR ARSÊNIO

Em face do crescimento populacional das últimas décadas e das exigências de obtenção de matéria prima indispensável para o suprimento das necessidades da vida moderna, tem sido observado um aumento das atividades extrativo-minerais. Segundo Dorr II et al. (1957), o Quadrilátero Ferrífero (QF) é um dos maiores e mais conhecido distrito mineral do mundo, sendo uma das regiões mais importantes de exploração mineral no Brasil. Trata-se de uma região localizada na porção central do Estado de Minas Gerais, a qual se estende por uma área de aproximadamente 7.000 km<sup>2</sup>. Além disso, a região apresenta concentrações

econômicas de Fe, Au, Mn, Al e topázio (Dorr II 1959).

Contudo, essa posição de destaque traz sérias implicações para o ambiente superficial. Estudos conduzidos em várias regiões do QF mostram que a exploração mineral pode acelerar a liberação e disponibilidade de uma grande carga de rejeitos enriquecidos em elementos de elevada toxicidade (Zeferino et al. 1996, Eleutério 1997, Ribeiro 1998, Borba 2002, Costa et al. 2006, Palmieri 2006, Pereira 2006, Costa et al. 2010). Embora se saiba que os elementos químicos podem estar presentes, em grandes quantidades, naturalmente em solos, sedimentos e em sistemas aquáticos superficiais e subsuperficiais, o aumento em sua concentração pode ser ocasionado pelas atividades antrópicas, principalmente as de natureza extrativo-mineral. O quadro 2.2 sumariza alguns estudos importantes desenvolvidos recentemente no QF e ressalta suas principais contribuições.

Uma das atividades extrativo-minerais que se destaca no QF, desde o século XVII, refere-se à exploração aurífera, inicialmente realizada por meio de técnicas rudimentares de extração por garimpo em aluviões (Eschwege 1833). Tal atividade, em função das associações minerais presentes nos depósitos de Au serem ricas em metais pesados, constitui uma importante fonte de elementos tóxicos para o meio superficial. Borba (2002) demonstrou que nas mineralizações auríferas mesotermiais do QF, hospedadas em “greestone belts”, participam fluidos que transportam, além do Au e As, elementos como Ag, Sb, Cu, Pb e Zn.

**Quadro 2.2-** Estudos recentes sobre a distribuição geoquímica de elementos importantes desenvolvidos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil

Referências	Área de estudo	Elementos químicos estudados	Principais achados
Costa <i>et al.</i> (2006)	Bacia do rio do Carmo, Sudeste do QF.	SiO <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> O, MgO, K <sub>2</sub> O, CaO, TiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Mn, S, As, Cu, Zn, Ba, Ni, Cr e Co	A exploração aurífera na região foi apontada como principal causa das contaminações por metais pesados nos <i>cutbanks</i> , onde a atividade garimpeira influencia no processo de selecionamento de grãos e, por consequência, a acumulação de metais no meio. Grande parte do material trabalhado pelo garimpo foi disponibilizada para os canais dos rios pelos rejeitos das minas de ouro de Ouro Preto e Mariana durante os três séculos de exploração do mineral na região.
Palmieri (2006)	Estação do Tripuí, planície aluvionar do ribeirão do Carmo e córrego	Hg, As, Sb, Al, Ba, C, Co, Cr, Cu,	Constatou-se que os elementos estudados tornaram-se biodisponíveis e acumulados preferencialmente em determinadas espécies, com destaque para a <i>Trichomycterus</i>

	Água Suja, todos na porção Sudeste do QF.	Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, V, Zn e Zr	<i>brasiliensis</i> (peixe), <i>Pteris vittata</i> e <i>Pityrogramma calomelanos</i> (ambas samambaias).
Pereira (2006)	Município de Ouro Preto, porção Sudeste do QF.	As, Al, Cd, Cu, Zn, Pb e Mn	Elementos como o As, Pb e Al apresentaram concentrações em amostras de água que ultrapassam os limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde.
Parra <i>et al.</i> (2007)	Município de Santa Bárbara, porção Nordeste do QF.	Ca, Na, K, Mg, Fe, Mn, Al, As, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Ni, V e Zn	Ao longo do rio avaliado as concentrações dos elementos maiores e metais pesados na água, estavam dentro dos níveis permitidos pela resolução CONAMA nº 357/2005 para águas das classes 1 e 2. Somente três pontos apresentaram concentrações de Fe, Ni, Pb e Cr acima destes padrões, as quais estão relacionadas com as atividades de mineração.
Andrade <i>et al.</i> (2009)	Parque Estadual do Itacolomi, porção Sudeste do QF.	Al, Fe, Mn, As, Ba, Cd, Co, Cr, Pb e Zn	A geologia local exerce grande influência nas características químicas do solo e das águas superficiais da região. A comparação com valores-padrões definidos pelas normas CETESB nº 195/2005 e CONAMA nº 357/2005 indica concentrações anômalas de diversos elementos, possibilitando a comprovação da influência geológica e pedológica na qualidade das águas.
Selmi <i>et al.</i> (2009)	Diferentes depósitos do QF.	V, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Hf e Ta	O conteúdo de metais pesados nos depósitos do QF é inferior aos das formações ferríferas de Algoma, Anamikie, Maru na Nigéria e Orissa na Índia. A abundância de elementos terras-raras é relativamente baixa, porém superior à de Hamersley na Austrália Ocidental, Surgur na Índia e inferior à de Kuruman na África do Sul.
Varejão <i>et al.</i> (2009)	Ribeirões Tripuí e do Carmo, porção Sudeste do QF.	As	O uso do método BCR para a extração de As em amostras de sedimentos contaminadas e a aplicação das condições de pré-redução do As(V) selecionadas, seguida pela detecção por HG-AAS, forneceram percentagens de recuperação entre 91 e 99%.
Costa <i>et al.</i> (2010)	Bacias do rido do Carmo e do Gualaxo do Norte, Sudeste do QF.	As	Observou-se concentrações relativamente mais elevadas de As em sedimentos da bacia do ribeirão do Carmo, quando comparadas com a bacia do rio Gualaxo do Norte. Os autores constataram forte influência da mineração de Au no enriquecimento de As nas regiões estudadas.
Rezende <i>et al.</i> (2011)	Bacia do rio São Francisco.	As e Hg	Quase a metade das amostras apresentaram concentrações de As acima do limite de nível 1 estabelecido pela Resolução nº 344/2004 do CONAMA e 4% excederam o limite de nível 1 para Hg.
Varejão <i>et al.</i> (2011)	Bacia do rio do Carmo, porção Sudeste do QF.	As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn	Concentrações de As na água foi maior que 10 mgL <sup>-1</sup> , variando de 36,7 a 68,3 mgL <sup>-1</sup> .

Dentre estes elementos químicos, o As é um dos que merece atenção especial, sobretudo, em função da sua elevada toxicidade para os sistemas biológicos. Tal elemento é considerado o elemento químico mais perigoso pela Priority List of Hazardous Substances da Comprehensive

Environmental Response, Compensation and Liability Act (ATSDR, 2011). A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2001) relata que na Tailândia e em Bangladesh, por exemplo, a contaminação de água por As tem ameaçado a saúde de milhões de pessoas. Inúmeros casos de lesões na pele já foram

diagnosticados, enquanto casos de câncer de pele e outros tipos de cânceres ainda estão sendo investigados e correlacionados com o alto teor de As nas águas destes países. Na Tailândia concentrações de As de até 5000 µg.L<sup>-1</sup> já foram registradas em águas provenientes de aquíferos rasos formados por sedimentos aluvionares contaminados pela mineração de cassiterita (WHO, 2001). Em Bangladesh, na Índia, em 1993 foi descoberto que mais de 90% das águas de poços consumidas pela população estavam contaminadas com As, sendo que apenas 10% dos moradores recebiam água encanada (WHO 2001).

No Brasil, além da região do QF, observam-se contaminações por As em outras duas principais regiões, nas quais segundo Figueiredo et al. (2003), pode ser constatada a liberação de As pelas atividades antropogênicas como a extração de metais bases, o que conduz a uma severa contaminação dos sistemas fluviais e solos das regiões. São elas: região do Vale do Ribeira, em Santa Catarina e São Paulo, altamente contaminada devido às atividades de mineração, beneficiamento e refino de minérios de “chumbo-zinco-prata”, na qual o As é naturalmente encontrado nas rochas e solos (Cunha 2003, Figueiredo et al. 2003, Abreu & Figueiredo 2004, Alba et al. 2008, Sakuma et al. 2010) e região Amazônica, incluindo a área do município de Santana e de Serra do Navio, no Estado do Amapá, onde o As é associado a minérios de manganês explorados nos últimos 50 anos (Scarpelli 2003, Santos et al. 2003, Monteiro 2005, Pereira et al. 2009).

A introdução do As no meio ambiente, particularmente nos sistemas aquáticos, ocorre de várias maneiras, podendo ser de origem natural ou antrópica. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2001), a via mais comum de exposição humana ao As é o consumo de água contaminada. Enquanto as fontes naturais de contaminação por As incluem minerais e rochas que contêm o elemento (incluindo os solos e sedimentos formados a partir dessas rochas) e fenômenos geotermiais e vulcânicos; as fontes antropogênicas provêm principalmente das atividades de mineração, sendo as pilhas de rejeitos as principais fontes de liberação do elemento no meio ambiente (Smedley et al. 2003, Ko et al. 2003).

Conforme discutido em Rodrigues & Malafaia (2008), as consequências da exposição crônica ao As para a saúde humana incluem o aumento no risco de várias formas de cânceres e outros efeitos patológicos, tais como doenças cutâneas (hiperpigmentação e hiperqueratose), gastro-intestinais, vasculares, diabetes melitus e neuropatias periféricas. Além disso, tem sido relatado em populações humanas expostas ao As,

efeitos negativos sobre o sistema imunológico dos pacientes, conforme observado no estudo de Soto-Peña et al. (2006).

Dada a necessidade de aprofundamento nas questões sobre a contaminação por elementos tóxicos, como o As, bem como sobre a elucidação da sua dinâmica, disponibilidade e concentrações em contextos geológicos distintos, várias são as aplicações dos estudos de geoquímica ambiental. Uma delas refere-se ao estabelecimento de valores de background geoquímico, campo este que apresenta implicações diretas nas questões ambientais, sobretudo naquelas ligadas à avaliação de áreas contaminadas ou que estão sob risco potencial de contaminação (Albanese et al. 2007, Peh et al. 2010, Guillén et al. 2011, Bini et al. 2011).

## REFERÊNCIAS

- Abreu M.C.; Figueiredo B.R. 2004. Mapeamento geoquímico de arsênio e metais pesados em solo da unidade Piririca, Vale do Ribeira (SP). In: Congresso Brasileiro De Geologia, 42., 2004, Araxá, MG. Anais. Araxá: SBG, 2004.
- Alba J.M.F., Filho C.R.S., Figueiredo B.R. 2008. Análise da assinatura geoquímica de solos e de sedimentos de corrente no Vale do Ribeira (SP) por meio de um sistema de informação geográfica. Revista Brasileira de Geociências, 38(1):66-77.
- Albanese S., Vivo B.D., Lima A., Cicchella D. 2007. Geochemical background and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy). Journal of Geochemical Exploration, 93(1):21-34.
- Altug G., Balkis N. 2009. Levels of some toxic elements and frequency of bacterial heavy metal resistance in sediment and sea water. Environmental Monitoring and Assessment, 149: 61-69
- Andrade L.N., Praça-Leite M.G., Bacellar L.A.P. 2009. Influência geológica em assinaturas químicas das águas e solos do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais. REM: Revista da Escola de Minas, 62(2):147-154.
- Bini C., Sartori G., Wahsha M., Fontana S. 2011. Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy. Journal of Geochemical Exploration, 109(1-3): 125-133.
- Biswas B. 2010. Geomorphic Controls of Arsenic in Ground Water in Purbasthali I & II Blocks of Burdwan District, West Bengal, India. International Journal of Environmental Sciences, 1(4):429-439.

- Borba R.P. 2002. Arsênio em ambiente superficial: processos geoquímicos naturais e antropogênicos em uma área de mineração aurífera. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Dissertação de Mestrado, 111p.
- Botsou F., Karageorgis A.P., Dassenakis E., Scoullou M. 2011. Assessment of heavy metal contamination and mineral magnetic characterization of the Asopos River sediments (Central Greece). *Marine Pollution Bulletin*, 62(3):547-63
- Burgess W.G., Hoque M.A., Michael H.A., Voss C.I., Breit G.N., Ahmed K.M. 2010. Vulnerability of deep groundwater in the Bengal Aquifer System to contamination by arsenic. *Nature Geoscience*, 3:83-87.
- Costa A.T. 2007. Registro histórico de contaminação por metais pesados, associados à exploração aurífera no alto e médio curso da bacia do ribeirão do Carmo, QF: Um estudo de sedimentos de planícies de inundação e terraços aluviais. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Tese de Doutorado, 257p.
- Costa A.T., Nalini-Jr H.A., Castro P.T.A., Friese K. 2006. Sediment contamination in floodplains and alluvial terraces as an historical record of gold exploitation in the Carmo River basin, Southeast Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 34:245-256.
- Dorr II J.V.N. Gair J.E., Pomerene J.B., Rynearson G.A.. 1957. Revisão da estratigrafia Pré-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Brasil. DFPM, DNPM 81. 31p.
- Eby G.N. 2004. Principles of environmental geochemistry. Thomson Brooks, Cole. 514p.
- Eleutério L. 1997. Diagnóstico da situação ambiental da cabeceira da bacia do rio Doce, MG, no âmbito das contaminações por metais pesados em sedimentos de fundo. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Tese de Doutorado, 154p.
- Eschwege W. L. von. 1833. *Pluto Brasiliensis*. Berlin, G. Reimer Verlag. 622p.
- Fendorf S., Michael H.A., van-Geen A. 2010. Spatial and Temporal Variations of Groundwater Arsenic in South and Southeast Asia. *Science*, 328:1123-1127.
- Ferreira-Júnior P.D., Castro P.T.A. 2001. Associação vertical de fácies e análise de elementos arquiteturas: concepções concorrentes e complementares na caracterização de ambientes aluviais. *Revista Electrónica de Ciências da Terra (Geosciences On-line Journal)*, 1(1):1-35.
- Figueiredo B.R., Cunha F.G., Paoliello M.M.B., Capitani E.M., Sakuma A., Enzweiler J. 2003. Environment and human exposure to lead, cadmium and arsenic in the Ribeira Valley, southeastern Brazil. In: *Proceedings of the 6th International Symposium on Environmental Geochemistry*, Edinburgh, Scotland; 2003.
- Förstner U., Heise S., Schwartz R., Westrich B., Ahlf W. 2004. Historical contaminated sediments and soils at the river basin scale. Examples from the Elbe River catchment area. *Journal Soils & Sediments*, 4(4):247-260.
- Friese K., Miehl G., Witter B., Brack W., Buettner O., Gröngroft A., Krüger F., Kunert M., Rupp H., Schwartz R., van der Veen A., Zachmann D.W. 2000. Distribution and Fate of Organic and Inorganic Contaminants in a River Floodplain-Results of a Case Study on the river Elbe, Germany. In: M. Dekker (ed) *Remediation Engineering of Contaminated Soils*. Inc. New York-Basel, 373-426
- Glossário Geológico. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/Aparados/glossario\\_geologico.htm](http://www.cprm.gov.br/Aparados/glossario_geologico.htm).
- Guillén M.T., Delgado J., Albanese S., Nieto J.M., Lima A., De Vivo B. 2011. Environmental geochemical mapping of Huelva municipality soils (SW Spain) as a tool to determine background and baseline values. *Journal of Geochemical Exploration*, 109(1-3):59-69.
- Hakanson L. 1992. Sediment Variability. In: G.A. Burton-Jr (ed) *Sediment Toxicity Assessment*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 19-36
- Humphries M.S., Kindness A., Ellery W.N., Hughes J.C. 2010. Sediment geochemistry, mineral precipitation and clay neof ormation on the Mkuze River floodplain, South Africa. *Geoderma*, 157: 15-26.
- 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.
- Ko I., Ahn J.S., Park Y.S., Kim K. 2003. Arsenic Contamination of soils and sediments from tailings in the vicinity of Myungbong Au mine, Korea. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 15 (3): 67-74.
- Lacerda L.D., Salomons W., Pfeiffer W.C., Bastos W.R. 1991. Mercury distribution in sediment profiles of remote high Pantanal lakes, Central Brazil. *Biogeochemistry*, 14: 72-79.

- Lindell L., Åström M.E., Sarenbo S. 2010. Effects of forest slash and burn on the distribution of trace elements in floodplain sediments and mountain soils of the Subandean Amazon, Peru. *Applied Geochemistry*, 25(8):1097-1106.
- Lopes R.A. 2010. Extração sequencial de cabmetais pesados em sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê (SP): partição entre as fases lábil e residual. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 181 f.
- Menezes L. 2004. Mapeamento digital de análogos a reservatório petrolíferos: exemplo para depósitos fluviais da unidade Açú-3 – Bacia Potiguar. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 135p.
- Miall A.D. 1978. Facies types and vertical profiles models in braided river deposits: a summary. In: A.D.
- Miall (ed.) *Fluvial sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5 597-604.
- Miall A.D. 1982. Analysis of fluvial depositional systems. Okla, University of Toronto. 75p.
- Miall A.D. 1996. The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. Springer Verlag. 582p.
- Middelkoop H. 2000. Heavy-metal pollution of the river Rhine and Meuse floodplains in the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences*, 79(4):411-428.
- Mohiuddin K.M., Zakir H.M., Otomo K., Sharmin S., Shikazono N. 2010. Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International journal of Environmental Science and Technology*, 7(1): 17-28.
- Monteiro M.A. 2005. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. *Estudos Avançados*, 19(53): 187-207.
- Mudroch A., Azcue J., Mudroch P. 1997. Manual of physico-chemical analysis of aquatic sediments. Florida, EUA, CRC Press. 287p.
- Owens P.M., Walling D.E., Leeks G. 1999. Use of floodplain sediment cores to investigate recent historical changes in overbank sedimentation rates and sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. *Catena*, 36:21-47
- Palmieri, H. E. L., et al. 2006. Quantification and speciation of mercury in soils from the Tripuí Ecological Station, Minas Gerais, Brazil. *Science of The Total Environment*, 368(1): 69-78.
- Parra R.R., et al. 2007. Influência Antrópica na Geoquímica de Água e Sedimentos do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Brasil. *Geochimica Brasiliensis*, 21(1): 36-49.
- Patchineelam S.R. et al. 1988. Atmospheric lead deposition into Guarapina Lagoon, Rio de Janeiro State, Brazil. In: U. Seeliger, L.D. Lacerda, S.R. Patchineelam (eds.). *Metals in Coastal Environments of Latin America*. Springer-Verlag, Heidelberg, New York, Tokyo. 65-76p.
- Peh Z., Miko S., Hasan O. 2010. Geochemical background in soils: a linear process domain? An example from Istria (Croatia). *Environmental Earth Sciences*, 59(6):1367-1383.
- Pereira S.F.P., Oliveira G.R.F., Oliveira J.S., Silva J.S., Junio P.M.S. 2009. Determinação espectrofotométrica do arsênio em solo da cidade de Santana-AP usando o método do dietilditiocarbamato de prata (SDDC) modificado. *Acta Amazonica*, 39(4): 953-960.
- Pereira, M.A. 2006. Estudo de elementos-traço em águas de abastecimento urbano e contaminação humana: um caso de Ouro Preto, MG. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 76p.
- Renberg I., et al. 1999. The medieval metal industry was the cradle of modern large-scale atmospheric lead pollution in Northern Europe. *Environmental Science and Technology*, 33: 4391-4395.
- Rezende P.S., Moura P.A.S., Durão-Jr W.A., Nascentes C.C., Windmoller C.C., Costa L.M. 2011. Arsenic and Mercury mobility in Brazilian sediments from the São Francisco river basin. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 22(5): 910-918.
- Ribeiro R.K. 1998. Mineralogia, Geoquímica e Gênese das ocorrências Auríferas no Flanco Norte do anticlinal de Mariana, Quadrilátero Ferrífero: Uma Nova Tipologia de Minério denominada Bugre. Universidade de Brasília, Brasília, DF, Dissertação de Mestrado, 116p
- Rodrigues A.S.L., Malafaia G. 2008. Efeitos da exposição ao arsênio na saúde humana. *Revista Saúde.com*, 4(2):148-159.
- Rodrigues-Filho S., et al. 2002. Evolução temporal da poluição por metais pesados em sedimentos do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, CETEM/MCT. 220p.
- Rodrigues-Filho, S. & Maddock J.E.L. 1997. Mercury Pollution in Two Gold Mining Areas of the Brazilian Amazon. *Journal of Geochemical Exploration*, 58: 231-240

- Rubinos D., Iglesias L., Devesa-Rey R., Díaz-Fierros F., Barral M.T. 2010. Arsenic release from river sediments in a gold-mining area (Anllóns River basin, Spain): effect of time, pH and phosphorous concentration. *European Journal of Mineralogy*, 22: 665-678.
- Sakuma A.M., et al. 2010. Arsenic exposure assessment of children living in a lead mining area in Southeastern Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, 26(2):391-398
- Salomons W. & Förstner U. 1984. *Metals in Hydrocycle*. Berlin, Springer-Verlag. 110p.
- Santos E.C.O., et al. 2003. Exposição ao mercúrio e ao arsênio em Estados da Amazônia: síntese dos estudos do Instituto Evandro Chagas/FUNASA. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 6(2): 171-185.
- Scarpelli W. 2003. Arsênio do minério de manganês de Serra do Navio. *Novos Cadernos NAEA*, 6(1): 101-133.
- Selmi M., Lagoeiro L., Endo I. 2009. Geochemistry of hematite and itabirite, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *REM: Revista da Escola de Minas*, 62(1): 35-43
- Shah B.A. 2010. Arsenic contaminated groundwater in Holocene sediments from parts of middle Ganga plain, Uttar Pradesh, India. *Current Science*, 98(10):1359-1365.
- Sharif M.S.U., et al. 2011. Surface complexation modeling for predicting solid phase arsenic concentrations in the sediments of the Mississippi River Valley alluvial aquifer, Arkansas, USA. *Applied Geochemistry*, 26: 496-504.
- Smedley P. L., Zhang G., Luo Z. 2003. Mobilisation of arsenic and other trace elements in fluviolacustrine aquifers of the Hunhot Basin, Inner Mongolia. *Applied Geochemistry*, 18 (9):1453- 1478.
- Soto-Peña G.A., et al. 2006. Assessment of lymphocyte subpopulations and cytokine secretion in children exposed to arsenic. *FASEB*, 20:779-81.
- Swennen R., et al. 1998. Geochemistry of overbank and high-order stream sediments in Belgium and Luxembourg: a way to assess environmental pollution. *Journal of Geochemical Exploration*, 62: 67-79.
- Swennen R., Van der Sluys J. 2002. Anthropogenic impact on sediment composition and geochemistry in vertical overbank profiles of river alluvium from Belgium and Luxembourg. *Journal of Geochemical Exploration*, 75:93-105.
- Uddin M.S. & Kurosawa K. 2010. Effect of chemical nitrogen fertilizer application on the release of arsenic from sediment to groundwater in Bangladesh. *Urban Environmental Pollution*, 4: 294-302.
- Varejão E.V.V, Bellato C.R., Fontes M.P.F., Mello J.W.V. 2011. Arsenic and trace metals in river water and sediments from the southeast portion of the Iron Quadrangle, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 172: 631-642.
- Varejão E.V.V, Bellato C.R., Fontes M.P.F., Mello J.W.V. 2011. Arsenic and trace metals in river water and sediments from the southeast portion of the Iron Quadrangle, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 172: 631-642.
- Vidal, R. M. B. & Becker, H. 2006. Distribuição de manganês, ferro, matéria orgânica e fosfato nos sedimentos do manguezal do rio Pirajá, Ceará. *Arquivos de Ciências do Mar*, 39: 34-43.
- Wolfenden P.J. & Lewin J. 1978. Distribution of metal pollutants in active stream sediments. *Catena*, 5: 67-78.
- World Health Organization (WHO). 2001. *United Nations Synthesis Report on Arsenic in Drinking water*, Geneva, World Health Organization. Disponível em [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/Arsenic/ArsenicUNReptoc.htm](http://www.who.int/water_sanitation_health/Arsenic/ArsenicUNReptoc.htm)
- Xie X. & Cheng H. 1997. The suitability of floodplain sediment as a global sampling medium: evidence from China. *Journal of Geochemical Exploration*, 58: 51-62.
- Zeferino J., Tobschall H.J., Heitzmann Jr J.F.E., Roeser H.M.P. 1996. Contaminação Antropogênica de Mercúrio em sedimentos fluviais no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie. Teil I*, 7/9:677-683.