

Construção de mapas geoquímicos a partir de sedimentos ativos de margens oriundos do Rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil

Aline Sueli de Lima Rodrigues¹, Hermínio Arias Nalini Júnior², Adivane Terezinha Costa²,
Guilherme Malafaia¹

RESUMO

Considerando que o mapeamento de recursos naturais podem subsidiar o estabelecimento de políticas de governo para o meio ambiente, de forma a contribuir com a utilização adequada dos recursos naturais, bem como possibilitar a melhoria na qualidade de vida, este estudo visou construir mapas de distribuição dos elementos Fe, As, Pb, Mn, Ba, Zn e Ni na bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil. Para isso, foram coletadas 51 amostras de sedimentos ativos de margens ao longo da referida bacia. Em seguida, os resultados das análises químicas dessas amostras, em associação com os valores de *background* propostos para os elementos, foram utilizados para a construção de diferentes mapas geoquímicos, por meio do Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os resultados obtidos evidenciam contribuições antropogênicas no enriquecimento de metais tais como Mn, Ba e Fe, assim como evidenciam que as contaminações por elevadas concentrações desses elementos podem extrapolar para bacias subsequentes à estudada, o que certamente agrava o problema de poluição identificado. Em adição, foi evidenciado que as atividades atuais de exploração aurífera na bacia, podem não estar disponibilizando concentrações elevadas de As e Pb, ambos metais altamente tóxicos, o que pode ser explicado pela diminuição considerável de exploração, quando comparada à exploração histórica na região.

Palavras-chave: geoquímica ambiental; bacia hidrográfica; sedimentos.

Construction of geochemical maps from active sediment originating banks of North Gualaxo Rio, Minas Gerais, Brazil

ABSTRACT

Whereas geochemical maps can support the establishment of government policies for the environment, in order to contribute to the proper use of natural resources as well as possible to improve the quality of life, this study aimed to build distribution maps of the elements Fe, As, Pb, Mn, Ba, Zn and Ni in the River North Gualaxo basin, MG, Brazil. To do this, 51 samples were collected active sludge margins along said basin. Then, results of chemical analysis of samples, in association with the proposed values for background elements were used to construct maps of different geochemical through the Geographic Information System (GIS). The results show anthropogenic contributions to the enrichment of metals such as Mn, Ba and Fe, as well as evidence that the contamination by high concentrations of these elements can extrapolate to the subsequent basins studied, which certainly exacerbates the problem identified. In addition, it was shown that the current activities of gold exploration in the basin may not be providing high concentrations of As and Pb, both highly toxic metals, which can be explained by the considerable decrease of exploration, when compared to historical exploration in the region.

Keywords: environmental geochemistry; watershed; sediments.

Autor para correspondência: Aline Sueli de Lima Rodrigues
Rodovia Geraldo Silva Nascimento, km 2,5, s/n, Zona Rural, Urutaí, GO, Brasil.
E-mail: alineifgoiano@gmail.com
Recebido em: 01 mar. 2015
Aceito em: 23 mar. 2015

¹Instituto Federal Goiano – Câmpus Urutaí, GO, Brasil.

²Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil.

INTRODUÇÃO

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.

Em termos geoquímicos, pode-se dizer que nos sedimentos os elementos químicos não são homogeneamente 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 μm , 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).

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. Um interessante campo de pesquisa, refere-se à construção de mapas geoquímicos, construídos a partir de valores de *background* para elementos químicos de uma determinada área. Conforme discutido por Costa (2007), a elaboração de mapas geoquímicos com enfoque geoambiental, é considerada ferramenta importante na gestão territorial, podendo esses mapas serem transformados em guias de alerta aos gestores públicos com relação à necessidade de remediação de locais onde são identificadas concentrações anômalas de elementos altamente tóxicos aos seres humanos e à toda comunidade biótica dos ecossistemas.

Neste contexto, no presente estudo objetivou-se construir mapas geoquímicos de alguns elementos químicos em sedimentos ativos coletados na bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil. Entende-se que este trabalho possui grande interesse geoambiental e de saúde, uma vez que, a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode subsidiar o estabelecimento de políticas de governo para o meio ambiente, de forma a contribuir com a utilização adequada dos recursos naturais, bem como possibilitar a melhoria na qualidade de vida.

MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo foram coletadas amostras de sedimentos ativos de drenagem em 51 pontos nas margens do rio Gualaxo do Norte (MG, Brasil) e também nas margens de alguns de seus afluentes (Figura 1). Em seguida, todas as amostras de sedimentos coletadas, na fração granulométrica inferior a 63 μm , foram digeridas parcialmente com água régia, conforme metodologia modificada de López-Sánchez et al. (2002). Em alíquotas de $1 \pm 0,0005$ g das amostras, foram adicionados 7 mL de HCl ($12,0 \text{ mol.L}^{-1}$) e 2,3 mL de HNO₃ ($15,8 \text{ mol.L}^{-1}$) em béqueres de 100 mL tampados com vidros de relógio. Esta solução foi mantida em temperatura ambiente por 16 h e a quente (70 a 80°C) por 2 h com agitação eventual. Em seguida, a solução foi filtrada em membranas de celulose de 0,045 μm e transferida para balões volumétricos, tendo seu volume ajustado para 50 mL. Na sequência, as concentrações dos elementos químicos foram determinadas por Espectrômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), equipamento da marca

Spectro, modelo Ciros CCD, do Laboratório de Geoquímica Ambiental, Degeo, UFOP.

Para a construção dos mapas geoquímicos utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando-se o *software* ArcGis 10, bem como os valores de *background* dos elementos Fe, As, Pb, Mn, Ba, Zn e Ni para a região da bacia do rio Gualaxo do Norte (MG, Brasil), propostos por Rodrigues (2012). Salienta-se que a proposição destes valores de *background* foi baseada nas seguintes técnicas: representações *boxplot*, curvas de frequência acumulada em escala linear, técnica iterativa 2σ e função de distribuição calculada.

Vale salientar que a distribuição dos elementos químicos foi representada por

simbologia própria, ou seja, círculos com coloração que variou do azul ao vermelho. Os círculos de coloração azul representam os valores abaixo do limite de quantificação (LQ) da técnica analítica utilizada. Aqueles de coloração verde representam as concentrações compreendidas no intervalo [LQ a 0,5VB], onde VB é igual ao valor de *background* estabelecido para cada elemento. Os círculos amarelos indicam concentrações de [0,5VB a VB], os de coloração laranja representam concentrações compreendidas no intervalo [VB a 1,5VB] e os círculos vermelhos indicam valores acima de 1,5VB, indicando alto risco de contaminação ambiental.

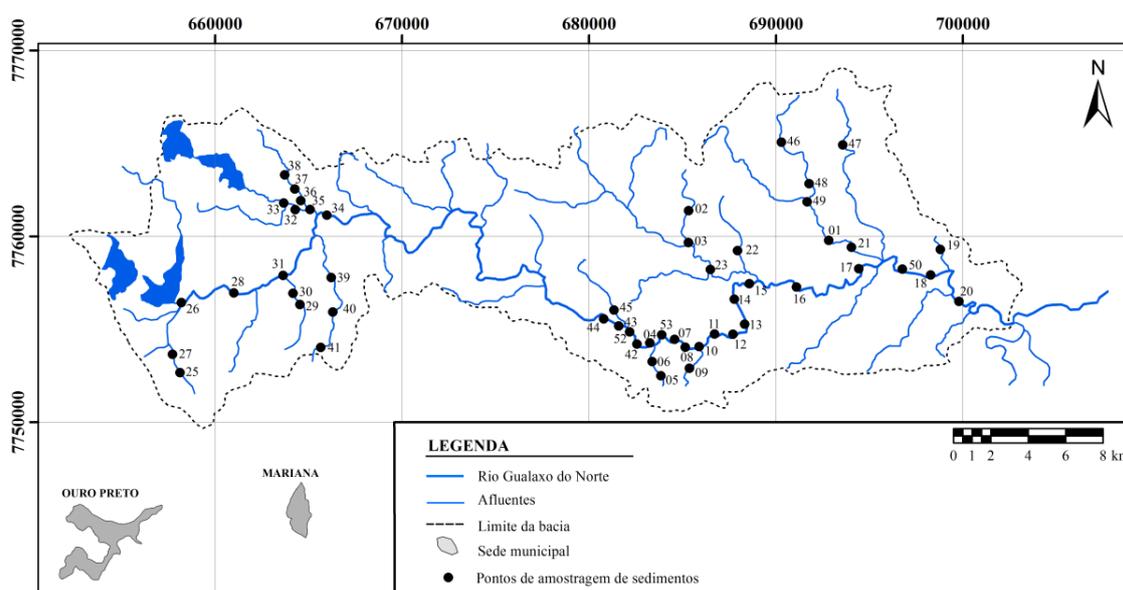


Figura 1. Localização geográfica dos pontos de amostragem de sedimentos ativos de drenagem, bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição geoquímica do ferro

O elemento Fe, sobretudo, na forma de óxidos e/ou hidróxidos possui grande capacidade de captura de metais pesados. Elementos como o Ba, Mn, Cu, Pb e Ni apresentam-se ligados a óxi-hidróxido de ferro, o qual acaba por influenciar a distribuição desses metais. No mapa geoquímico do Fe (Figura 2) é possível notar que a maioria das concentrações elevadas para o elemento, ou seja, aquelas acima do valor de *background* estabelecido (círculos laranja e vermelho) foi identificada em sedimentos coletados nas margens do rio Gualaxo do Norte e não nos seus afluentes.

Esses dados reforçam a hipótese de enriquecimento de ferro não apenas relacionado à geologia local (ou seja, às rochas supracrustais ricas em ferro, típicas do QF), mas também por incremento causado por possíveis escapes acidentais de rejeitos das minerações de ferro

oriundas das barragens e bacias de contenção localizadas na cabeceira da bacia.

Conforme discutido por Rodrigues et al. (2014), as elevadas concentrações de Fe observadas no baixo curso da bacia podem ser oriundas de sedimentos carregados pelo rio ao longo de anos de exploração observada no seu alto curso. A identificação, nas margens e nos sedimentos de fundo do rio Gualaxo do Norte, ao longo de toda a sua extensão, de material predominantemente composto por partículas de granulometria areia fina a média, siltosas e sem características de plasticidade, de aspecto lamoso escuro, típicas de rejeitos provenientes do beneficiamento do minério de ferro, corrobora essa hipótese.

Estudos disponíveis na literatura demonstram elevadas concentrações de Fe em rejeitos do beneficiamento do elemento presentes nas barragens de Santarém, Germano, Natividade e do Completo Timbopeba (Costa 2001, Matsumura

1999, Pires et al. 2003, Beirigo 2005). Todas essas barragens funcionam como bacias de decantação para os efluentes do processamento do minério de

ferro provenientes das empresas mineradoras localizadas no alto curso da bacia do rio Gualaxo do Norte.

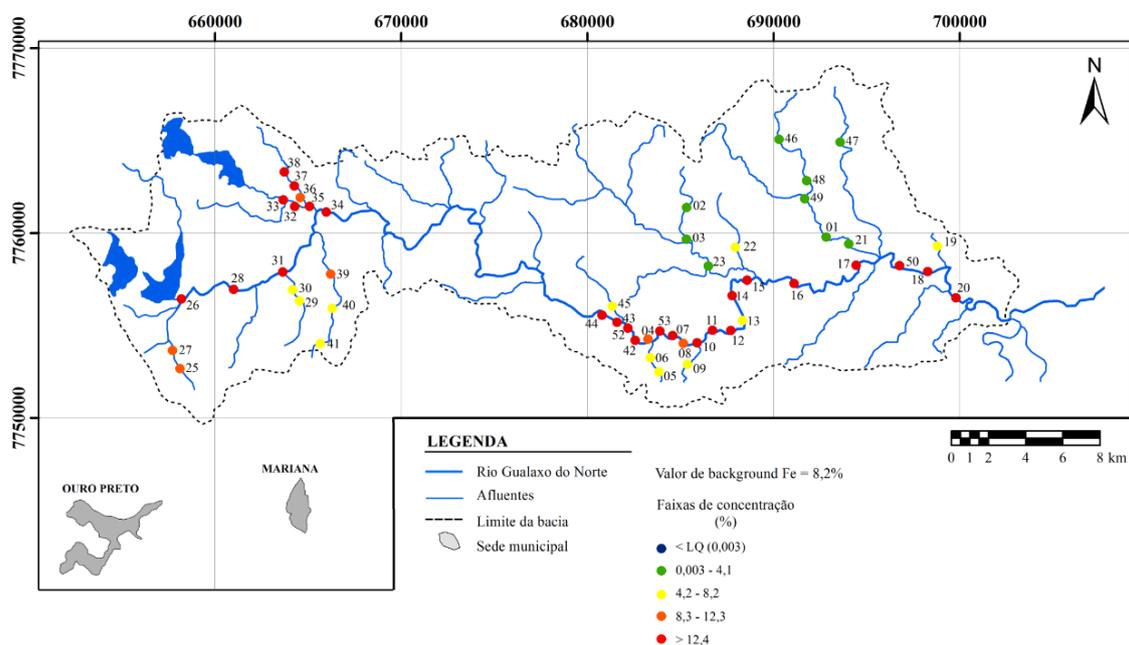


Figura 2. Mapa da distribuição geoquímica do ferro para sedimentos ativos de drenagem coletados na bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil.

Ainda que tais barragens de rejeito possam apresentar estratégias que objetivam reter os sólidos presentes nos efluentes gerados no beneficiamento do minério de ferro e que as condições de segurança dessas barragens sejam monitoradas periodicamente, passando inclusive por auditorias externas e internas, também periódicas, há a possibilidade e evidências de escape desses rejeitos. Não é esperado em condições naturais, enriquecimento tão elevado de Fe em sedimentos de fundo ou de margens do rio Gualaxo do Norte, sobretudo, quando as concentrações identificadas nos sedimentos de seus afluentes são comparadas. Pontos de amostragem localizados próximos às barragens, em especial, apresentam concentrações de Fe de até 48,3%, o que significa um aumento de quase 6 vezes em relação ao valor de *background* estabelecido para o elemento (8,2%).

É importante ressaltar que estes dados evidenciam que a contaminação por elevadas concentrações de Fe não se restringe à cabeceira da bacia estudada, onde ocorre intensa exploração do minério de ferro. Pelo contrário, se estende até o baixo curso da bacia, com possibilidade de se estender para bacias subsequentes. A elevada concentração de Fe observada no ponto P20 (>12%), aquele de localização mais próxima à foz da

bacia estudada (portanto mais distante das minerações de ferro), corrobora essa hipótese.

Distribuição geoquímica do arsênio e chumbo

Em relação ao As, o mapa geoquímico confeccionado evidencia concentração superior ao valor de *background* estabelecido ($64,2 \text{ mg.kg}^{-1}$) apenas nos pontos P25 e P27, ambos localizados no alto curso da bacia do rio Gualaxo do Norte (Figura 3). Essas elevadas concentrações coincidem com aquelas observadas em perfis estratigráficos estudados por Rodrigues (2012), cuja origem parece estar relacionada diretamente com a intensa atividade garimpeira de ouro na localidade de Antônio Pereira. De acordo com Ribeiro (1998), o minério aurífero historicamente lavrado em Antônio Pereira, denominado de "Bugre" pelos garimpeiros, consiste no equivalente intemperizado de veios quartzo-dolomíticos sulfetados onde estão presentes os minerais: dolomita, quartzo e arsenopirita, com traços de clorita, fluorita, pirita, pirrotita, calcita e turmalina. Conforme revisto por Costa (2007), os rejeitos da exploração aurífera em Antônio Pereira foram lançados diretamente por mais de 200 anos no córrego Água Suja, afluente do rio Gualaxo do Norte, no qual os pontos P25 e P27 estão localizados. Nos demais pontos, incluindo aqueles localizados ao longo do rio principal da bacia e seus afluentes, observou-se, em sua

maioria, concentração de As abaixo do limite de quantificação da técnica ou concentrações de até a

metade do valor de *background* estabelecido, o que representa baixo risco de contaminação.

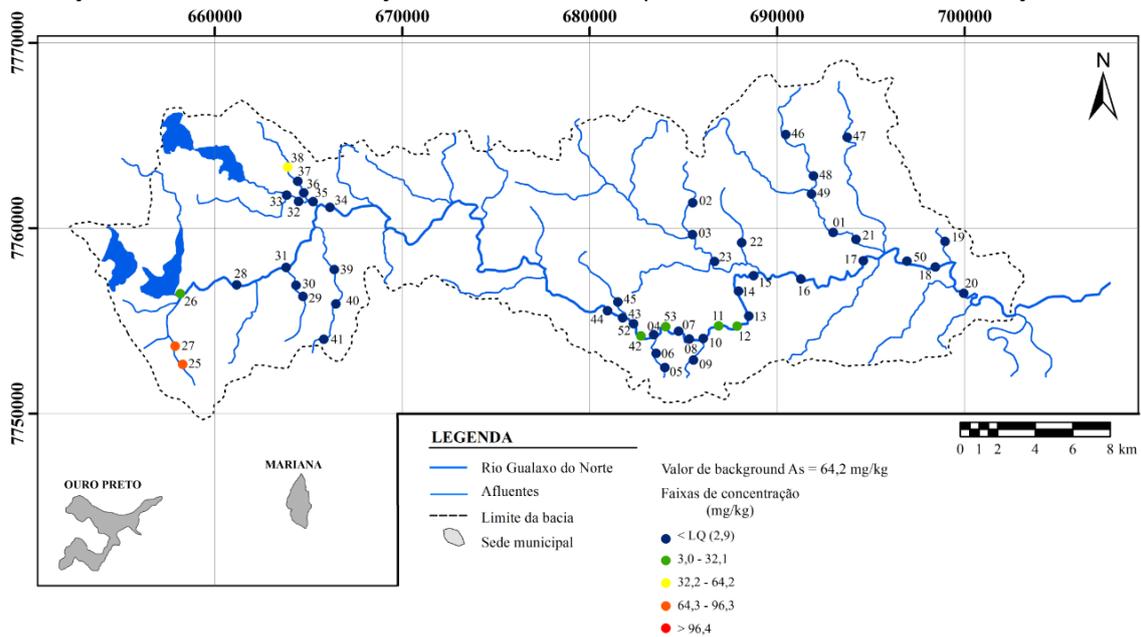


Figura 3- Mapa da distribuição geoquímica do arsênio para sedimentos ativos de drenagem coletados na bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil.

Para o elemento Pb, observou-se uma distribuição geoquímica semelhante à observada para o As, ou seja, não foram identificadas concentrações anômalas do elemento nos pontos

amostrados. A maioria dos pontos de amostragem coletados revela concentrações próximas ao valor de *background* estabelecido para o Pb (43,8 mg.kg⁻¹ – círculos amarelos) (Figura 4).

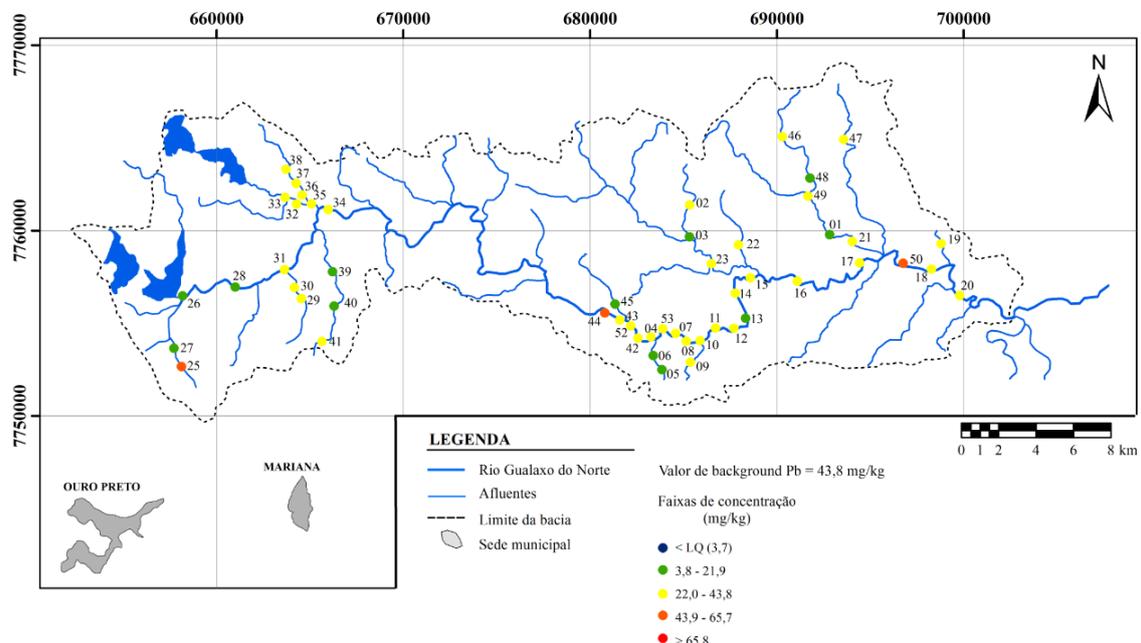


Figura 4. Mapa da distribuição geoquímica do chumbo para sedimentos ativos de drenagem coletados na bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil.

Esses dados podem indicar que a exploração aurífera atual, de intensidade inferior à observada no passado, provavelmente não apresenta influência direta nas concentrações de As e Pb nos

sedimentos ativos da bacia. Conforme mostrado em Rodrigues (2012), em muitos locais da bacia do rio Gualaxo do Norte observa-se apenas evidência de antiga exploração de ouro (garimpos

abandonados). A presença de garimpo em franca atividade foi observada, sobretudo, no médio curso da bacia (garimpo de Engenho Podre) e na localidade de Antônio Pereira, na qual se observa a exploração por meio de catas. Nessas localidades observa-se intenso processo de assoreamento dos cursos d'água da bacia devido ao revolvimento dos sedimentos fluviais e ao desmatamento, com a presença de pequenos lagos artificiais.

É provável que no passado a exploração aurífera na região tenha contribuído mais intensamente com a distribuição desses elementos nos sedimentos fluviais, os quais teriam sido depositados em uma sucessão de eventos naturais, cuja presença se evidencia nas fácies sedimentares de *cutbanks* e terraços aluviais, sobretudo, naqueles relativamente mais jovens.

Distribuição geoquímica do manganês e bário

Quanto aos mapas geoquímicos dos elementos Mn (Figura 5) e Ba (Figura 6), estes também revelam maiores concentrações dos

elementos acima dos valores de *background* estabelecidos ($1636,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $141,4 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente) em sedimentos ativos do rio Gualaxo do Norte e não nos seus afluentes. Esses dados reforçam a hipótese de que a elevada concentração dos elementos esteja relacionada à exploração intensa de Mn na mina de Miguel Congo, localizada também na cabeceira da bacia do rio Gualaxo do Norte. Os rejeitos do processamento de minério de manganês ferruginoso acumulados na barragem de Miguel Congo podem ser responsáveis pelas elevadas concentrações do elemento nos sedimentos ativos do rio Gualaxo do Norte. As elevadas concentrações de Ba, por sua vez, podem ser explicadas pela forte correlação deste elemento com o Mn, conforme discutido em Rodrigues (2012) e corroborado por Costa (2001), Cabral et al. (2002) e também por Costa (2007), trabalho este que evidenciou que a distribuição espacial do Ba está fortemente correlacionada com a do Mn, em sedimentos de canal e de planícies de inundação..

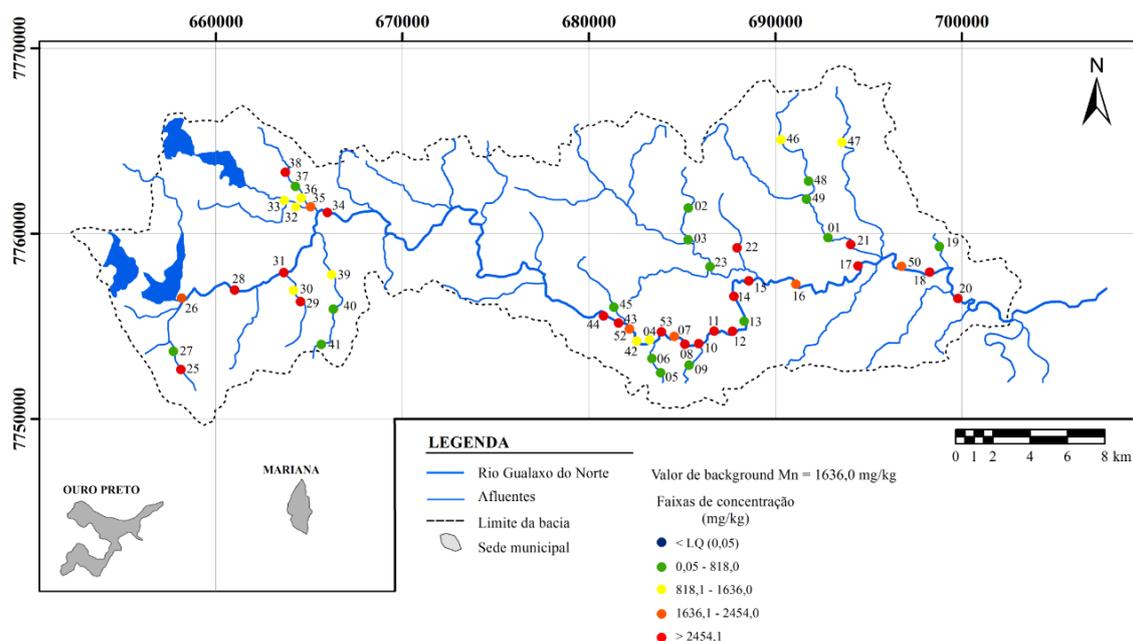


Figura 5. Mapa da distribuição geoquímica do manganês para sedimentos ativos de drenagem coletados na bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil.

Esses resultados, assim como aqueles observados para o Fe, evidenciam que as contaminações por elevadas concentrações de Ba e Mn também se estendem do alto ao baixo curso da bacia, com possibilidade de se estender para bacias subsequentes à estudada, não sendo tais contaminações, portanto, restritas à área de exploração de destes elementos (alto curso da bacia investigada).

Distribuição geoquímica do zinco e níquel

O mapa geoquímico do Zn, conforme pode ser observado na Figura 7, mostra que concentrações relativamente baixas ou próximas ao valor de *background* estabelecido ($65,3 \text{ mg.kg}^{-1}$) foram predominantes encontradas na bacia estudada. Embora tenham sido identificados por Rodrigues (2012), pelo método de extração sequencial, percentuais de Zn associados a frações mais lábeis (troçável, redutível e oxidável), a maior parte do elemento na bacia do rio Gualaxo do Norte parece estar relacionada à geologia local (o que é

corroborado pelos altos percentuais do elemento associado à fração residual). Não foram identificadas atividades de origem antrópica que possivelmente explicariam as elevadas

concentrações do elemento nos pontos P09, P21, P23 e P46, estando essas associadas a anomalias geoquímicas geogênicas.

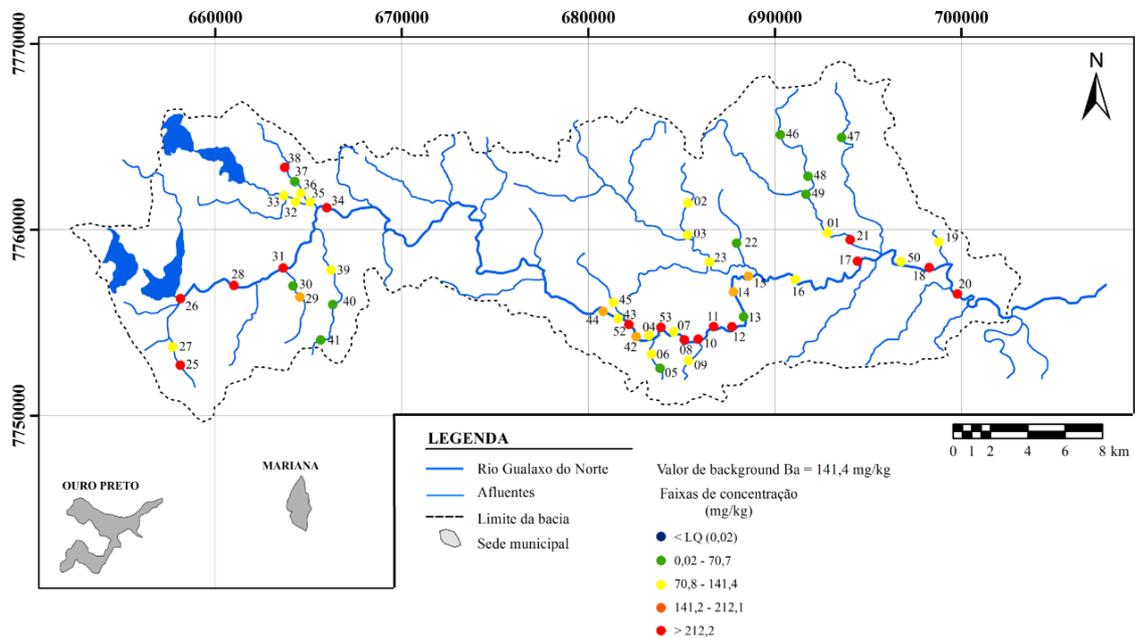


Figura 6. Mapa da distribuição geoquímica do bário para sedimentos ativos de drenagem coletados na bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil.

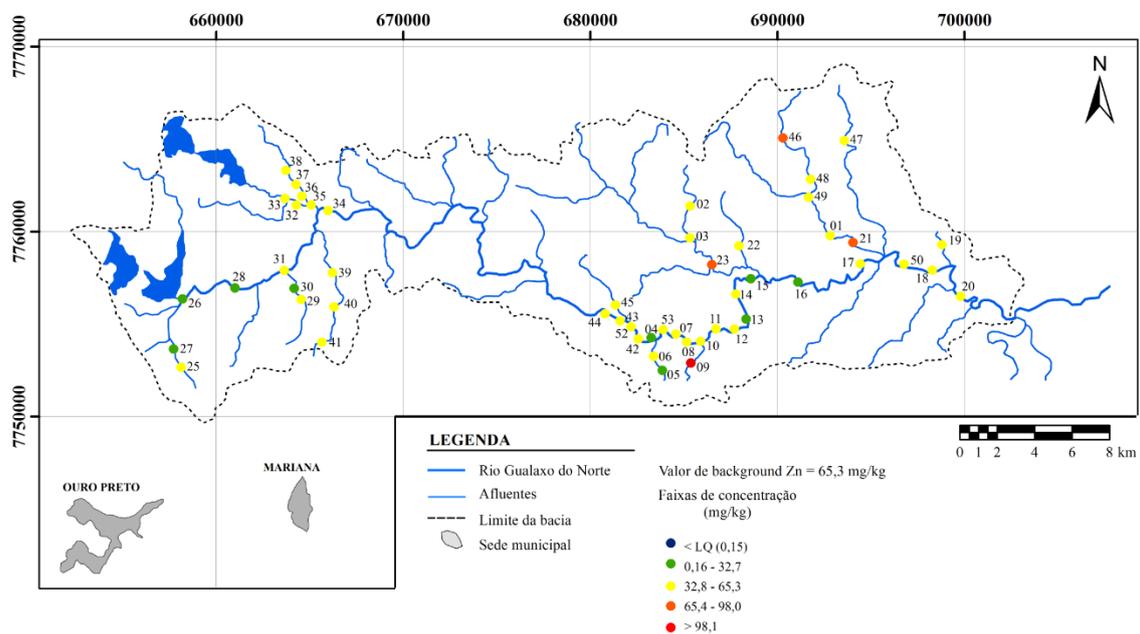


Figura 7- Mapa da distribuição geoquímica do zinco para sedimentos ativos de drenagem coletados na bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil.

Em relação à distribuição espacial do Ni, o mapa geoquímico confeccionado também mostra concentrações relativamente baixas do elemento em praticamente todos os pontos amostrais, o que representa um baixo risco de contaminação (Figura 8). As concentrações elevadas do elemento, sobretudo, nos pontos P21, P36, P46, P48 e P49,

podem estar relacionadas pela presença de intrusões máficas, podendo ter enriquecimento superficial co-precipitando com óxi-hidróxido de ferro e manganês, conforme sugerido pelos resultados da extração sequencial mostrados em capítulo anterior. Além disso, pode-se supor que essas elevadas concentrações estejam associadas a

rochas ultrabásicas que cortam o Grupo Itacolomi (ponto P36) e Grupo Nova Lima (pontos P21, P46, P48 e P49). Ao se considerar que não são identificadas na área de estudo atividades humanas

enriquecedoras de Ni no meio ambiente, a hipótese de anomalia geoquímica de origem geogênica é reforçada.

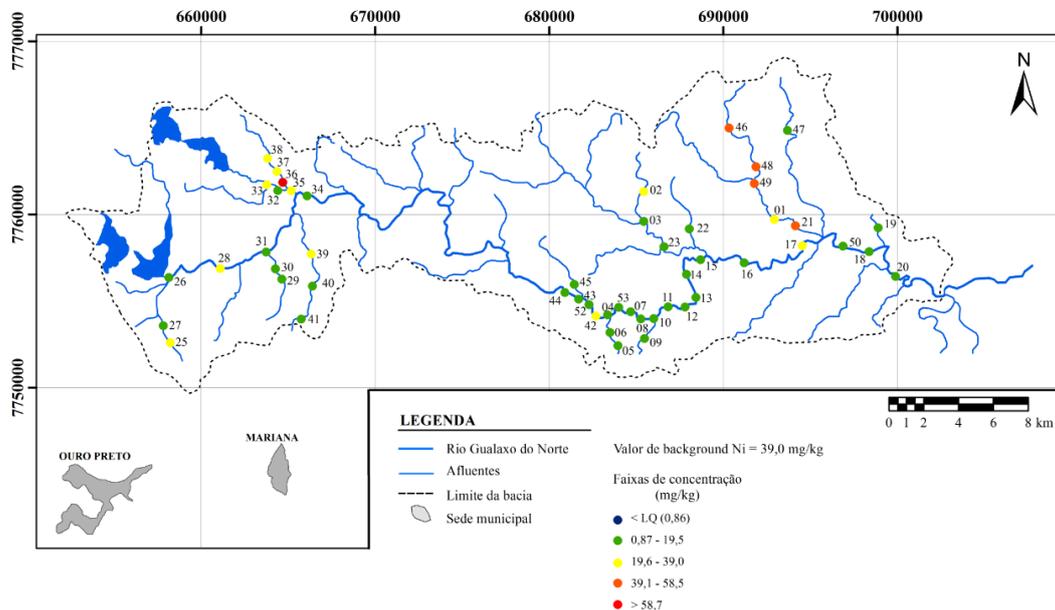


Figura 8- Mapa da distribuição geoquímica do níquel para sedimentos ativos de drenagem coletados na bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil.

CONCLUSÕES

A partir do estudo que aqui se desenvolveu, pode-se dizer que os dados apresentados neste trabalho:

- i) evidenciam contribuições antropogênicas no enriquecimento de metais tais como Mn, Ba e Fe, o que demonstra a necessidade de novas investigações que visem estudar estratégias de contenção ou de minimização de possíveis impactos gerados pela contaminação por esses elementos;
- ii) evidenciam que as contaminações por elevadas concentrações desses elementos (Mn, Ba e Fe) podem extrapolar para bacias subsequentes à estudada, o que certamente agrava o problema identificado;
- iii) revelam baixo risco de contaminação ambiental em relação aos elementos Zn e Ni, estando as poucas concentrações elevadas do elemento, possivelmente relacionadas a anomalias geoquímicas naturais.

REFERÊNCIAS

Beirigo EA. Comportamento filtro-drenante de geotêxteis em barragens de rejeitos de mineração. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Dissertação de Mestrado, 2005. 192p

Cabral AR, Lehmann B, Sattler CD, Pires FRM, Kaneko K. Hg-Tl-bearing manganese oxide from Conta Historia manganese deposit, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. – Transactions of the Institution of Mining

Metallurgy, Section B. Applied Earth Science, 111(B): 123-127, 2002.

Costa AT. Geoquímica das águas e dos sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, leste – sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): Estudo de uma área afetada por atividade de extração mineral. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 2001. 146p.

Costa AT. 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, 2007. 257p.

Eby GN. Principles of environmental geochemistry. Thomson Brooks: Cole, 2004.

Förstner U, Heise S, Schwartz R, Westrich B, Ahlf W. Historical contaminated sediments and soils at the river basin scale. Examples from the Elbe River catchment area. Journal Soils & Sediments, 4(4):247-260, 2004.

Jesus HC, Costa EA, Mendonça ASF, Zandonade E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória – ES. Química Nova, 27(3): 378-386, 2004.

Lemes MJL, Filho PMF, Pires MAF. Mineral influence on chemical composition of drinking water supply from Mogi-Guaçu and Pardo rivers. Química Nova, 26(1): 13-20, 2003.

López-Sánchez JF et al. Extraction Procedures for Soil Analysis. In: Quevauviller P et al. Methodologies for Soil

and Sediment Fractionation Studies. Cornwall, UK: MPG Books Ltd, 2002.

Matsumura MS. Avaliação e estudo das emissões de Metais Pesados pela Barragem de Santarém (Samarco Mineração S.A) no Sistema Hídrico da Região de Ouro Preto e Mariana. Um estudo da qualidade das águas. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 199. 117p.

Mudroch A, Azcue J, Mudroch P. Manual of physico-chemical analysis of aquatic sediments. Florida: EUA, CRC Press, 1997.

Pires JMM, Lena JC, Machado CC, Pereira RS. Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da barragem de Germano. Revista *Árvore*, 27(3): 393-397, 2003.

Ribeiro RK. 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, 1998. 116p.

Rodrigues ASL. Caracterização da bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil: avaliação geoquímica ambiental e proposição de valores de background. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Tese de Doutorado, 2012. 162p.

Rodrigues ASL, Malafaia G, Costa AT, Nalini-Junior HÁ. Iron ore mining promotes iron enrichment in sediments of the Gualaxo do Norte River basin, Minas Gerais State, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 71(9): 4177-4186, 2014.

Salomons W, Förstner U. *Metals in Hydrocycle*. Berlin: Springer-Verlag, 1984.