



Campos dos Goytacazes/RJ

EFEITOS DA MINERAÇÃO ILEGAL DE OURO NAS CONCENTRAÇÕES DE Hg EM MATRIZES AMBIENTAIS DO RIO PARAÍBA DO SUL E RIO MURIAÉ, SUDESTE, BRASIL

Philipe Ribeiro Gomes¹; Inácio Abreu Pestana¹; Marcelo Gomes de Almeida¹; Braulio Cherene Vaz de Oliveira¹ e Carlos Eduardo de Rezende¹

RESUMO – Relatos de atividades ilegais de mineração de ouro aluvial em pequena escala (chamado localmente de garimpo) no rio Paraíba do Sul (RPS) e no rio Muriaé (RM) levantaram preocupações sobre a contaminação por mercúrio (Hg). Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto dessas atividades na contaminação por Hg em água, sedimentos e macrófitas aquáticas. Amostras foram coletadas durante a estação chuvosa no RPS, formando um transecto de 106 km a partir do ponto onde as balsas de garimpo foram avistadas e/ou apreendidas pela Polícia Federal, e no RM. As concentrações de Hg total e dissolvido na água e Hg total no material particulado em suspensão (MPS) amostrados no RPS aumentaram 1,7, 1,5 e 2,1 vezes nos pontos onde as balsas foram vistas em relação ao ponto imediatamente a montante. No RM, as concentrações de Hg foram maiores do que no RPS, mas a maioria dos valores nas amostras ficaram abaixo dos limites seguros, com exceção do Hg no MPS de um dos pontos de amostragem da RM e dos rejeitos de mineração. A granulometria do sedimento foi exponencialmente associada com as concentrações de Hg no sedimento e auxiliou na compreensão dos impactos físicos do garimpo no RPS.

ABSTRACT– Reports of illegal small-scale alluvial gold mining activities (locally called *garimpo*) in the Paraíba do Sul River (PSR) and Muriaé River (MR) have raised concerns about mercury (Hg) contamination. This study aimed to evaluate the impact of these activities on Hg contamination in water, sediments and aquatic macrophytes. Samples were collected during the rainy season at the PSR, forming a 106 km transect from the point where the *garimpo* rafts were seen and/or seized by the Federal Police, and at the MR. Total and dissolved Hg concentrations in water, and total Hg in suspended particulate matter (MPS) sampled in the RPS increased 1.7, 1.5 and 2.1 times at the points where the rafts were seen compared to the point immediately upstream. In the MR, Hg concentrations were higher than in the RPS, but most values in the samples were below the safe limits, with the exception of Hg in the MPS of one of the MR sampling points and the mining tailings. Sediment granulometry was exponentially associated with Hg concentrations in the sediment and helped to understand the physical impacts of *garimpo* on PSR.

Palavras-Chave – mercúrio, Rio Paraíba do Sul, Rio Muriaé.

INTRODUÇÃO

Na literatura científica, o garimpo de ouro no Rio Paraíba do Sul (RPS), localizado no sudeste do Brasil, e a consequente contaminação por Hg dos ecossistemas aquáticos circundantes tem sido

1) Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Laboratório de Ciências Ambientais, Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Av. Alberto Lamego, 2000 – Parque Califórnia – CEP: 28013-602, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. philipe0805@gmail.com; inacio@uenf.br; marcelogaa@yahoo.com.br; brauliocherene@gmail.com; crezende@uenf.br



Campos dos Goytacazes/RJ

relatada como um evento passado até agora. Cronologicamente, essa atividade teve início no rio Muriaé (RM), afluente do RPS, e posteriormente se estendeu até o rio Itabapoana (Lima, 1990). Em 1987, essa atividade foi proibida no RPS e seus afluentes, tendo em vista o risco de contaminação por Hg (Almeida e Souza, 2008). Em geral, a proibição limitou as atividades dos garimpeiros no RPS nos anos seguintes. No entanto, o contexto da pandemia de COVID-19, associado a fatores econômicos e políticos, motivou uma nova onda de garimpo no RPS e RM no final de 2021: (a) o preço do ouro aumentou 90% em relação aos valores pré-pandemia (Pontes, 2021); (b) a redução do número de pessoas para o controle ambiental no Brasil, favorecendo o avanço de garimpos ilegais em todo o país (Prazeres, 2021); e (c) a agenda pró-garimpo do governo federal, especialmente na região amazônica, que implicitamente incentivou garimpeiros em todo o país a retornar à atividade (Guimarães, 2020). Por exemplo, o governo emitiu dois decretos (Brasil, 2022a; 2022b) que incentivam o garimpo na Amazônia e propuseram o desenvolvimento do estado por meio dessa atividade. Isso está na direção oposta da preservação, não só na Amazônia, mas em outras partes do país, já que o garimpo é insustentável por definição (Guimarães, 2020).

Em outubro de 2021, a Polícia Ambiental e Militar identificou uma balsa de garimpo ilegal localizada no RPS próximo à cidade de Itaocara, no estado do Rio de Janeiro (Trindade, 2021). Um mês depois, a Polícia Federal lançou a “Operação Paraíba Dourado” e quatro balsas foram apreendidas entre a cidade de Cambuci e Pureza, distrito da cidade de São Fidélis (Folha de Italva, 2021a; Trindade, 2021). No RM também houve relatos de aumento das atividades de garimpo desde julho de 2021 (Folha de Italva, 2021b; Jornal Terceira Via, 2021). Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o impacto das atividades de garimpo na contaminação por Hg em três compartimentos ambientais (sedimentos, água e macrófitas aquáticas) do RPS e do RM. Maiores concentrações de Hg perto dos pontos onde as balsas de garimpo foram apreendidas e/ou vistas são esperadas, pois (I) o Hg⁰ usado na amalgamação do ouro é insolúvel em água e (II) os efeitos do garimpo são espacialmente limitados (Lechler *et al.*, 2000; Guimarães, 2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

No RPS foram definidos seis pontos de amostragem, formando um transecto de 106 km entre eles. A amostragem foi realizada em dezembro de 2021 e P2 e P4 são os pontos de amostragem onde foram apreendidas e/ou avistadas balsas de garimpo ilegal, nos distritos de Batatal e Pureza, respectivamente (Folha de Italva, 2021a; Trindade, 2021). Na RM foram amostrados três pontos em

janeiro de 2022, quando foram avistadas balsas de garimpo ilegal. Os pontos P8 e P7 estão localizados a montante e a jusante da área do garimpo, respectivamente. Moradores locais da RM denunciaram a presença de balsas ilegais de garimpo que operavam na região desde junho de 2021 (Folha de Italva, 2021b; Jornal Terceira Via, 2021). Nos pontos de amostragem, foi observado o motor de uma das dragas das balsas em operação ativa. Além disso, rejeitos de garimpo foram observados nas margens do rio (ponto P9; Figura 1), que também foram amostrados em relação às concentrações de Hg.

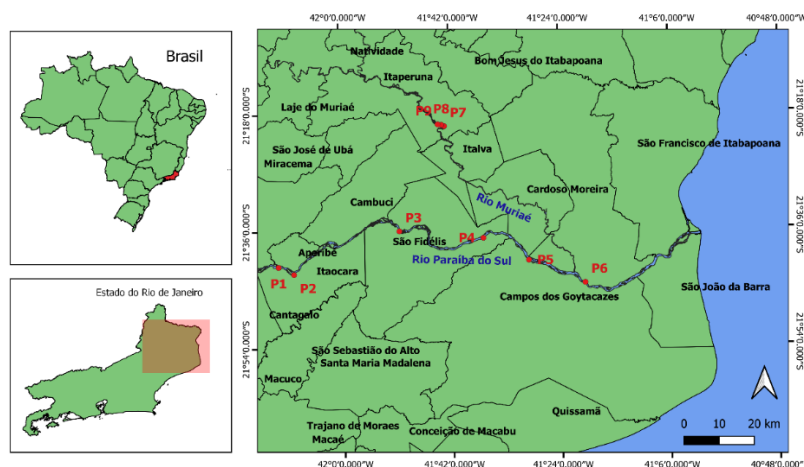


Figura 1 - Mapa do Brasil e do estado do Rio de Janeiro (vermelho) mostrando os pontos de amostragem (P1 a P6) no rio Paraíba do Sul (transecção de cerca de 106 km) e no rio Muriaé.

Amostras de água e sedimentos superficiais foram coletadas em todos os pontos de amostragem (P1 a P8) no canal principal de cada rio ($n = 5$ amostras independentes para ambas as matrizes em cada ponto de amostragem). As macrófitas aquáticas estiveram presentes apenas em P1 e P2, onde foram amostrados espécimes de *Pistia stratiotes*. No P9, foram amostrados apenas os rejeitos das atividades de garimpo localizadas nas margens (a menos de 1 m do rio) da RM. Todas as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas e transportadas ao laboratório para processamento.

Neste trabalho foram realizadas as seguintes metodologias conforme descritas por Gomes *et al.* (2022): determinação de Hg na água, no material particulado em suspensão (MPS), nos sedimentos e em macrófitas aquáticas; cálculo do coeficiente de partição geoquímica (K_d -Hg) entre o particulado e a fração dissolvida; e a granulometria dos sedimentos. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o software R (R Core Team, 2022) e as metodologias utilizadas em cada análise foram descritas por Gomes *et al.* (2022).



Campos dos Goytacazes/RJ

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento das concentrações de Hg ao longo do transecto do RPS indicou o efeito limitado das atividades de garimpo na dinâmica do Hg nos ecossistemas aquáticos. As concentrações de Hg total, dissolvido e particulado (Figura 2) foram maiores nos pontos onde as balsas foram vistas e/ou apreendidas em relação ao ponto imediatamente anterior (a montante) do transecto por fatores de $1,7 \pm 0,7$, $1,5 \pm 0,2$ e $2,1 \pm 0,8$ vezes, respectivamente. Nesses mesmos pontos onde se localizavam as balsas, foram observadas as maiores concentrações de Hg para cada um desses compartimentos ambientais. O comportamento das concentrações de Hg dissolvido ao longo do transecto é ainda mais notável: houve um aumento contínuo nas concentrações de Hg desde o ponto onde a primeira balsa foi observada até o ponto onde a segunda balsa foi observada, seguida de uma queda acentuada após a última. Isso confirma os efeitos espaciais limitados do garimpo nas concentrações de Hg na coluna d'água, como já observado por outros autores (Lechler *et al.*, 2000; Limbong *et al.*, 2003).

As concentrações de Hg total nos sedimentos do RPS apresentam comportamento diferente dos observados para os compartimentos ambientais supracitados. Neste compartimento, as concentrações foram menores nos pontos onde foram observadas as balsas (Figura 2b). Esse resultado foi contrário ao esperado, pois os garimpeiros utilizam o Hg^0 para amalgamar o ouro, que tem baixa solubilidade e se acumula nos sedimentos (Lacerda e Malm, 2008). Nesse caso, a análise granulométrica do sedimento ajuda a entender esse resultado. Os dados de granulometria mostraram que na maioria dos pontos amostrais houve grande porcentagem de teor de silte+argila (Figura 3c), com exceção justamente do ponto onde foi observada uma das balsas (P4, Figura 3c). A relação entre o teor de silte+argila e as concentrações de Hg no sedimento do RPS foi direta e exponencial (Figura 3b), mostrando um claro efeito da granulometria nas concentrações de Hg. Normalizando as concentrações de Hg nos sedimentos pelo teor de silte+argila (Figura 4a), os resultados indicam que, proporcionalmente à quantidade de silte+argila, P4 apresentou as maiores concentrações de Hg no sedimento. Isso demonstra um efeito garimpo também nas concentrações de Hg nos sedimentos. A modificação da granulometria do sedimento em áreas de garimpo já foi descrita por outros autores (Guimarães, 2020; Serapião e Ladeira, 2022). Segundo Guimarães (2020), as áreas de garimpo têm um grande impacto no assoreamento dos rios, o que não só aumenta o teor de areia no sedimento como também impacta a diversidade e abundância de peixes em uma escala espacial mais ampla do que a descrita para os impactos de contaminação por Hg (Mol e Ouboter, 2004).

Campos dos Goytacazes/RJ

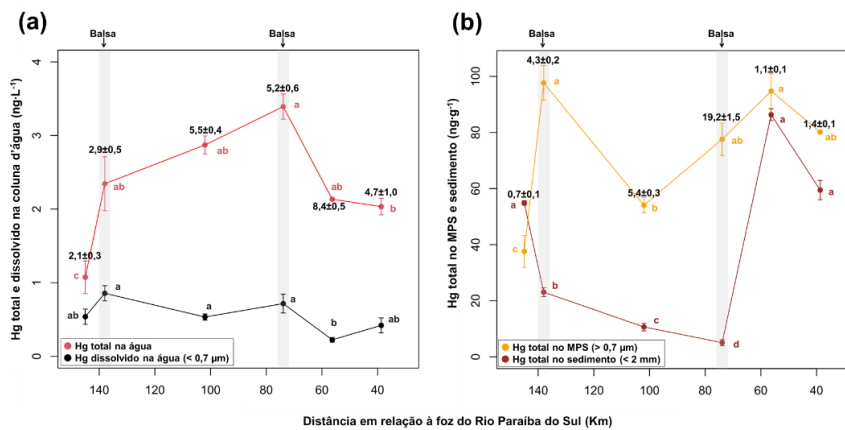


Figura 2 - Concentrações de Hg total, particulado e dissolvido na coluna d'água do Rio Paraíba do Sul, MPS e sedimentos de fundo. (a) Hg total e dissolvido (< 0,7 μm) em água; (b) Hg total em MPS e sedimentos de fundo. A letra minúscula denota concentração média de Hg significativamente diferente entre os pontos de amostragem. Os números são a média ± DP da razão entre Hg total e dissolvido na água e entre Hg total em MPS e sedimentos de fundo para cada um dos pontos de amostragem. Os pontos onde as balsas foram vistas e/ou apreendidas estão destacados em cinza. Cada ponto representa 5 amostras independentes (n=5).

Todos os valores de K_d -Hg foram superiores a 1 (Figura 4b), demonstrando a alta afinidade do Hg com o MPS, o que está de acordo com o esperado para a região (Almeida e Souza, 2008). Também é possível inferir que o transporte de Hg ocorre preferencialmente associado ao MPS.

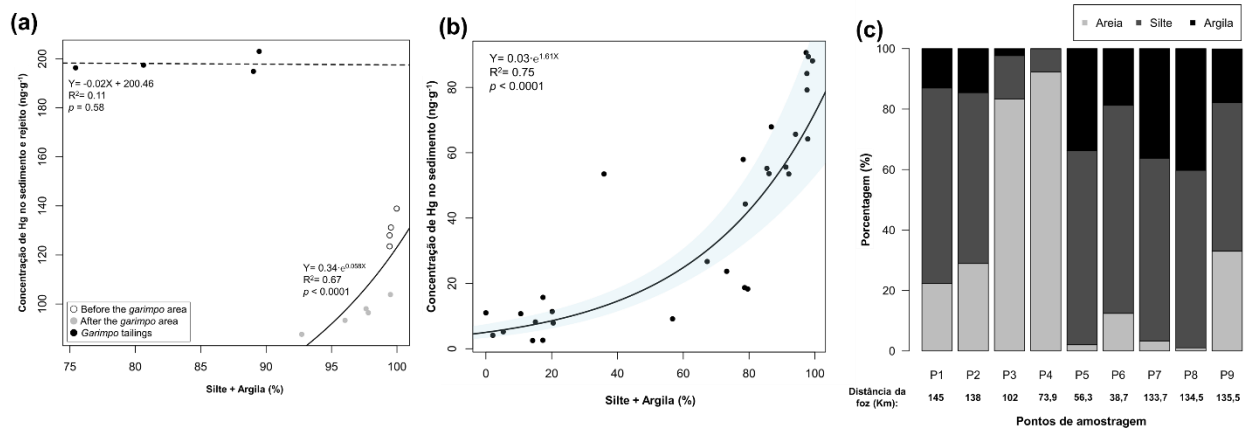


Figura 3 - (a) Associação das concentrações de Hg com os teores de silte+argila dos rejeitos de Garimpo (P9) e sedimentos do rio Muriaé (P7 a P9). As linhas tracejadas e sólidas representam os modelos de regressão associados às amostras de rejeitos e sedimentos, respectivamente. (b) Associação das concentrações de Hg com o teor de silte+argila dos sedimentos do rio Paraíba do Sul (P1 a P6). O sombreado azul indica o intervalo de confiança do modelo de regressão de 95% e as estatísticas de regressão. (c) Granulometria das amostras de sedimento para cada ponto de amostragem do Rio Paraíba do Sul (balsas foram vistas/apreendidas em P2 e P4) e do Rio Muriaé (balsas vistas em P9).

Em geral, as concentrações de Hg total (2 a 3 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$) e Hg dissolvido (0,2 a 0,9 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$) na água foram inferiores aos limites descritos pela regulamentação brasileira (2.000 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ – Classe III de água doce) (CONAMA, 2005). Além disso, as concentrações de Hg no MPS (38 a 95 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$) e nos

sedimentos (5 a $86 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) estavam abaixo dos níveis em que uma pequena probabilidade de efeitos adversos na biota é esperada (nível de efeito limiar, TEL: $174 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$). Também ficaram abaixo do nível em que efeitos deletérios são prováveis (PEL: $486 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) (CCME, 2002), demonstrando pouco ou nenhum risco à biota. Por outro lado, os valores encontrados nos sedimentos ($86 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) foram superiores a 2 vezes os níveis de fundo de Hg nos sedimentos da bacia do RPS ($40 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$; Souza, 1994).

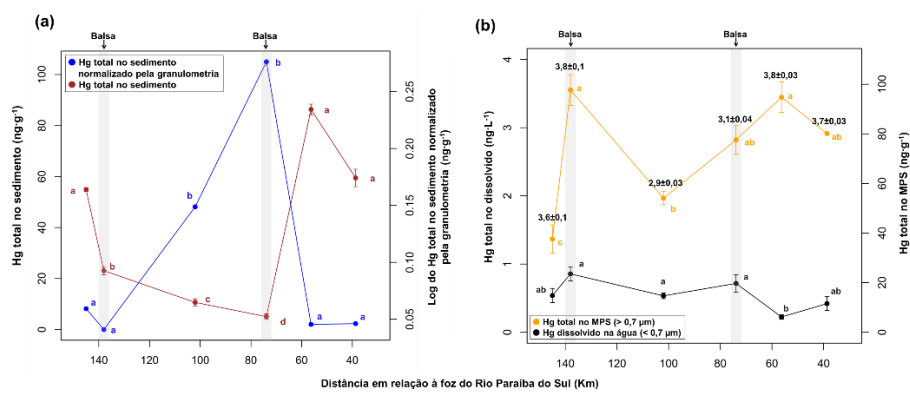


Figura 4 - (a) Concentrações totais de Hg nos sedimentos do rio Paraíba do Sul na escala original (vinho) e o logaritmo das concentrações de Hg nos sedimentos normalizados pelo teor de silte+argila (azul). (b) Hg total em MPS e concentrações de Hg dissolvido em água. Os números são média±DP do coeficiente de partição geoquímica do Hg (K_d -Hg) entre essas frações da coluna de água. Em ambos os gráficos, as letras minúsculas indicam concentrações médias de Hg significativamente diferentes de cada compartimento ambiental entre os pontos de amostragem. Os pontos de amostragem onde as balsas foram vistas e/ou apreendidas estão destacados em cinza. Cada ponto representa 5 amostras independentes ($n=5$).

As concentrações de Hg foram maiores nas raízes em comparação com as folhas das macrófitas aquáticas amostradas. Os fatores de translocação calculados (relação folhas:raízes) foram menores que 1, demonstrando baixa translocação de Hg para a parte aérea. É importante ressaltar que as macrófitas amostradas no ponto onde a balsa foi vista (P2) apresentaram maior concentração de Hg em todos os tecidos em comparação com as de P1, o que indica ainda que a atividade de garimpo também afeta a biota vegetal aquática.

No RM, as concentrações médias de Hg total na água ($10 \pm 0,4 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$), MPS ($256 \pm 11 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) e sedimentos de fundo ($131 \pm 11 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) foram maiores no ponto de amostragem a montante da área de garimpo, enquanto o padrão inverso foi observado para Hg dissolvido ($5 \pm 1 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$) (Figura 5). Nos sedimentos desses pontos (P7 e P8), houve predominância de teores de silte+argila (Figura 3c), que tem relação direta e exponencial com as concentrações de Hg (Figura 3a). Isso pode explicar as maiores concentrações de Hg a montante do garimpo, pois naquele ponto o teor de silte+argila correspondia a $\approx 100\%$, enquanto no ponto a jusante do garimpo esse valor era um pouco menor

(Figura 3a). Esperava-se que maiores teores de silte+argila estivessem associados a maiores acumulações de Hg^0 , uma vez que essa fração granulométrica é um importante suporte para adsorção e imobilização de Hg (Moreno-Brush *et al.*, 2020). Além do efeito da granulometria, outro fator deve ser considerado para explicar a maior concentração de Hg detectada a montante do garimpo: as balsas não ficam muito tempo paradas. Em vez disso, elas viajam ao longo do canal do rio. É possível que as maiores concentrações de Hg observadas a montante da área do garimpo sejam devidas a remanescentes de atividades anteriores mais a montante, onde o fluxo pode ter ressuspensão de sedimentos contaminados que então transportaram o Hg a jusante.

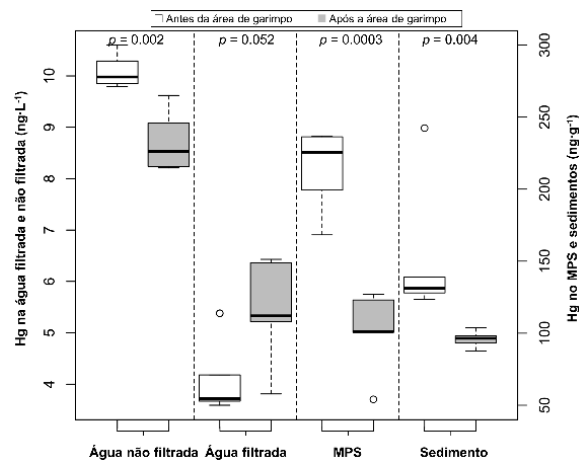


Figura 5 - Figura 6 Hg total em sedimentos, MPS e concentrações dissolvidas do Rio Muriaé, a montante (P8) e a jusante (P7) das áreas do Garimpo onde foram observadas as balsas. O valor de p indica o nível de significância estatística.

Os rejeitos de garimpo continham maiores teores de areia (P9, Figura 3c) em comparação com as amostras dos outros pontos, e uma associação não significativa entre as concentrações de Hg e o teor de silte-argila foi observada (Figura 3a), demonstrando um comportamento diferente do observado no RPS (Figura 3b) e nos demais pontos do RM (Figura 3a). Além disso, o rejeito exibiu a maior concentração média de Hg entre todos os compartimentos ambientais avaliados neste estudo ($197 \pm 4 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$), superior às amostras de sedimento RM (131 ± 11 e $96 \pm 5 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$), de acordo com as expectativas.

Assim como no RPS, as concentrações de Hg total (8 e $10 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$) e Hg dissolvido (4 e $5 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$) na água do RM foram inferiores aos limites estabelecidos pela regulamentação brasileira ($2.000 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ – Classe III de água doce) (CONAMA, 2005). As concentrações de Hg nos sedimentos (96 e $131 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) e no MPS a jusante da área de garimpo ($101 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, Figura 6) foram menores do que o TEL ($174 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, CCME, 2002), indicando pouco ou nenhum risco para a biota. No entanto, os valores



Campos dos Goytacazes/RJ

observados no MPS a montante da área do garimpo ($256 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, Figura 6) e nos rejeitos ($197 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) ficaram na faixa entre TEL e PEL ($486 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, CCME, 2002), sugerindo possíveis riscos à biota.

CONCLUSÕES

Os dados demonstram o claro efeito das atividades ilegais de garimpo nas concentrações de Hg nos compartimentos ambientais de ambos os rios. No RPS, essas atividades impactaram localmente as concentrações de Hg em ambas as frações da coluna d'água, sedimento e macrófitas, com impactos espaciais limitados. O MPS foi o compartimento ambiental que apresentou a maior concentração de Hg. No RM, as concentrações nos compartimentos ambientais foram maiores do que no RPS, o que pode estar associado ao maior tempo de garimpo neste rio. Os rejeitos de garimpo continham as maiores concentrações de Hg neste estudo e poderiam atuar como uma fonte pontual de contaminação de Hg para o corpo d'água. A granulometria do sedimento foi essencial para entender os impactos físicos das atividades de garimpo no assoreamento do RPS e ajudou a entender a dinâmica do Hg neste compartimento ambiental, devido à alta afinidade pelo Hg.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais e Laboratório de Ciências Ambientais (LCA) da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pelo auxílio, logística de campo e laboratório. Este trabalho foi financiado pela Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ; bolsas: E-26/111.790/2013; E-26/010.001272/2016; E-26/200.586/2022 e E-26/210.350/2022), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES, bolsa: 001) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; bolsa: 305.217/2017-8). A UENF também pelo apoio no contrato de manutenção dos equipamentos empregados.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. G., SOUZA, C. M. M. (2008) *Distribuição espacial de mercúrio total e elementar e suas interações com carbono orgânico, área superficial e distribuição granulométrica em sedimentos superficiais da bacia inferior do Rio Paraíba do Sul, RJ, Brasil*. Geochimica Brasiliensis, 22(3), 140-158.
- BRASIL. (2022a). Decreto n° 10.966. *Institui o programa de apoio ao desenvolvimento da mineração artesanal e em pequena escala e a comissão interministerial para o desenvolvimento da mineração artesanal e em pequena escala (Pró-Mape)*.
- BRASIL. (2022b). Decreto n° 10.965. *Simplifica processos e outorgas de títulos minerários*. Consulted in February 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.965-de-11-de-fevereiro-de-2022-379739232>.



Campos dos Goytacazes/RJ

- CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. (2002). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life - Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). Resolução n° 357. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*.
- FIGUEIREDO, R. O., OVALLE, A. R., REZENDE, C. E., MARTINELLI, L. A. (2011). *Carbon and Nitrogen in the Lower Basin of the Paraíba do Sul River, Southeastern Brazil: Element fluxes and biogeochemical processes*. Revista Ambiente & Água, 6(2):7-37.
- FOLHA DE ITALVA. (2021a). *PF realiza operação Paraíba Dourado contra extração de ouro em Cambuci e São Fidélis*. Consultado em fevereiro de 2022. Disponível em: <https://folhadeitalva.com.br/2021/11/11/pf-realiza-operacao-paraiba-dourado-contra-extracao-de-ouro-em-cambuci-e-sao-fidelis/>.
- FOLHA DE ITALVA. (2021b). *Uenf investiga presença de mercúrio em amostras do Rio Muriaé nas proximidades de Italva*. Consultado em fevereiro de 2022. Disponível em: <https://folhadeitalva.com.br/2021/12/07/uenf-investiga-presenca-de-mercúrio-em-amostras-do-rio-e-muriae-nas-proximidades-de-italva/>.
- GOMES, P. R.; PESTANA, I. A.; ALMEIDA, M. G.; OLIVEIRA, B. C. V.; REZENDE, C. E. (2022) Effects of illegal gold mining on Hg concentrations in water, Pistia stratiotes, suspended particulate matter, and bottom sediments of two impacted rivers (Paraíba do Sul River and Muriaé River), Southeastern, Brazil. Environmental monitoring and assessment, v. 194, n. 10, p. 1-16, 2022.
- GUIMARAES, J. R. (2020). *Mercury in the Amazon: Problem or opportunity? A commentary on 30 years of research on the subject*. Elementa: Science of the Anthropocene, 8(1).
- HACON, S., LACERDA, L. D., PFEIFFER, W., CARVALHO, D. (1990). *Riscos e Conseqüências do Uso do Mercúrio*. Rio de Janeiro. FINEP, Rio de Janeiro, p. 314.
- JORNAL TERCEIRA VIA. (2021). *Uenf investiga presença de mercúrio em amostras dos Rios Paraíba do Sul e Muriaé*. Consultado em fevereiro de 2022. Disponível em: <https://www.jornalterceiravia.com.br/2021/12/06/uenf-investiga-presenca-de-mercúrio-em-amostras-dos-rios-paraiba-do-sul-e-muriae/>.
- LACERDA, L. D., MALM, O. (2008). *Mercury contamination in aquatic ecosystems: an analysis of the critical areas*. Estudos Avançados, 22(63): 173-190.
- LECHLER, P. J., MILLER, J. R., LACERDA, L. D., VINSON, D., BONZONGO, J. C., LYONS, W. B., WARWICK, J. J. (2000) *Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: A function of natural enrichments?* Science of the Total Environment, 260(1):87–96.
- LIMA, E. C. R. (1990). *Riscos e conseqüências do uso de mercúrio: a situação do Rio de Janeiro* In: Riscos e conseqüências do uso de mercúrio. Finep/CNPQ/MS/IBAMA, Rio de Janeiro, pp. 268-274.
- LIMBONG, D., KUMAMPUNG, J., RIMPER, J., ARAI, T., MIYAZAKI, N. (2003). *Emissions and environmental implications of mercury from artisanal gold mining in north Sulawesi, Indonesia*. Science of the Total Environment, 302(1-3), 227-236.
- LOMINCHAR, M. A., SIERRA, M. J., JIMÉNEZ-MORENO, M., GUIRADO, M., RODRÍGUEZ, R. C. D. M., MILLÁN, R. (2019). *Mercury species accumulation and distribution in Typha domingensis under real field conditions (Almaden, Spain)*. Environmental Science and Pollution Research, 26 (4), 3138-3144.



Campos dos Goytacazes/RJ

- MOL, J. H., OUBOTER, P. E. (2004). *Downstream effects of erosion from small-scale gold mining on the instream habitat and fish community of a small neotropical rainforest stream*. Conservation Biology, 18(1):201–214.
- MORENO-BRUSH, M., MCLAGAN, D. S., BIESTER, H. (2020) *Fate of mercury from artisanal and small-scale gold mining in tropical rivers: Hydrological and biogeochemical controls*. A critical review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 50(5), 437-475.
- PFEIFFER, W. C., LACERDA, L. D. (1988). *Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil*. Environmental Technology Letters 9 (4), 325–330.
- PONTES, F. (2021). *Ribeirinhos convertem-se ao ouro e desafiam contaminação por mercúrio no rio Madeira*. ((o))eco. Consultado em Julho de 2022. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/ribeirinhos-convertem-se-ao-ouro-e-desafiam-contaminacao-por-mercúrio-no-rio-madeira/>.
- PRAZERES, L. P. (2021). *Garimpo na Amazônia: o que está por trás da invasão do rio Madeira*. BBC NEWS Brasil, 2021. Consultado em fevereiro de 2022. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-59425015>.
- R CORE TEAM. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Austria, Vienna. <http://www.R-project.org/>.
- SERAPIÃO, F., LADEIRA, P. (2022). *Garimpo e desmatamento sujaram água em Alter do Chão, conclui laudo*; veja vídeo. Consultado em Julho de 2022. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2022/02/garimpo-e-desmatamento-sujaram-agua-em-alter-do-chao-conclui-laudo.shtml>.
- SOUZA, C. M. M. (1994). *Avaliação ambiental dos riscos do mercúrio em áreas de garimpo de Brasil*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- TRINDADE, O. (2021). *Extração ilegal de ouro no Rio Paraíba do Sul chama a atenção*. Jornal Terceira Via, 2021. Consulted in February 2022. Available at: <https://www.jornalterceiravia.com.br/2021/11/28/extracao-ilegal-de-ouro-no-rio-paraiba-do-sul-chama-atencao/>