

Parecer sobre dragagem, agitação e mobilização de sedimentos do Rio Araguaia, para possibilitar a navegação: impactos e consequências ao ambiente e saúde humana

José Vicente Elias Bernardi¹

Ludgero Cardoso Galli Vieira²

José Francisco Gonçalves Jr³

Lucas Cabrera Monteiro^{1,2}

Ygor Rodrigues¹

¹Laboratório de Geoestatística e Geodésia, Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Planaltina, DF, Brasil

²Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais e Limnológicas, Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Planaltina, DF, Brasil

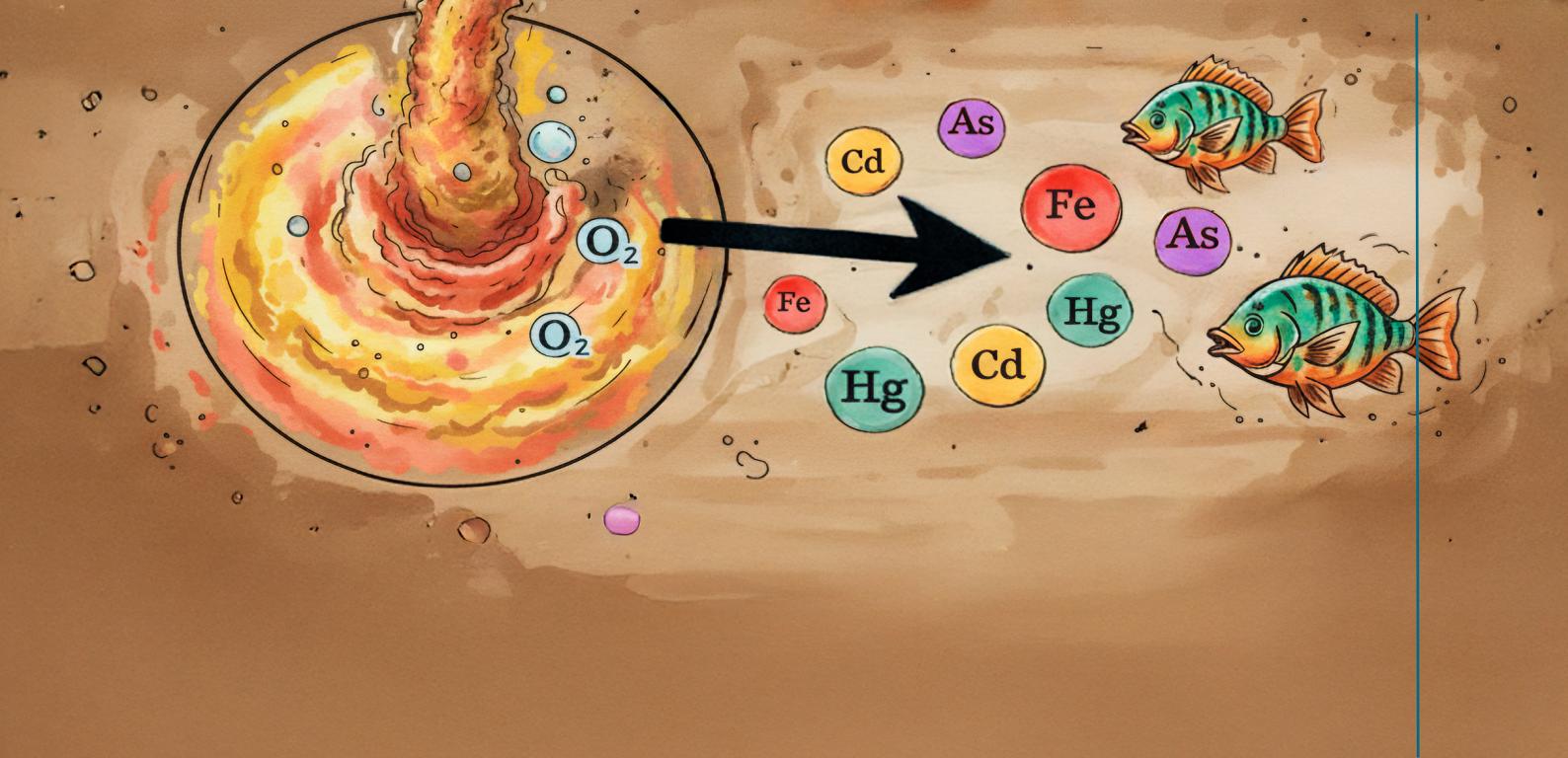
³AquaRiparia/Laboratório de Limnologia, Departamento de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil

Autor correspondente: José Vicente Elias Bernardi, E-mail: bernardi@unb.br

Resumo

A dragagem e a perturbação dos sedimentos em rios com condições oxidativo-redutoras, como o rio Araguaia, podem gerar riscos ambientais e à saúde, especialmente em áreas com altas concentrações de metais tóxicos, como ferro e mercúrio. Esses metais se acumulam nos sedimentos sob condições redutoras, e sua perturbação pode resultar em sua liberação na coluna d'água, afetando a teia trófica e a saúde humana. A planície de inundação do rio Araguaia é composta por depósitos aluvionares e rochas ígneas e metamórficas ricas em cromo, níquel, ferro, magnésio e mercúrio. A conversão do uso do solo, especialmente para a agricultura, acelera o intemperismo e o transporte desses elementos para o rio. A dragagem dos sedimentos perturba a estabilidade de metais como ferro e mercúrio, aumentando sua biodisponibilidade. O mercúrio, em particular, pode ser convertido em metilmercúrio, uma forma altamente tóxica e bioacumulativa que entra na cadeia alimentar aquática, afetando peixes, vida selvagem e seres humanos. O metilmercúrio se biomagnifica na teia alimentar, representando riscos para predadores de topo, incluindo aves piscívoras e seres humanos. Estudos mostram que o consumo de pescado em comunidades ribeirinhas pode levar a uma exposição significativa ao mercúrio, aumentando os riscos de danos neurológicos, doenças cardiovasculares e problemas no desenvolvimento infantil. Além disso, a dragagem pode agravar a qualidade da água, aumentando a turbidez e mobilizando elementos tóxicos como arsênio e cádmio. Os impactos ambientais da dragagem vão além da contaminação imediata, afetando a biodiversidade, a resiliência dos ecossistemas e a pesca, essencial para a subsistência das comunidades locais. As consequências socioeconômicas incluem insegurança alimentar, perda de renda para pescadores e aumento dos custos no tratamento da água.

Palavras-chave: Metais pesados, Ciclo biogeoquímico, Bioacumulação, Uso do solo, Comunidades ribeirinhas, Gestão de bacias hidrográficas.



Introdução

Rios com condições redox-sensíveis, como o Rio Araguaia no Brasil, são zonas críticas para o acúmulo e a possível mobilização de metais pesados. Em condições anóxicas ou redutoras, os sedimentos desses rios frequentemente atuam como sumidouros de longo prazo para metais tóxicos como ferro (Fe) e mercúrio (Hg), estabilizando-os por meio de diversos processos geoquímicos (Ullrich et al., 2001; Zhuang & Gao, 2013). No entanto, distúrbios antrópicos, especialmente a dragagem, podem romper esse equilíbrio ao expor sedimentos anóxicos ao oxigênio, desencadeando a oxidação e posterior liberação desses metais para a coluna d'água (Benoit et al., 2001; Driscoll et al., 2007).

Essa remobilização altera não apenas a especiação química dos metais, mas também sua biodisponibilidade e toxicidade. Por exemplo, a oxidação de Fe(II) para Fe(III) resulta na formação de óxidos e hidróxidos férricos, que

podem adsorver e transportar outros contaminantes como arsênio e cádmio (Warren & Haack, 2001). O mercúrio, quando liberado do sedimento em suas formas elementar ou inorgânica, pode ser metilado por atividade microbiana, formando metilmercúrio (MeHg), um composto neurotóxico capaz de se bioacumular e biomagnificar nas cadeias alimentares aquáticas (Mason et al., 1996; Clarkson & Magos, 2006).

Em sistemas dinâmicos do ponto de vista redox, como o Rio Araguaia, essas transformações biogeoquímicas têm implicações ecológicas e de saúde pública substanciais, especialmente em regiões onde o peixe representa um recurso alimentar essencial. Assim, compreender o comportamento ambiental de metais sequestrados e os riscos associados à perturbação dos sedimentos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de gestão de bacias hidrográficas.

Riscos geoquímicos da dragagem: liberação de metais e alterações biogeoquímicas no Rio Araguaia

A planície de inundação é constituída principalmente por terraços e depósitos aluvionares quaternários da Formação Araguaia, com ocorrência de rochas ígneas e metamórficas nas sub-bacias hidrográficas dos tributários da margem direita (CPRM, 2004). As rochas ígneas e metamórficas, derivadas de minerais máficos e ultramáficos, apresentam elevadas concentrações de cromo (Cr), níquel (Ni), ferro (Fe), magnésio (Mg) e mercúrio (Hg) (Amorosi et al., 2014; Lipp et al., 2020; Moraes et al., 2023). As rochas derivadas de minerais máficos e ultramáficos ocorrem nos tributários da bacia hidrográfica do rio Araguaia (Figura 1), assim, a conversão do uso do solo para atividades agrícolas acelera o processo de intemperismo e o transporte destes elementos para o canal principal do rio Araguaia e os lagos associados (Monteiro et al., 2025). Nesse sentido, as concentrações médias de Cr nos sedimentos dos lagos são 3,5 superiores ao limite de segurança estabelecido pelo CONAMA (Brasil, 2012), representando potenciais riscos às comunidades biológicas e à saúde humana (Monteiro et al., em revisão).

Adicionalmente, em rios oxidativo-redutores, metais como Fe e Hg tendem a ser sequestrados em sedimentos sob condições anóxicas. Por exemplo, o ferro frequentemente está presente na forma de Fe(II) em ambientes redutores, onde permanece relativamente estável (Linnik et al., 2023). A oxidação do ferro pode levar à formação de óxidos e hidróxidos férricos, que atuam como sequestradores de outros elementos tóxicos (Root et al., 2007; Feyte et al., 2010; Liu et al., 2013). No entanto, essas partículas também podem ser mobilizadas e aumentar a turbidez na água, complicando ainda mais o destino dos metais pesados (Ullrich et al., 2001). De maneira semelhante, o mercúrio está comumente ligado em complexos de sulfetos, como o cinábrio (HgS), ou associado à matéria orgânica em condições redutoras, o que o torna menos biodisponível (Frieling et al., 2023). No entanto, a dragagem rompe esse equilíbrio, expondo os sedimentos anóxicos enterrados ao oxigênio, o que desencadeia a oxidação de Fe(II) para Fe(III) e a dissolução ou liberação de mercúrio em formas

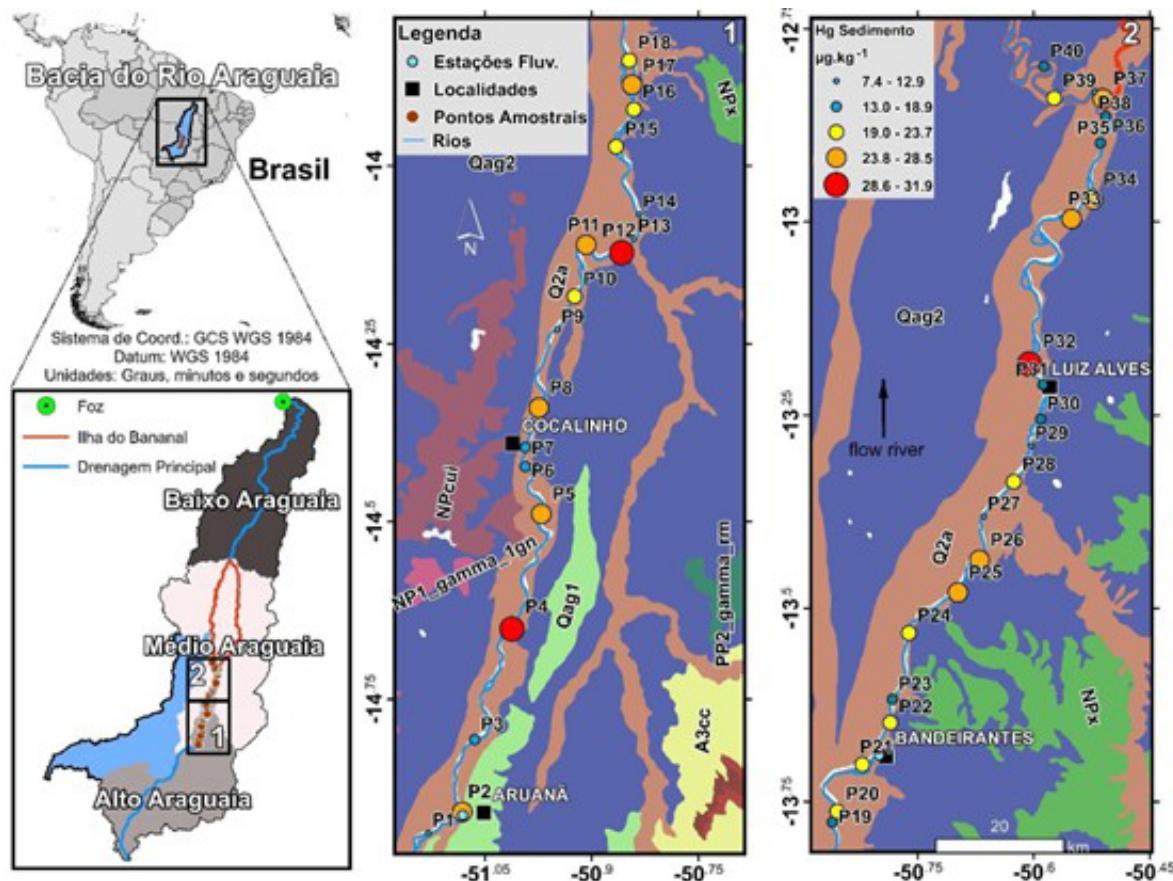


Figura 1. Geologia regional e concentrações de mercúrio (Hg) nos sedimentos do canal principal do rio Araguaia.

mais reativas e tóxicas, como o metilmercúrio (MeHg) (Benoit et al., 2001; Zhuang & Gao, 2013).

Metilação e transporte de mercúrio na planície de inundação do Rio Araguaia

O mercúrio apresenta diferentes formas químicas, como mercúrio inorgânico (Hg^{2+}), mercúrio elementar (Hg^0) e o metilmercúrio (CH_3Hg^+). Dados preliminares do nosso grupo de pesquisa indicaram dois padrões importantes para o transporte de transformação do Hg nos lagos (Figura 2). Os maiores valores da razão entre as concentrações de titânio e alumínio (Ti/Al) nos sedimentos de fundo indicam o maior intemperismo e contribuição de detrititos litogênicos alóctones para a formação dos sedimentos de fundo (Haberzettl et al., 2008). As medidas de sólidos totais dissolvidos (TDS) e de condutividade elétrica (Ec) são associadas à concentração de materiais dissolvidos em ecossistemas aquáticos, indicando a erosão do solo ou o intemperismo devido às mudanças sazonais do ciclo hidrológico (Ogwueleka, 2015), mas também pode indicar o impacto das atividades agrícolas (Cruz et al., 2019). Considerando que nossas amostras foram coletadas

no período de águas altas, a precipitação e o transporte lateral de água podem influenciar as medidas de TDS e Ec. No entanto, a associação destas variáveis com as concentrações de fósforo e fosfato reforçam o impacto das áreas agrícolas, indicando a lixiviação dos nutrientes aplicados na agricultura e provenientes dos dejetos dos animais (Bhateria e Jain, 2016).

Por outro lado, a relação inversa das concentrações e proporções de MeHg com a razão entre as concentrações de manganês e ferro (Mn/Fe) no sedimento de fundo, oxigênio dissolvido (OD) e pH da água, assim como a associação positiva com a proporção de áreas alagadas no entorno dos lagos, indicam o efeito positivo das condições reduutoras para a metilação do Hg (DeLaune et al., 2004; Wang et al., 2021). A liberação de metilmercúrio, em particular, é motivo de grande preocupação devido à sua capacidade de bioacumulação e biomagnificação na cadeia alimentar

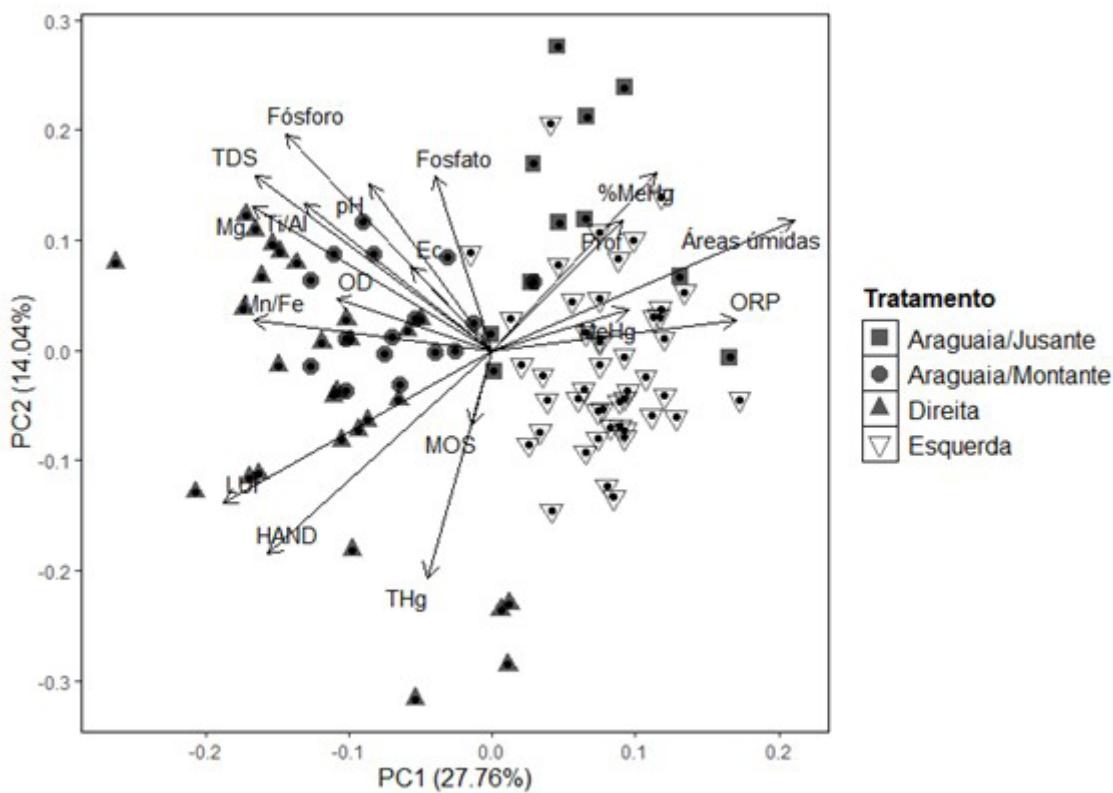


Figura 2. Biplot representando a ordenação das variáveis e unidades amostrais de acordo com os resultados da Análise de Componentes Principais. MOS: matéria orgânica do sedimento. ORP: potencial de oxidação-redução. Prof: profundidade. Ec: condutividade elétrica. TDS: sólidos dissolvidos totais. LUI: intensidade do uso antrópico do solo. HAND: algoritmo Height Above the Nearest Drainage.

(Mason et al., 1996). Esse problema é notável na planície de inundação do rio Araguaia. A proporção de metilmercúrio em relação ao mercúrio total (*i.e.*, todas as formas químicas detectadas em uma amostra), é utilizada como um indicador da produção de metilmercúrio (Yu et al., 2021). A mobilização do mercúrio total pelas atividades agrícolas e a metilação nas áreas alagadas resultam na produção elevada de MeHg na planície de inundação,

com proporções de metilmercúrio no sedimento de fundo variam entre 0,9 e 22,1% (média ± desvio padrão: $1,9 \pm 3,2\%$). Assim, as alterações na disponibilidade do mercúrio inorgânico, as mudanças nos parâmetros físico-químicos da água e a ressuspensão dos sedimentos de fundo promovidos pela dragagem pode representar potenciais riscos a diferentes grupos biológicos e populações humanas.

Biomagnificação do mercúrio na cadeia alimentar e potenciais riscos à saúde humana

A metilação microbiana do mercúrio em sedimentos perturbados pode aumentar significativamente os níveis de MeHg (Driscoll et al., 2007). O MeHg é prontamente absorvido pelo fitoplâncton e, subsequentemente, é transportado para os níveis tróficos superiores através do zooplâncton e macroinvertebrados bentônicos, até atingir os peixes (Molina et al., 2010, Lino et al., 2019, Li et al., 2021). À medida que os níveis de mercúrio aumentam nos peixes, espécies predadoras, como aves, lontras e cetáceos que consomem peixe, experimentam cargas elevadas de mercúrio, levando a potenciais efeitos tóxicos (Josef et al., 2008, Mosquera-Guerra et al., 2019; Santos et al., 2021).

Esses efeitos incluem o comprometimento do sucesso reprodutivo, danos neurológicos e até a morte em vida selvagem (Ullrich et al., 2001). Além disso, distúrbios nos níveis tróficos inferiores devido à toxicidade dos metais pesados podem levar a impactos em cascata, como a redução da biodiversidade e mudanças na composição da comunidade (Wiener et al., 2003; Zhuang & Gao, 2013).

A liberação de metilmercúrio no ambiente aquático também tem implicações significativas para a saúde pública, particularmente para comunidades que dependem do peixe como fonte primária de proteína (Azevedo et al., 2022, Canela et al., 2024; Marchese et al., 2024). Nas

populações humanas, o metilmercúrio é especialmente perigoso para mulheres gestantes e crianças pequenas, pois a exposição pré-natal pode resultar em atrasos no desenvolvimento, comprometimentos cognitivos e disfunções motoras (Clarkson & Magos, 2006). A exposição crônica ao metilmercúrio por meio do consumo de peixe contaminado também foi associada a doenças cardiovasculares em adultos e aumento dos riscos de distúrbios neurológicos, como a doença de Parkinson e Alzheimer (Guallar et al., 2002).

Dados do nosso grupo de pesquisa indicam que, mesmo com concentrações relativamente baixas de mercúrio, a frequência de consumo de pescado pela população ribeirinha pode intensificar os riscos à saúde humana. Por exemplo, considerando o consumo baixo de pescado (50 g/dia), espécies predadoras, como corvina (*Plagioscion squamosissimus*), piranha (*Pygocentrus nattereri* e *Serrasalmus* sp.) e cachorra (*Rhaphiodon vulpinus* e *Hydrolycus armatus*) apresentam riscos à saúde humana. Porém, em taxas de consumo médias (100 g/dia) e altas (200 g/dia), espécies não-predadoras amplamente consumidas pela população local representam riscos às populações ribeirinhas, como branquinha (*Curimata inornata* e *Psectrogaster amazonica*), sardinha (*Triportheus* sp.) e avoador (*Hemiodus* sp.) (Figura 3).

Apesar de não haver dados oficiais sobre o consumo de pescado pelas comunidades ribeirinhas do rio Araguaia, um estudo realizado no final da década de 1990 demonstrou que o pescado representava apenas 10% da proteína consumida pela população do Araguaia, diferente das comunidades ribeirinhas do rio Amazonas e rio Negro, onde o pescado era a principal fonte de proteína (Begossi et al., 2000). No entanto, um estudo recente indicou que, entre 75 pescadores artesanais do Médio Araguaia, no estado de Tocantins, 85% consomem pescado de três a sete vezes por semana (Mendes-Filho et al., 2020). Silva et al. (2019) também destacaram que o pescado ainda representa uma importante fonte de proteína para as comunidades indígenas da etnia Karajá que habitam o Médio Araguaia.

Consequências ambientais e socioeconômicas

As consequências ambientais da dragagem vão além dos danos ecológicos imediatos. A desestabilização dos sedimentos pode resultar em degradação de habitat, particularmente para organismos bentônicos que dependem de substratos estáveis (Day et al., 1995; Zweig e Rabeni, 2001). A ressuspensão de sedimentos também pode sufocar habitats, reduzindo a abundância e diversidade de espécies

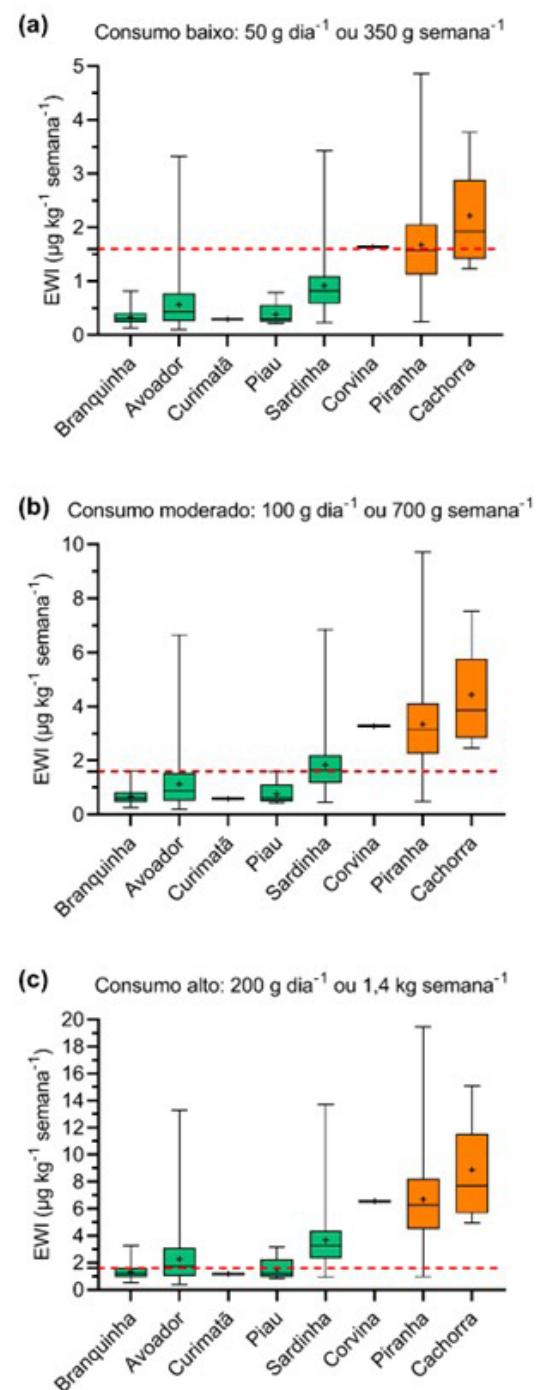


Figura 3. Estimativa de ingestão de Hg através do consumo de pescado. Branquinha (*Curimata inornata* e *Psectrogaster amazonica*), Avoador (*Anodus* sp. e *Hemiodus* sp.), Curimatá (*Prochilodus nigricans*), Piau (*Laemolyta* sp. e *Leporinus* sp.), Sardinha (*Triportheus* sp.), Corvina (*Plagioscion squamosissimus*), Piranha (*Pygocentrus nattereri* e *Serrasalmus* sp.) e Cachorra (*Rhaphiodon vulpinus* e *Hydrolycus armatus*).

bentônicas, que são cruciais para a ciclagem de nutrientes e a dinâmica da teia alimentar (Adámek e Maršíálek, 2012). Ao longo do tempo, essa perda de organismos bentônicos

pode comprometer a resiliência do ecossistema e reduzir a capacidade dos rios de filtrar contaminantes (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

De uma perspectiva socioeconômica, a degradação dos recursos pesqueiros devido à contaminação por metais pesados poderia afetar severamente as comunidades que

dependem do peixe como fonte primária de alimento e renda. A perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos, como a purificação da água e a produtividade das pescas, pode levar a custos aumentados no tratamento de água e a desafios de segurança alimentar para as populações afetadas (Mergler et al., 2007).

Considerações finais e recomendações de gestão

A dragagem e a agitação de sedimentos em rios altamente oxidativo-redutores com altas concentrações de ferro e mercúrio representam sérios riscos ambientais e à saúde pública. A liberação de metais tóxicos, particularmente metilmercúrio, pode perturbar os ecossistemas aquáticos por meio da biomagnificação na cadeia alimentar e causar danos neurológicos e reprodutivos a longo prazo tanto para a vida selvagem quanto para os humanos.

Diante desse contexto, recomenda-se que a dragagem de sedimentos seja evitada, salvo em situações absolutamente imprescindíveis e devidamente justificadas por estudos de impacto ambiental robustos, adotando técnicas de dragagem menos intrusivas. Como alternativa à intervenção direta, estratégias de gestão baseadas no princípio da precaução devem ser adotadas, priorizando medidas de preservação das condições naturais de deposição e

estabilização dos sedimentos, incluindo a preservação e recuperação da vegetação ripária para reduzir processos erosivos, e o controle rigoroso da ocupação e do uso do solo nas margens do rio Araguaia e nas sub-bacias hidrográficas dos tributários.

Adicionalmente, recomenda-se o estabelecimento de programas permanentes de monitoramento ambiental, com foco na qualidade dos sedimentos, da água e da biota aquática, a fim de detectar precocemente sinais de instabilidade geoquímica ou aumento da biodisponibilidade de metais. Assim, a manutenção dos processos naturais, associada a estratégias preventivas de gestão, representa a abordagem mais segura e sustentável para proteger a integridade ecológica do rio Araguaia e a saúde das populações humanas dependentes de seus recursos.

Referências

- Adámek, Z., & Maršíálek, B. (2013). Bioturbation of sediments by benthic macroinvertebrates and fish and its implication for pond ecosystems: a review. *Aquaculture International*, 21(1), 1-17
- Amorosi, A., Guermandi, M., Marchi, N., & Sammartino, I. (2014). Fingerprinting sedimentary and soil units by their natural metal contents: a new approach to assess metal contamination. *Science of the Total Environment*, 500, 361-372.
- Azevedo, L. S., Pestana, I. A., Nascimento, L., Oliveira, R. C., Bastos, W. R., & di Beneditto, A. P. M. (2022). Risk of exposure to Hg and pesticides residues in a traditional fishing community in the Amazon: a probabilistic approach based on dietary pattern. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.
- Begossi, A., Hanazaki, N., & Peroni, N. (2000). Knowledge and use of biodiversity in Brazilian hot spots. *Environment, Development and Sustainability*, 2(3), 177-193.
- Benoit, J. M., Gilmour, C. C., & Mason, R. P. (2001). The influence of sulfide on solid-phase mercury bioavailability for methylation by pure cultures of *Desulfobulbus propionicus* (1pr3). *Environmental Science & Technology*, 35(1), 127-132.
- Bhateria, R., & Jain, D. (2016). Water quality assessment of lake water: a review. *Sustainable Water Resources Management*, 2, 161-173.
- Brasil (2012). Resolução CONAMA n° 454, de 1º de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.
- Canela, T. A., Monteiro, L. C., Cabral, C. D. S., Ximenes, F. D. S., Oliveira, I. A. D. S., Bernardi, J. V. E., ... & Bastos, W. R. (2024). Mercury in fish and human hair and estimated dietary intake in a riverside community of the Madeira River Basin in the Brazilian Amazon. *Toxics*, 12(3), 208.
- Clarkson, T. W., & Magos, L. (2006). The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Critical Reviews in Toxicology*, 36(8), 609-662.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2004). Mapeamento Geológico do Brasil. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/>

- Cruz, M. A. S., Gonçalves, A. D. A., de Aragão, R., de Amorim, J. R. A., da Mota, P. V. M., Srinivasan, V. S., ... & de Figueiredo, E. E. (2019). Spatial and seasonal variability of the water quality characteristics of a river in Northeast Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 78, 1-11.
- Day, K. E., Kirby, R. S., & Reynoldson, T. B. (1995). The effect of manipulations of freshwater sediments on responses of benthic invertebrates in whole-sediment toxicity tests. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 14(8), 1333-1343.
- DeLaune, R. D., Jugsujinda, A., Devai, I., & Patrick Jr, W. H. (2004). Relationship of sediment redox conditions to methyl mercury in surface sediment of Louisiana Lakes. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 39(8), 1925-1933.
- Driscoll, C. T., Han, Y. J., & Chen, C. Y. (2007). Mercury contamination in forest and freshwater ecosystems in the northeastern United States. *Bioscience*, 57(1), 17-28.
- Feyte, S., Tessier, A., Gobeil, C., & Cossa, D. (2010). In situ adsorption of mercury, methylmercury and other elements by iron oxyhydroxides and organic matter in lake sediments. *Applied Geochemistry*, 25(7), 984-995.
- Frieling, J., Mather, T. A., März, C., Jenkyns, H. C., Hennekam, R., Reichart, G. J., ... & Van Helmond, N. A. G. M. (2023). Effects of redox variability and early diagenesis on marine sedimentary Hg records. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 351, 78-95.
- Guallar, E., Sanz-Gallardo, M. I., & van't Veer, P. (2002). Mercury, fish oils, and the risk of myocardial infarction. *The New England Journal of Medicine*, 347(22), 1747-1754.
- Haberzettl, T., Kück, B., Wulf, S., Anselmetti, F., Ariztegui, D., Corbella, H., ... & Zolitschka, B. (2008). Hydrological variability in southeastern Patagonia and explosive volcanic activity in the southern Andean Cordillera during Oxygen Isotope Stage 3 and the Holocene inferred from lake sediments of Laguna Potrok Aike, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 259(2-3), 213-229.
- Josef, C. F., Adriano, L. R., De França, E. J., de Carvalho, G. G. A., & Ferreira, J. R. (2008). Determination of Hg and diet identification in otter (*Lontra longicaudis*) feces. *Environmental Pollution*, 152(3), 592-596.
- Li, C., Xu, Z., Luo, K., Chen, Z., Xu, X., Xu, C., & Qiu, G. (2021). Biomagnification and trophic transfer of total mercury and methylmercury in a sub-tropical montane forest food web, southwest China. *Chemosphere*, 277, 130371.
- Lino, A. S., Kasper, D., Guida, Y. S., Thomaz, J. R., & Malm, O. (2019). Total and methyl mercury distribution in water, sediment, plankton and fish along the Tapajós River basin in the Brazilian Amazon. *Chemosphere*, 235, 690-700.
- Linnik, P., Osadchy, V., Osadcha, N., & Linnik, R. (2023). Redox potential as an important characteristic of the chemical and biological state of surface waters. *Chemistry and Ecology*, 39(6), 640-672.
- Lipp, A. G., Roberts, G. G., Whittaker, A. C., Gowing, C. J., & Fernandes, V. M. (2020). River sediment geochemistry as a conservative mixture of source regions: Observations and predictions from the Cairngorms, UK. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125(12), e2020JF005700.
- Liu, R., Altschul, E. B., Hedin, R. S., Nakles, D. V., & Dzombak, D. A. (2014). Sequestration enhancement of metals in soils by addition of iron oxides recovered from coal mine drainage sites. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 23(4), 374-388.
- Marchese, M. J., Gerson, J. R., Berky, A. J., Driscoll, C., Fernandez, L. E., Hsu-Kim, H., ... & Bernhardt, E. S. (2024). Diet choices determine mercury exposure risks for people living in gold mining regions of Peru. *Environmental Research: Health*, 2(3), 035001.
- Mason, R. P., Reinfelder, J. R., & Morel, F. M. M. (1996). Uptake, toxicity, and trophic transfer of mercury in a coastal diatom. *Environmental Science & Technology*, 30(6), 1835-1845.
- Mendes-Filho, O. R., Figueiredo, E. S. A., de Araújo Silva, K. C., & Cintra, I. H. A. (2020). Caracterização dos pescadores que integram o acordo de pesca na região do médio rio Araguaia, Tocantins, Brasil. *Research, Society and Development*, 9(7), e529974516-e529974516.
- Mergler, D., Anderson, H. A., & Chan, L. H. M. (2007). Methylmercury exposure and health effects in humans: A worldwide concern. *Ambio*, 36(1), 3-11.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being: Wetlands and water synthesis. *World Resources Institute*.
- Molina, C. I., Gibon, F. M., Duprey, J. L., Dominguez, E., Guimarães, J. R. D., & Roulet, M. (2010). Transfer of mercury and methylmercury along macroinvertebrate food chains in a floodplain lake of the Beni River, Bolivian Amazonia. *Science of the Total Environment*, 408(16), 3382-3391.
- Monteiro, L. C., Vieira, L. C. G., Bernardi, J. E. V., Pereira, T. A. M., Costa-Júnior, W. A., Silva, W. P., ... & Bastos, W. R. (2025). Combined effects of land use and geology on potentially toxic elements contamination in lacustrine sediments

- from the Araguaia River floodplain, Brazilian Savanna. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197, 693
- Moraes, L., Bernardi, J. V. E., de Souza, J. P. R., Portela, J. F., Vieira, L. C. G., Sousa Passos, C. J., ... & Dorea, J. G. (2023). Sediment Mercury, Geomorphology and Land Use in the Middle Araguaia River Floodplain (Savanna Biome, Brazil). *Soil Systems*, 7(4), 97.
- Mosquera-Guerra, F., Trujillo, F., Parks, D., Oliveira-da-Costa, M., Van Damme, P. A., Echeverría, A., ... & Armenteras-Pascual, D. (2019). Mercury in populations of river dolphins of the Amazon and Orinoco basins. *EcoHealth*, 16, 743-758.
- Munthe, J., & Hultberg, H. (2004). Mercury in aquatic ecosystems. In *Encyclopedia of Environmental Health* (pp. 511-519). Elsevier.
- Ogwueleka, T. C. (2015). Use of multivariate statistical techniques for the evaluation of temporal and spatial variations in water quality of the Kaduna River, Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 1-17.
- Root, R. A., Dixit, S., Campbell, K. M., Jew, A. D., Hering, J. G., & O'Day, P. A. (2007). Arsenic sequestration by sorption processes in high-iron sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(23), 5782-5803.
- Santos, A. N. D., Recktenvald, M. C. N. D. N., de Carvalho, D. P., Puerta, E. L. B., de Sousa-Filho, I. F., Dórea, J. G., & Bastos, W. R. (2021). Mercury in birds (aquatic and scavenger) from the Western Amazon. *Environmental Research*, 201, 111574.
- Silva, L. G., de Lima, S. C., & Nazareno, E. (2019). O povo Karajá de Aruanã-GO/Brasil: Turismo, território e vida indígena. *Tempos Históricos*, 23(1), 216-240
- Ullrich, S. M., Tanton, T. W., & Abdrashitova, S. A. (2001). Mercury in the aquatic environment: A review of factors affecting methylation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31(3), 241-293.
- Wang, J., Shaheen, S. M., Jing, M., Anderson, C. W., Swertz, A. C., Wang, S. L., & Rinklebe, J. (2021). Mobilization, methylation, and demethylation of mercury in a paddy soil under systematic redox changes. *Environmental Science & Technology*, 55(14), 10133-10141.
- Warren, L. A., & Haack, E. A. (2001). Biogeochemical controls on metal behavior in freshwater environments. *Earth-Science Reviews*, 54(3-4), 261-320.
- Wiener, J. G., Krabbenhoft, D. P., Heinz, G. H., & Scheuhammer, A. M. (2003). Ecotoxicology of mercury. In *Handbook of Ecotoxicology* (pp. 409-463). CRC Press.
- Yu, C., Xu, Y., Yan, Y., Xiao, W., Liu, M., Cheng, M., ... & Wang, X. (2021). Mercury and methylmercury in China's lake sediments and first estimation of mercury burial fluxes. *Science of the Total Environment*, 770, 145338.
- Zweig, L. D., & Rabeni, C. F. (2001). Biomonitoring for deposited sediment using benthic invertebrates: a test on 4 Missouri streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 20(4), 643-657.
- Zhuang, J., & Gao, X. (2013). Environmental fate and behavior of toxic heavy metals in sediment. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(6), 4079-4094.

COMO CITAR:

Bernardi JVE, Vieira LCG, Gonçalves Jr. JF, Monteiro LC, Rodrigues Y. (2025). Parecer sobre dragagem, agitação e mobilização de sedimentos do Rio Araguaia, para possibilitar a navegação: impactos e consequências ao ambiente e saúde humana. *Revista TWRA*, v. 2, n. 1, p. 9-16. DOI: 10.63566/30856671e20250013pt