

Mercúrio na Amazônia: fontes e caminhos até os peixes

Breve Descrição do Problema de Mercúrio em Peixes Amazônicos

A poluição por mercúrio, bem como as preocupações ambientais e de saúde a ela associadas, têm sido temas de intensos na região Amazônica. Historicamente, os esforços científicos para compreender o impacto do mercúrio no Brasil concentraram-se na única forma de mercúrio visível, aquele usado por garimpeiros artesanais na extração de ouro. Entretanto, a conversão do mercúrio metálico a metilmercúrio, que rapidamente se acumula na biota aquática, é um processo complexo. Necessita oxidação do metal, complexação com ácidos orgânicos e metilação bacteriana. Nesse contexto, os ácidos orgânicos dissolvidos, que conferem a cor escura de alguns rios e igarapés amazônicos, é de suma importância na complexação do mercúrio oxidado e na formação de ambiente anaeróbico propício a metilação. Este fenômeno tem sido amplamente divulgado^{1,2,3}.

O metilmercúrio (CH_3Hg^+) é produzido nos ambientes aquáticos pela maioria das bactérias, principalmente sob condições anóxicas¹³. Essas condições são encontradas nas áreas alagáveis associadas aos rios quando inundadas, especialmente nos sedimentos e águas do fundo (Kasper et al. 2017, Brito et al. 2016) e em solos hidromórficos durante o período chuvoso (Vasconcelos et al. 2022). A metilação também é favorecida em ambientes com baixo pH e rico em material orgânico dissolvido.

Entre as diferentes formas de mercúrio presentes no ambiente aquático, o metilmercúrio é assimilado e bio-acumulado preferencialmente pela biota aquática, representando de 70 a 90% do Hg total nos músculos de peixes. As demais formas de Hg encontradas nos peixes são predominantemente compostos inorgânicos⁴. Como o metilmercúrio é absorvido rapidamente por organismos aquáticos, sua concentração na água normalmente é muito baixa. Uma vez assimilada, o metilmercúrio é eliminado lentamente pelos organismos aquáticos. No caso dos peixes, a total eliminação pode levar de meses até anos⁵. A rápida assimilação e lenta eliminação do MeHg pelos organismos resulta na bioacumulação e o biomagnificação de MeHg através da cadeia alimentar, com a concentração de MeHg nos peixes predadores sendo muito maior do que nas plantas no início da cadeia alimentar^{6,7,8}.

¹ Kasper, D., Forsberg, B.R., do Amaral Kehrig, H., Amaral, J.H.F., Bastos, W.R., Malm, O. (2018). Mercury in Black-Waters of the Amazon. In: Myster, R. (eds) Igapó (Black-water flooded forests) of the Amazon Basin. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90122-0_3

² Tromans, D., Meech, J.A., Veiga, M.M., (1996). Natural organics and the environmental stability of mercury: electrochemical considerations. *J. Electrochem. Soc.* 143 (6), 123–126.

³ Jardim, W.F., Bisinoti, M.C., Fadini, P.S., Silva, G.S. (2010). Mercury redox chemistry in the Negro River Basin, Amazon: the role of organic matter and solar light. *Aquat. Geochem.* 16, 267–278.

⁴ Huckabee, J.W.; Elwood, J.W.; Hildebrand, S.G. (1979). Accumulation of Mercury in Freshwater Biota. In: The Biogeochemistry of Mercury in the Environment. p.277-302. Ed. J.O. Nriagu. Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, 696p.

⁵ Tollefson L, Cordle F. (1986). Methylmercury in fish: a review of residue levels, fish consumption and regulatory action in the United States. *Environ Health Perspect.* 68:203-208. doi: 10.1289/ehp.8668203.

⁶ D'Itri, F.M. (1972). *The Environmental Mercury Problem*. CRC Press, Cleveland, Ohio, 124p.

O mercúrio natural proveniente de vulcanismos, incêndios florestais, evaporação e intemperismo de vários componentes geológicos, depositado por milhares de anos nos solos amazônicos, pode ser uma das mais relevantes fontes de mercúrio que se bioacumula em ambientes aquáticos^{9,10,11}. Fontes industriais mais recentes, incluindo a mineração artesanal do ouro, também podem ter importância na bioacumulação de mercúrio em peixes, mas é necessário distinguir essas fontes antrópicas das fontes naturais.

Atualmente, sabe-se que as condições biológicas e o estado oxidativo do ambiente aquático são mais determinantes para a formação de metilmercúrio que a concentração de mercúrio no substrato (água ou sedimento). A presença de alta concentração de mercúrio em água ou sedimentos nem sempre se correlaciona com taxas elevadas de metilação e bioacumulação. Por exemplo, peixes encontrados em área de mineração artesanal no município de Cachoeira do Piriá, Estado do Pará, extremamente poluídas com rejeitos mercuriais, apresentaram níveis de metilmercúrio mais baixos que peixes em áreas não poluídas, mas ricas em matéria orgânica^{12,13}. Em outro estudo, realizado em campos naturais no médio rio Negro, áreas onde nunca houve mineração, a biomagnificação do mercúrio foi observada na cadeia trófica *Paracheirodon axelroldi*, uma espécie de peixe de pequeno porte¹⁴.

Os altos níveis de mercúrio natural encontrados em solos de terra firme na Amazonia constituem certamente uma das principais fontes da contaminação mercurial em peixes. Distinguir essas fontes naturais das antropogênicas, como o uso de mercúrio

⁷ D'Itri, F.M. (1990). The Biomethylation and Cycling of Selected Metals and Metalloids in Aquatic Sediments. In: Sediments: *Chemistry and Toxicity of In-Place Pollutants*. p.163-214. Ed. R.Baudo; J.P.Giesy; H.Muntau. Lewis Publishers, Ann Arbor.

⁸ Lindqvist, O.; Johansson, K.; Aastrup, M.; Andersson, A.; Bringmark, L.; Hovsenius, G.; Hakanson, L.; Iverfeldt, A.; Meili, M.; Timm, B. (1991). Mercury in the Swedish Environment - Recent Research on Cause, Consequences and Corrective Methods. *Water, Air and Soil Pollution*, 55, 1-261.

⁹ Fadini, P.S., Jardim, W.F. (2001). Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? *Sci. Total Environ.* 275 (1-3), 71-82.

¹⁰ Bisinoti, M.C., Sargentini Jr, E., Jardim, W.J., 2007. Seasonal behavior of mercury species in waters and sediments from the Negro River Basin, Amazon, Brazil. *J. Braz. Chem. Soc.* 18 (3), 544-553.

¹¹ Barbosa, A.C., Souza, J., Dorea, J.G., Jardim, W.F., Fadini, P.S. (2003). Mercury biomagnification in a tropical black water, Rio Negro, Brazil. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 45, 235-246.

Kasper, D., Forsberg, B. R., Amaral, J.H.F., Py-Daniel, S.S.S., Bastos, W.R. and Malm, O. 2017. Methylmercury modulation in Amazon rivers linked to basin characteristics and seasonal flood-pulse Environ. Sci. Technol., DOI:10.1021/acs.est.7b04374.

Brito, B.C., Forsberg, B.R., Kasper, D., Amaral, J.H.F., Vasconcelos, M.R.R., Souza, O.P., Cunha, F.A.G. and Bastos, W. 2016. The influence of inundation and lake morphometry on the dynamics of mercury in the water and plankton in an

Amazon floodplain lake. *Hydrobiologia* DOI 10.1007/s10750-016-3017-y

Vasconcelos, M, Brito, B.C., Forsberg, B.R., Goch, Y.G.F., Malm, O., Melo, S., Kasper, D. 2022. Export and bioaccumulation of methylmercury in streams draining distinct soils in the Central Brazilian Amazon, 2012-2013. *J. Trace Elem. Min.* 2, doi.org/10.1016/j.jtemin.2022.100014

Hinton, J.J. and Veiga, M.M. (2008). The Influence of Organic Acids on Mercury Bioavailability: Insight from an Earthworm Assessment Protocol. *J. Environmental Bioindicators*, 3, 47-67.

¹³ Hinton, J.J. and Veiga, M.M. (2002). Earthworms as Bioindicators of Mercury Pollution from Mining and other Industrial Activities. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2(3), 269-274. Geological Society of London

¹⁴ Marshall, B.G., Forsberg, B.R., Thomé-Souza, M., Peleja, R., Moreira, M.Z. and Freitas, C.E.C. (2016). Evidence of mercury biomagnification in the food chain of the cardinal tetra *Paracheirodon axelroldi* (Osteichthyes: Characidae) in the Rio Negro, central Amazon, Brazil. *Journal of Fish Biology*, 89, 220-240.



nos garimpos de ouro, tem sido um desafio a ser enfrentado pela Ciência a fim de oferecer a linha de base necessária para a proposição de políticas públicas.

Responsável Técnico

Carlos E.C. Freitas

CV completo: <http://lattes.cnpq.br/4897726772361601>

Colaboradores

Alexandre A. F. Rivas

CV completo: <http://lattes.cnpq.br/2770348188487098>

Bruce Rider Forsberg

CV completo: <http://lattes.cnpq.br/5114963257086753>

Marcello M. Veiga

CV completo: <https://mining.ubc.ca/person/marcello-m-veiga/>