

## BIOACUMULAÇÃO DE MERCÚRIO NOS PEIXES PISCÍVOROS DO RESERVATÓRIO DE BALBINA, AMAZONAS

Sarah Sampaio PY-DANIEL<sup>1</sup>; Daniele KASPER<sup>2</sup>; Bruce Rider FORSBERG<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bolsista PIBIC/CNPq; <sup>2</sup>Co-Orientadora CDAM/INPA; <sup>3</sup>Orientador CDAM/INPA

### 1. Introdução

Atualmente é sabido que o mercúrio (Hg) ocorre em altas concentrações na região amazônica em alguns locais sem histórico de presença de garimpos (Fadini e Jardim 2001). A sua entrada natural no ambiente é decorrente principalmente das emissões vulcânicas e lixiviação de rochas e solos (Pfeiffer e Lacerda 1988). O desmatamento pode intensificar a erosão dos solos levando partículas com Hg adsorvido para o ambiente aquático (Roulet *et al.* 1998). O Hg que chega ao sistema aquático pode sofrer o processo de metilação e sendo em metilmercúrio, que é facilmente assimilado e bioacumulado pela fauna aquática (Wasserman *et al.* 2001). O processo de bioacumulação do Hg é decorrente da sua meia vida longa gerando maiores concentrações de Hg na biota do que no ambiente em que estão inseridos (Fericola *et al.* 2004).

A construção de barragens transforma as características ambientais como o aumento inicial nas concentrações de nutrientes, e a redução de oxigênio dissolvido (Menezes *et al.* 1997; Hylander *et al.* 2006). Conseqüentemente ocorre aumento da metilação do Hg (Hylander *et al.* 2006). Após o enchimento dos reservatórios, tem-se registrado um aumento nas concentrações de Hg na biota aquática (Hylander *et al.* 2006). Estas elevadas concentrações podem ser causadas por mudanças nos hábitos alimentares dos organismos após o barramento (Vidal 2009; Dominique *et al.* 2007) e também devido à intensificação da metilação do Hg (Hylander *et al.* 2006).

Dentre os organismos aquáticos, os peixes são bons indicadores para avaliação da poluição crônica (Kasper *et al.* 2007). A idade dos peixes, representada de forma indireta pelo seu tamanho (comprimento padrão), pode influenciar (Carrasco *et al.* 2011) ou não influenciar os níveis de Hg acumulado (Roulet e Maury-Brachet 2001; Sampaio Da Silva *et al.* 2006; Bastos *et al.* 2008) como consequência do tempo de exposição. Além da idade, o hábito alimentar e o ciclo de vida destes organismos também são importantes fatores que devem ser considerados para a compreensão das concentrações de Hg nos peixes (Svobodová *et al.* 1999; Dominique *et al.* 2007). As maiores concentrações de Hg nos peixes podem ocorrer quanto mais próximo o seu habitat estiver do sedimento (Svobodová *et al.* 1999) ou quanto mais alto for seu nível trófico (Dominique *et al.* 2007). Assim, as concentrações de Hg em peixes piscívoros são geralmente maiores do que os encontrados em onívoros, detritívoros, invertívoros e herbívoros (Zhou e Wong 2000). Dentre os peixes piscívoros, existem diferentes hábitos de acordo com a disposição preferencial na coluna d'água, como pelágicos e bentopelágicos (Helfman *et al.* 2009). Estes hábitos possibilitam que alguns peixes piscívoros tenham acesso às zonas que estejam metilando o Hg em reservatórios.

Desta forma, no presente trabalho determinamos as concentrações de Hg total no tecido muscular dos peixes piscívoros em um reservatório construído em um rio de água preta. Adicionalmente investigamos a influência do comprimento padrão, espécie e hábito de vida nas concentrações de Hg dos peixes piscívoros avaliando se a bioacumulação ocorre da mesma forma entre espécies de diferentes peixes piscívoros.

### 2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado no reservatório da Usina Hidrelétrica de Balbina, localizado no município de Presidente Figueiredo (AM) cerca de 155 km ao norte de Manaus. O reservatório cobre uma área total aproximada de 2.400 km<sup>2</sup> e foi construído pelo represamento do rio Uatumã, afluente da margem esquerda do rio Amazonas (Menezes *et al.* 1997). O rio Uatumã possui períodos de águas altas de abril a junho, e de águas baixas de agosto a dezembro (Menezes *et al.* 2007).

As coletas dos peixes foram realizadas no segundo semestre de 2011. Os peixes foram identificados, pesados e o comprimento padrão mensurado. O tecido muscular dorsolateral foi removido e congelado para as análises de Hg. Os peixes analisados nos quais não foram encontradas informações sobre o crescimento e maturação sexual foram considerados adultos.

No total foram coletados e analisados quanto às concentrações de Hg amostras de tecido muscular de 148 espécimes de peixes, pertencentes a oito táxons: *Acestrorhynchus* spp. (Characiformes: Acestrorhynchidae; n = 7 – *Acestrorhynchus falcirostris* (Cuvier, 1819) e *Acestrorhynchus microlepis* (Jardine, 1841)); *Agoniates halecinus* (Characiformes: Characidae; n = 23) Muller & Troschel, 1845; *Cynodon septenarius* (Characiformes: Cynodontidae; n = 8) Toledo-Piza, 2000; *Pygopristis denticulata* (Characiformes: Serrasalminidae *sensu* Caires and Figueiredo 2011; n = 9) (Cuvier, 1819); *Serrasalmus rhombeus* (Characiformes: Serrasalminidae *sensu* Caires and Figueiredo 2011; n = 29) (Linnaeus, 1766); *Cichla* spp. (Perciformes: Cichlidae; n = 38 – *Cichla monoculus* Spix & Agassiz 1831 e *Cichla vazzoleri* Kullander & Ferreira, 2006); *Plagioscion squamosissimus* (Perciformes: Sciaenidae; n = 20) (Heckel, 1840); *Ageneiosus* spp. (Siluriformes: Auchenipteridae; n = 14 – *Ageneiosus inermis* (Linnaeus, 1766), *Ageneiosus polystictus* Steindachner, 1915 e *Ageneiosus vittatus* Steindachner, 1908).

As análises descritas a seguir foram realizadas no Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho - da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang Christian Pfeiffer, da Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Foram analisadas as concentrações de mercúrio total (THg) no tecido muscular dos peixes. A extração química das amostras foi realizada de acordo com a metodologia de Bastos *et al.* (1998). A detecção e a quantificação do THg nas amostras foram realizadas em um Espectrofotômetro de Absorção Atômica a Vapor Frio (FIMS-400, Perkin-Elmer).

Para avaliar o efeito do comprimento padrão dos peixes sobre o THg de cada espécie, foi realizada uma correlação de Pearson e uma correlação de Spearman. Foi utilizado o teste Kruskal-Wallis para testar diferenças de concentração de THg entre as espécies de peixes. Quando foi detectada pelo menos uma média discrepante das demais, utilizou-se o teste *post hoc* de Dunn para a identificação de qual (ou quais) grupo era significativamente diferente. O teste de Mann-Whitney foi utilizado para testar as diferenças de concentração de THg entre os peixes de hábito pelágico e bentopelágico. Os testes foram realizados utilizando o programa estatístico GraphPad InStat 3.0.

### 3. Resultados e Discussão

A concentração média do Hg no tecido muscular dos piscívoros foi de  $481 \pm 290$   $\mu\text{g}/\text{kg}$ . A concentração de THg no músculo de *Cichla* spp. ( $R^2=0,1800$   $p=0,0079$ ), *Agoniates halecinus* ( $R^2=0,3797$   $p=0,0017$ ), *Plagioscion squamosissimus* ( $R=0,7174$   $p=0,0004$ ), *Serrasalmus rhombeus* ( $R=0,5679$   $p=0,0013$ ), *Pygopristis denticulata* ( $R^2=0,6222$   $p=0,0115$ ) estiveram positivamente correlacionada com o comprimento padrão de cada. Apenas *Acestrorhynchus* spp. ( $R=0,03571$   $p=0,9635$ ), *Ageneiosus* spp. ( $R=0,2484$   $p=0,3919$ ), *Cynodon septenarius* ( $R^2=0,3512$   $p=0,1216$ ) não apresentaram correlação entre a concentração de THg e o comprimento padrão.

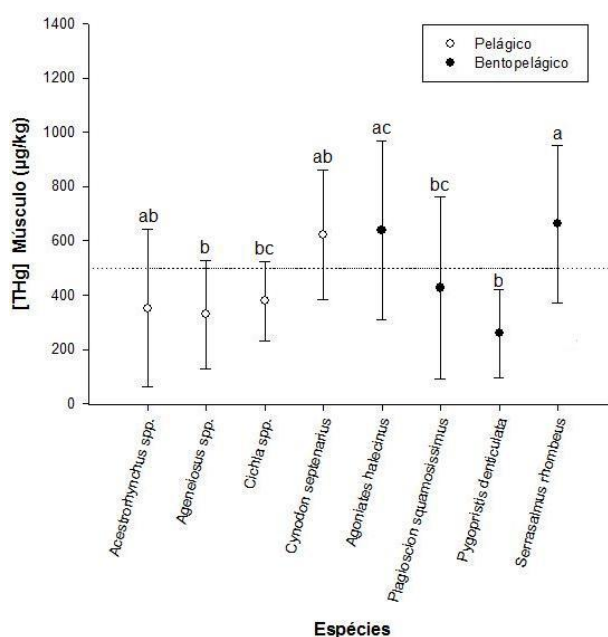
É esperado que a concentração de Hg aumente ao longo da vida do animal, portanto, peixes maiores e mais pesados teriam maiores concentrações de Hg no músculo (Vidal 2009). Assim como a maioria dos peixes analisados no presente trabalho, outros estudos realizados na região amazônica encontraram uma correlação positiva entre a concentração de Hg no músculo e o comprimento padrão (e.g. Pouilly *et al.* 2012). As correlações positivas são, principalmente, observadas para os peixes piscívoros, mas também já foram vistas em espécies de peixes que possuem outros hábitos alimentares (Sampaio Da Silva *et al.* 2006). No entanto, vários estudos para a região não encontraram essa correlação (Dorea *et al.* 2006; Sampaio Da Silva *et al.* 2006; Bastos *et al.* 2008; Holanda 2008)

De acordo com Roulet e Maury-Brachet (2001), correlações entre o nível de Hg e o comprimento dos peixes são raras para os peixes amazônicos. Esta ausência de correlação pode ocorrer quando são analisados somente indivíduos com tamanhos muito semelhantes (Sampaio Da Silva *et al.* 2006). A não correlação pode também estar associada à variabilidade no regime alimentar dos peixes, à capacidade de migração, bem como a todos os outros fatores intrínsecos da espécie, níveis de Hg nos sedimentos, na matéria orgânica em suspensão e em organismos como plâncton e bentos (Sampaio Da Silva *et al.* 2006; Dorea *et al.* 2006). Os organismos consumidores, como os piscívoros, podem adaptar suas estratégias de alimentação à disponibilidade do alimento, o que pode influenciar as concentrações de metilmercúrio na musculatura destes peixes (Bastos *et al.* 2007) e, modificar a correlação de Hg com o comprimento padrão (Dorea *et al.* 2006).

A concentração de THg no músculo dos peixes piscívoros foi distinta entre as espécies (KW = 37,751;  $p<0,0001$ ; Figura 1). Os peixes piscívoros com hábito bentopelágico apresentaram as maiores concentrações de Hg ( $U'= 3412$ ;  $p<0,05$ ), com exceção de *Pygopristis denticulata*. Das quatro espécies pelágicas, três apresentaram grande parte dos valores abaixo do limite da OMS. Já dentre as quatro espécies bentopelágicas, duas apresentaram resultados acima do limite da Organização Mundial de Saúde.

As concentrações médias de THg dos piscívoros no presente trabalho está dentro dos valores de THg obtidos em estudos anteriores para piscívoros do próprio reservatório de Balbina (Kehrig e Malm 1999), do reservatório de Samuel (Kasper 2008), do rio Negro (Dorea *et al.* 2006), do rio Trombetas (Faial *et al.* 2005), do rio Blanco e rio Martin na Amazônia boliviana (Pouilly *et al.* 2012), do lago natural Manacapuru (Beltran-Pedrerros *et al.* 2011 ) e do rio Tapajós e do rio Madeira (Kehrig e Malm 1999). Por outro lado, estudos realizados no reservatório de Tucuruí (Kehrig *et al.* 2009) e no rio Cuyuní, na Amazônia venezuelana (Farina *et al.* 2008) registraram, respectivamente, valores 2,6 e 3,2 maiores que o valor máximo registrado pelo presente trabalho (1.269  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Estas elevadas concentrações no rio Cuyuní e no reservatório de Tucuruí podem ser devido a mineração do ouro que existe à montante das áreas.

Como neste trabalho, outros estudos na região amazônica obtiveram variações nas concentrações de Hg dentro das espécies. Observamos que a bioacumulação de Hg nos peixes piscívoros está sendo influenciada pelo hábito de vida. Não é claro a formação de grupos distintos, mas a dispersão dos valores é diferente entre as espécies. Mesmo com sobreposição dos valores de Hg entre as espécies, a amplitude destes valores em bentopelágicos mostrou uma tendência para cima e a dos pelágicos para baixo. Os organismos bentopelágicos, via de regra, migram verticalmente na coluna d'água, acessando ambientes bentônicos e pelágicos (Helfman *et al.* 2009). Este comportamento pode expor os organismos às regiões com ambientes hipóxicos ou anóxicos, com concentrações elevadas de matéria orgânica dissolvida e atividade intensa de microrganismos decompositores. Estas condições são propícias à metilação que em consequência aumentam a biodisponibilidade do Hg e a sua incorporação na cadeia alimentar (Lacerda e Malm 2008).



**Figura 1.** Concentrações médias de mercúrio total (THg) no músculo dos peixes piscívoros coletados no reservatório de Balbina. As espécies com círculos vazados possuem hábito pelágico e as com círculo preenchido possuem hábito bentopelágico. As letras diferentes indicam diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ). As barras indicam 95% de intervalo de confiança. A linha descontinua é referente ao limite máximo de Hg em peixes recomendado pela Organização Mundial da Saúde (FAO/WHO 2006) para o consumo humano.

O processo de bioacumulação do Hg ocorre principalmente por meio da alimentação. Portanto, a diferença no comportamento alimentar entre os adultos das espécies e as diferentes necessidades nutricionais entre os estágios de vida dos organismos, também podem explicar as variações nas concentrações de Hg (Zhou e Wong 2000). A construção de um reservatório pode ocasionar mudanças no hábito e comportamento alimentar dos peixes adultos, e essas alterações interferem na bioacumulação do Hg (Vidal 2009). Esta mudança no hábito alimentar está relacionada geralmente à abundância, disponibilidade e vulnerabilidade do recurso (Novakowski *et al.* 2007) e ao gasto de energia (Cantanhêde *et al.* 2008). Em ambientes represados há maior disponibilidade e facilidade de captura de presas ágeis, tornando mais econômica a captura de presas que possuem maior nível energético do que os invertebrados (Silva 2006; Helfman *et al.* 2009). No reservatório de Tucuruí, peixes planctívoros passaram a ingerir itens de origem animal e, conseqüentemente, apresentaram concentrações de Hg semelhantes às dos peixes de topo de cadeia alimentar (Palermo *et al.* 2004). Silva (2006) verificou que os adultos do cruzador (*Agoniates halecinus*), por exemplo, mudaram de hábito alimentar invertívoro no rio para piscívoro no lago do Reservatório de Balbina. Este tipo de comportamento pode ter ocasionado o maior incremento de Hg no cruzador.

Os peixes de ambientes aquáticos tropicais apresentam uma elevada adaptabilidade trófica, em função das variações na disponibilidade temporal e espacial dos recursos (Silva 2006). Os peixes piscívoros podem se alimentar de diferentes presas que são provenientes de diferentes níveis tróficos levando a alterações na acumulação de Hg nestes peixes (Roulet e Maury-Brachet 2001). Isto corrobora os diferentes níveis de bioacumulação apresentados neste trabalho.

Observamos que a maioria das concentrações encontradas para cada espécie neste trabalho está dentro da amplitude de valores intraespecíficos observados na Amazônia. Entretanto, os peixes piscívoros analisados aqui apresentaram grandes variações nas concentrações de Hg. Portanto, o hábito alimentar não representa o único fator para as concentrações de Hg observadas em peixes. Deve-se ter atenção ao agrupar estes organismos com base nos hábitos alimentares em uma análise de ecotoxicologia do Hg.

#### 4. Conclusão

O comprimento padrão dos peixes piscívoros do reservatório de Balbina influenciou nas suas concentrações de THg. As espécies de peixes piscívoros do reservatório de Balbina apresentaram diferentes concentrações de Hg no tecido muscular. O hábito de vida dos peixes piscívoros não agrupou as espécies com relação à concentração de Hg.

#### 5. Referências Bibliográficas

- Bastos, W.R. *et al.* 1998. Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon, Brazil. *Ciência e Cultura*, 50(4): 255-260.
- Bastos, W.R. *et al.* 2007. Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted Rio Madeira (Amazon). *Ecotoxicology*, 16: 341-346.

- Bastos, W.R. *et al.* 2008. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Acta Amazonica*, 38(3): 431 – 438.
- Beltran-Pedrerros, S. *et al.* 2011. Mercury bioaccumulation in fish of commercial importance from different trophic categories in an Amazon floodplain lake. *Neotropical Ichthyology*, 9(4): 901-908.
- Cantanhêde, G. *et al.* 2008. Alterations on piscivorous diet following change in abundance of prey after impoundment in a Neotropical river. *Neotropical Ichthyology*, 6(4): 631-636.
- Carrasco, L. *et al.* 2011. Methylmercury levels and bioaccumulation in the aquatic food web of a highly mercury-contaminated reservoir. *Environment International*, 37: 1213–1218.
- Dominique *et al.* 2007. Biofilm and mercury availability as key factors for mercury accumulation in fish (*Curimata cyprinoides*) from a disturbed Amazonian freshwater system. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 26(1): 45-52.
- Fadini, P.S.; Jardim, W.F. 2001. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? *Sci Total Environ.*, 275: 71-82.
- Faial, K.R.F. *et al.* 2005. Níveis de mercúrio em peixes do rio Trombetas no baixo Amazonas: uma área sem influência da garimpagem. Rio de Janeiro: *Cadernos Saúde Coletiva*, 13(1): 237-248.
- FAO/WHO. 2006. Summary and Conclusions of the Sixty-Seventh Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) in Rome 20–29 June.
- Farina, O. *et al.* 2008. Evaluación de la contaminación por mercurio en la biota acuática, aguas y sedimentos de la cuenca alta del río Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela. In: Lasso, C. A. *et al.*(ed.) Evaluación rápida de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana Conservación Internacional, 235p. .
- Fernicola, N.A.G.G. de *et al.* 2003. Ecotoxicologia. In: Azevedo, F.A. de; Chasin, A.A. da M. (coord). As bases toxicológicas da ecotoxicologia. São Carlos / São Paulo: RiMa editora e InterTox.
- Helfman, G. S. *et al.* 2009. The diversity of fishes: biology, evolution, and ecology. Wiley-Blackwell, 2ª. Edição, 720p. .
- Holanda, Í.B.B. de 2008. *Investigação das concentrações de mercúrio no tecido muscular e hepático de peixes (UHE-Samuel/Rondônia)*. Monografia, Curso de Ciências Biológicas, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 36p. .
- Hylander, L.D. *et al.* 2006. Fish mercury increase in Lago Manso, a new hydroelectric reservoir in tropical Brazil. *J Environ Manag.*, 81: 155-66.
- Kasper, D. *et al.* 2007. Mercúrio em peixes-fontes e contaminação. *Oecol. Bras*, 11(2): 228 – 239.
- Kasper D. 2008. *Efeito da barragem nas concentrações de mercúrio na biota aquática à jusante de um reservatório amazônico (Usina Hidrelétrica de Samuel, RO)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Kehrig, H.A.; Malm, O. 1999. Methylmercury in Fish as a Tool for Understanding the Amazon Mercury Contamination. *Applied Organometallic Chemistry*, 13: 689-696.
- Kehrig, H.A. *et al.* 2009. Methyl and total mercury found in two man-made Amazonian Reservoirs. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20: 1142-1152.
- Lacerda, L.D. de; Malm, O. 2008. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. *Estudos Avançados*, 22(63): 173-190.
- Menezes, C.F.S. *et al.* 1997. *Limnologia de reservatórios na Amazônia*. In: VI Congresso Brasileiro de Limnologia, Resumos do VI Congresso Brasileiro de Limnologia.
- Novakowski, G.C. *et al.* 2007. Alimentação de peixes piscívoros antes e após a formação do reservatório de Salto Caxias, Paraná, Brasil. *Biota Neotropica*, 7(2): 149-154.
- Palermo, E.F.A. *et al.* 2004. Mercury level increase in fish tissues downstream the Tucuruí reservoir, Brazil. *RMZ. Materials and Geoenvironment*, 51: 1292-1294.
- Pfeiffer, W.C.; Lacerda, L.D. 1988. Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil. *Environmental Technology*, 9(4): 325-330.
- Pouilly, M. *et al.* 2012. Mercury bioaccumulation patterns in fish from the Iténez river basin, Bolivian Amazon. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 83: 8–15.
- Roulet, M.; Maury-Brachet, R. 2001. Le mercure dans les organismes aquatiques amazoniens. In: Carmouze, J. P. *et al.* (Eds). *Le Mercure en Amazonie*. IRD: Paris, 203-271.
- Roulet, M. *et al.* 1998. Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazon Ecosystems. *Water, air and soil pollution*, 112: 297-313.
- Sampaio Da Silva, D. *et al.* 2006. A bioacumulação do mercúrio nos peixes do rio Tapajós, Amazônia brasileira. *InterfacEHS*, 1: 1-31.
- Silva, C.C. 2006. *Dieta da comunidade de peixes na área de influência da UHE Balbina, rio Uatumã, Amazonas, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.
- Svobodová, Z. *et al.* 1999. Bioaccumulation of mercury in various fish species from Orlik and Kamýr Reservoirs in the Czech Republic. *Ecotoxicology an Environmental Safety*, 43: 231-240.
- Vidal, N de C. 2009. *Mercúrio em peixes do reservatório de Xingó (AL/SE) e à sua jusante: concentrações sob influência do efeito barragem e sazonalidade*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Wasserman, J.C. *et al.* 2001. O ciclo do mercúrio no ambiente Amazônico. *Mundo & Vida*, 2: 36-53.
- Zhou, H.Y.; Wong, M.H. 2000. Mercury accumulation in freshwater fish with emphasis on the dietary influence. *Water research*, 34(17): 4234-4242.