

## EFEITO DA BARRAGEM NOS NÍVEIS DE MERCÚRIO EM PEIXES TUCUNARÉ (*Cichla spp.*) LOCALIZADOS À JUSANTE DO RESERVATÓRIO DE BALBINA, AMAZONAS

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

<sup>1</sup> Bolsista PIBIC-PAIC/FAPEAM; <sup>2</sup> Coorientador INPA/ CDAM; <sup>3</sup> Orientador INPA/CDAM

### 1. Introdução

A existência do mercúrio (Hg) na região amazônica foi por muito tempo associada aos garimpos devido à exploração do ouro em meados da década de 70 até início da década de 90 (Wasserman *et al.*, 2001; Kasper, 2008). Atualmente sabe-se que o mercúrio na região amazônica ocorre naturalmente, e é distribuído por processos naturais e antrópicos. A sua entrada natural no ambiente é decorrente das emissões vulcânicas e da lixiviação de rochas e solos (ATSDR, 1999). Segundo Roulet *et al.* (1998), a ação antrópica pode intensificar a erosão dos solos através do desmatamento, levando consigo partículas com o Hg adsorvido para o ambiente aquático.

O mercúrio que chega ao sistema aquático geralmente está sob forma iônica  $Hg^{2+}$ . Na água este elemento pode ser transformado em metilmercúrio, que é facilmente assimilado e bioacumulado pela fauna aquática. Este processo é denominado de metilação. A metilação pode ocorrer por fatores abióticos e bióticos. Os organismos metiladores são principalmente bactérias presentes em ambientes aquáticos anóxicos denominadas sulfato redutoras (Compeau e Bartha, 1985). A metilação também acontece em ambientes artificiais como em reservatórios. A construção de barragens provoca transformações nas características do ambiente aquático, como a alteração na concentração de oxigênio dissolvido e na distribuição de nutrientes, o que estabelece um novo gradiente físico-químico (Menezes *et al.*, 1997). Com o represamento, ocorre um aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio e diminuição do oxigênio dissolvido na água.

Canavan *et al.* (2000) demonstraram que nas camadas profundas anóxicas dos reservatórios estratificados há o desenvolvimento de uma água enriquecida por mercúrio metilado. A exportação desta água pode alterar as condições da qualidade de água à jusante o que reflete em altas concentrações de mercúrio na cadeia trófica. Para a avaliação deste mercúrio, os peixes são bons indicadores da poluição crônica (Kasper *et al.*, 2007; Kehrig *et al.*, 2008). O gênero *Cichla*, conhecido por tucunaré, é preferencialmente piscívoro e é altamente consumido pela população local. Estas características possibilitam-no ser considerado bom indicador dos níveis de mercúrio em ecossistemas Amazônicos (Kehrig *et al.*, 2008), além de ser muito utilizado em estudos ecotoxicológicos, permitindo a sua comparação entre diferentes locais já estudados (Palermo *et al.*, 2004; Kasper, 2008).

A maioria dos estudos limnológicos e de dinâmica de metais tem sido desenvolvida na região do lago do reservatório, principalmente próximo à barragem. No entanto, o impacto destes poluentes à jusante dos reservatórios não são bem conhecidos. Desta forma, esse trabalho avaliou o efeito do reservatório de Balbina sobre o acúmulo do mercúrio nos tucunarés localizados à montante e à jusante da barragem. Os parâmetros físico-químicos da água à montante e à jusante da barragem foram mensurados para a observação das condições limnológicas no momento de coleta. As concentrações de mercúrio total nos tucunarés coletados foram determinadas à montante e à jusante do Reservatório de Balbina.

### 2. Material e Métodos

O estudo foi realizado no reservatório da hidrelétrica de Balbina e à jusante do mesmo, no rio Uatumã. O lago é formado pelo represamento do rio Uatumã, afluente da margem esquerda do rio Amazonas, localizado no município de Presidente Figueiredo- AM. O clima é classificado como tropical úmido, com temperaturas em torno de 36 °C a 38 °C e pluviosidade de 2000 mm. O regime pluviométrico da região possui estações seca (junho a novembro) e chuvosa (dezembro a maio) bem definidas (Feitosa *et al.*, 2007).

O reservatório cobre uma área total de aproximadamente 2.400 km<sup>2</sup> (Menezes *et al.*, 1997). A cobertura vegetal densa foi retirada somente aos arredores da represa, o que permitiu a formação de grandes áreas de troncos de árvores mortas, denominadas paliteiro, ao longo do reservatório.

Foram realizadas duas campanhas amostrais, nos meses de agosto e dezembro de 2011. Nestas duas campanhas foram mensurados parâmetros da água (oxigênio dissolvido e temperatura) nos 4 habitats mais comuns do reservatório (Kemenes, 2006). São eles: Lago-Água Aberta (região próxima à barragem de água livre, sem paliteiros); Paliteiro Grosso (alta densidade), Paliteiro Fino (baixa densidade) e Área aberta com Pouco *Fetch* (região aberta sem paliteiro com área superficial menor que o Lago). Em cada habitat coletamos em 3 pontos de amostragem, totalizando 12 pontos de amostragem no reservatório. Os parâmetros limnológicos oxigênio dissolvido e temperatura foram mensurados em campo à montante desde a sub-superfície da água até o fundo (próximo ao sedimento) a cada 1 m de profundidade. À jusante da barragem, os mesmos dois parâmetros foram medidos à 0,5, 5, 10, 20, 35, 200 e 250 km de

distância da barragem somente na água sub-superficial. As medidas foram feitas com o auxílio de uma sonda multiparamétrica YSI 550A.

As coletas de tucunaré foram realizadas no segundo semestre de 2011 à montante da barragem, à jusante próximo da barragem nos primeiros 20 km mais próximos da barragem (jusante 1) e à jusante à aproximadamente 200 km da barragem antes da entrada do afluente Jatapú (jusante 2). Os peixes coletados foram identificados, pesados e mensurados quanto ao comprimento padrão e peso e foi retirado o tecido muscular dorsolateral para as análises de mercúrio. As análises das concentrações de mercúrio total nas amostras de tecido muscular foram realizadas no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR. A análise de mercúrio total foi feita de acordo com Bastos *et al.* (1998). As amostras de peixe foram digeridas em banho maria usando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:HNO<sub>3</sub>(1:1) e KMnO<sub>4</sub> 5%. A solução foi levada ao Espectrofotômetro de Fluorescência Atômica a Vapor Frio (FIMS-400, Perkin-Elmer). Para garantir a precisão e a exatidão do método analítico, as amostras foram realizadas em duplicata e em paralelo com amostras padrão produzidas pelo próprio laboratório (que possuem uma concentração de mercúrio conhecida).

Os dados obtidos de concentração total de mercúrio, localidade (Montante, Jusante 1, Jusante 2) e comprimento padrão dos peixes foram submetidos à análise de co-variância (ANCOVA) após verificar a normalidade dos mesmos pelo método de Kolmogorov and Smirnov, e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett. Foi realizada uma Correlação de Pearson entre o comprimento padrão e o peso dos peixes coletados. As análises foram geradas nos programas STATISTICA 7.0 e GraphPad InStat 3.0.

### 3.Resultados e Discussão

#### 3.1 Parâmetros Físico-Químicos da Água à Montante e à Jusante da Barragem

O oxigênio dissolvido e temperatura da água diminuíram à medida que aumentou a profundidade em todos os quatro habitats amostrados. A diferença de temperatura entre as águas superficiais e profundas variou de 1 °C a 4 °C. A maior e a menor temperatura registradas nas águas superficiais foi de 34,05 °C e 31,5 °C, e nas águas profundas foi de 31,03 °C e 28 °C, respectivamente. A maior e menor temperatura registradas em dezembro nas águas superficiais foi de 33,20 °C e 32,11 °C, e nas águas profundas foi de 31,03 °C e 29,5 °C, respectivamente. O maior e o menor valor de oxigênio dissolvido registrados em agosto nas águas superficiais foi de 7,1 e 5,75 mg.L<sup>-1</sup>, e nas águas profundas foi de 1,90 e 0 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. O maior e o menor valor de oxigênio dissolvido registrados em dezembro nas águas superficiais foi de 7,64 e 7,14 mg.L<sup>-1</sup>, e nas águas profundas foi de 2,08 e 0,02 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. As condições de hipoxia variaram entre os habitats. Em agosto estas condições se iniciaram por volta de 10 m de profundidade no Paliteiro Grosso, 14 m no Paliteiro Fino, 9 m na Água Aberta Pouco Fetch e 16 m na Água Aberta. Já em dezembro, iniciaram-se por volta de 7 m no Paliteiro Grosso, 12 m no Paliteiro Fino, 7 m na Água Aberta Pouco Fetch e 16 m na Água Aberta. A hipoxia ocorreu no Paliteiro Grosso, no Paliteiro Fino e na Água Aberta Pouco Fetch em profundidades menores quando comparadas às da Água Aberta.

A água superficial à montante é mais quente que à jusante. Tal padrão foi observado por Nascimento (2006) e Kasper (2008) no Reservatório de Samuel-Rondônia e por Menezes (1997) no Reservatório de Balbina. A concentração de oxigênio dissolvido nos primeiros 10 km à jusante foi em média 4,43 ± 0,27 mg.L<sup>-1</sup>. A qualidade da água que o rio irá receber depende das condições do reservatório, além de como andam a concepção e a operação da barragem (Viana, 2002). Portanto, estas condições à jusante são um reflexo da qualidade da água no hipolimnio do lago do reservatório, onde a água é captada para a geração de energia elétrica.

Os fatores que regulam os níveis de metilmercúrio (MeHg) em reservatórios são principalmente os processos internos, que por sua vez são dependentes do tempo de residência de água (Montgomery *et al.*, 2000). Quando o tempo de residência é longo, como o de Balbina de 11,7 meses (Menezes, 1997), há um acúmulo de matéria orgânica e disponibilização desta para as bactérias sulfato-redutoras (Montgomery *et al.*, 2000). Somando-se hipoxia, grande tempo de residência da água e a disponibilização de matéria orgânica dos paliteiros, o reservatório de Balbina torna-se um ambiente com grande potencial metilador. Ambientes propícios à metilação do Hg podem favorecer o aumento da mobilidade e disponibilidade desse metal para a biota aquática (Huchabee *et al.*, 1979 *apud* Kasper, 2008).

#### 3.2 Mercúrio Total no Tecido Muscular dos Peixes

No presente trabalho, foram amostrados um total de 96 tucunarés, 37 exemplares à montante, 21 exemplares à jusante próximo da barragem (Jusante 1) e 38 exemplares à jusante mais próximo da foz (Jusante 2), distribuídos entre as espécies *Cichla vazzoleri*, *Cichla monoculus* e *Cichla temensis*. Como o comprimento padrão e o peso dos tucunarés foram fortemente correlacionados nos locais amostrados (Correlação de Pearson: Montante:  $r^2 = 0,74$ ;  $p < 0,0001$ ; Jusante 1:  $r^2 = 0,90$ ;  $p < 0,0001$ ; Jusante 2:  $r^2 = 0,92$ ;  $p < 0,0001$ ), os dados apresentados e discutidos a seguir serão referentes ao comprimento padrão. A média dos valores do comprimento padrão em cm foram semelhantes entre jusante

1(31,88±3,91) e jusante 2(33,96±6,45), porém foram discrepantes entre montante (26,31±2,67) e jusantes.

Tabela 1: Comparação entre a concentração de mercúrio total (THg) no tecido muscular de tucunarés (*Cichla* spp.) observadas no presente estudo e em outros trabalhos realizados com tucunarés na bacia amazônica. São apresentados a média ± desvio padrão. Todas as concentrações encontram-se em µg/kg peso úmido.

Local	THg (µg/kg)		Referência
	média ± desvio padrão		
Montante Reservatório de Balbina	383,15 ± 142,52		<b>Presente Trabalho</b>
Montante Reservatório de Balbina	320 ± 250		Kehrig & Malm (1999)
Montante Reservatório de Samuel	340		Petrick, 1993 <sup>a</sup>
Montante Reservatório de Samuel	405 ± 20		Brasil <i>et al.</i> , 2004 <sup>a</sup>
Montante Reservatório de Samuel	490 ± 277		Kasper, 2008
Montante Reservatório de Tucuruí	433		Santos, 2002 <sup>a</sup>
Montante Reservatório de Tucuruí	351 ± 324		Malm <i>et al.</i> , 2004 <sup>a</sup>
Jusante 1 Reservatório de Balbina	663,48 ± 147,22		<b>Presente Trabalho</b>
Jusante Reservatório de Samuel	600		Petrick, 1993 <sup>a</sup>
Jusante Reservatório de Tucuruí	580 ± 270		Santos, 2002 <sup>a</sup>
Jusante Reservatório de Tucuruí	571 ± 269		Malm <i>et al.</i> , 2004 <sup>a</sup>
Jusante 2 Reservatório de Balbina	805,2 ± 353,62		<b>Presente Trabalho</b>

<sup>a</sup> *apud* Kasper, 2008.

As concentrações de mercúrio total (THg) no músculo dos peixes foram maiores à jusante do reservatório quando comparadas às concentrações à montante (Tabela 1). Estas concentrações de THg foram influenciadas pela interação entre os dois fatores analisados, comprimento padrão e local amostrado (interação:  $F = 7,31$ ;  $p < 0,05$ ; Comprimento Padrão:  $F = 5,6$ ;  $p < 0,05$ ; Local amostrado:  $F = 21,6$ ;  $p < 0,0001$ ). Comparando as concentrações observadas nos peixes do presente estudo com outros trabalhos realizados com tucunarés, observamos que, em geral, à montante os níveis do presente trabalho foram semelhantes aos encontrados em Balbina e em outros reservatórios na bacia amazônica, como o reservatório de Samuel e o reservatório de Tucuruí. As concentrações de mercúrio total no músculo dos peixes à jusante 1 estiveram semelhantes às relatadas para os tucunarés capturados à jusante reservatórios de Samuel e de Tucuruí. Já a média das concentrações de mercúrio total no músculo dos peixes à jusante 2 encontrada no presente trabalho esteve acima das observadas à jusante em trabalhos em reservatórios amazônicos (Tabela 1).

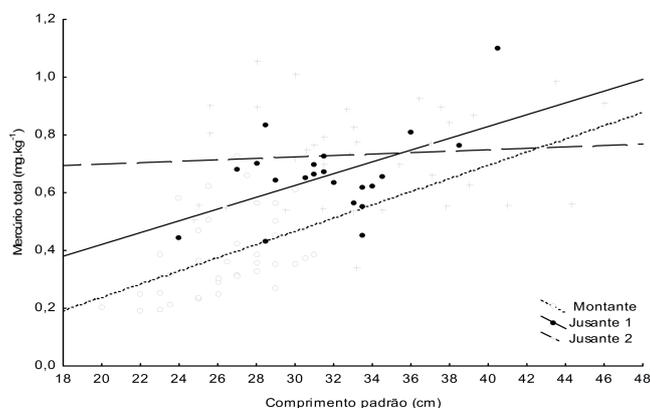


Figura 1: Concentrações de mercúrio total no músculo de tucunarés (*Cichla* spp.) em função do seu comprimento padrão e do local amostrado (Montante, Jusante 1, Jusante 2) no Reservatório de Balbina.

Os níveis de mercúrio total no tecido muscular dos peixes à jusante 1 são duas vezes maior que à montante. Estes peixes de jusante podem estar expostos à concentrações mais elevadas de metilmercúrio na água quando comparados aos peixes de montante. Os parâmetros físico-químicos mensurados indicaram que o reservatório estava estratificado e com baixos níveis de oxigênio dissolvido no hipolímnio. Esta água mais profunda é justamente a camada exportada para jusante quando ocorre a captação de água para a geração de energia elétrica. Desta maneira o metilmercúrio pode ser mais disponibilizado à jusante (Canavan *et al.*, 2000). Contudo, a concentração de mercúrio total à jusante 2 não depende do tamanho do peixe (Figura 1). Provavelmente este ponto está submetido a um aporte de mercúrio diferente, não refletindo os efeitos da barragem, mas a quantidade de mercúrio disponível no local. O modo do uso da terra local pode estar influenciando a concentração de mercúrio nos peixes. Dentre estes usos da terra, estão o uso de fertilizantes no plantio e também o desmatamento para extração de madeira. Esta última atividade existe na região e aumenta a lixiviação do solo carregando mercúrio inorgânico para o ambiente aquático (Roulet *et al.*, 1998). O mercúrio total observado nos peixes tanto à montante quanto à jusante 1 e jusante 2, no presente trabalho, estão próximos ou acima do limite

de metilmercúrio permitido no alimento (de 500 µg/kg), estabelecido pela OMS. Considerando que por volta de 70 a 99% das concentrações de mercúrio total acumulado no músculo dos peixes estão na forma orgânica de metilmercúrio (Kasper, 2007; Palermo, 2008), os níveis de mercúrio total no tecido muscular dos peixes tornam-se preocupantes pois a população amazônica tem os peixes como principal fonte de proteína, possuindo elevadas taxas de ingestão deste organismo (Bastos *et al.*, 2006).

#### 4. Conclusão

O reservatório de Balbina se encontrava estratificado no momento das coletas, apresentando uma qualidade da água que é propícia à metilação do mercúrio. Os peixes à jusante da barragem apresentaram concentrações mais elevadas que os capturados à montante, o que pode ser um reflexo de uma maior metilação no hipolimnion do reservatório, água que é transportada para baixo da barragem. Os níveis de mercúrio total no tecido muscular dos peixes à montante e à jusante próximo da barragem assemelham-se aos valores encontrados em demais trabalhos nos reservatórios da região amazônica. A maioria dos peixes capturados à jusante do reservatório de Balbina, tanto perto quanto distante da barragem, apresenta concentrações acima da recomendada para consumo humano pela OMS. Sugere-se então que as populações que vivem abaixo das barragens sejam acompanhadas para avaliar se há riscos à saúde humana devido ao consumo de pescado.

#### 5. Referências Bibliográficas

- ATSDR 1999. Toxicological profile for mercury. Public Health Service.
- Bastos, W.R., Malm, O., Pfeiffer, W.C. & Cleary, D. 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., Gomes, J.P.O., Oliveira, R.C., Almeida, R., Nascimento, E.L., Bernardi, J.V.E., Lacerda, L.D., Silveira, E.G. & Pfeiffer, W.C. 2006. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Science of the total environment*, 368: 344-351.
- Canavan, C. M. ; Caldwell, C. A. ; Bloom, N. S. 2000. Discharge of methylmercury enriched hypolimnetic water from a stratified reservoir. *Sci Total Environ*, 260:159-70.
- Compeau, G. & Bartha, R. 1985. Sulfate reducer bacteria: principal methylators of mercury in anoxic estuarine sediments. *Applied environmental microbiology*, 50: 498-502.
- Fadini, P. S. ; Jardim, W. F. 2001. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? *Sci Total Environ*, 275:71-82.
- Feitosa, G. S.; Graça, P. M. L. de A.; Fearnside, P. M. Estimativa da zona de deplecionamento da hidrelétrica de Balbina por técnica de sensoriamento remoto. In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2007.
- Kasper, D.; Botaro, D.; Palermo, E.F. A.; Malm, O. 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.; Akagi, H.; Guimarães, J.R.D.; Torres, J.P.M. 1998. Methylmercury in fish and hair samples from the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon. *Environ Res*, 77:84-90.
- Kehrig, H.A. & Malm, O. 1999. Methylmercury in fish as a tool for understanding the Amazon Hg contamination. *Applied organometallic chemistry*, 13: 689-696.
- Kehrig, H. A., Howard, B. M., Malm, O. 2008. Methylmercury in a predatory fish (*Cichla* spp.) inhabiting the Brazilian Amazon. *Environmental Pollution*, 154: 68-76.
- Kemenes, A. 2006. *Estimativa de emissão de gases de efeito estufa pela Hidrelétrica de Balbina*. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.
- Lechler, P.J.; Miller, J.R.; Lacerda, L.D.; Vinson, D. ; Bozongo, J.C.; Lyons, W. B. 2000. Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? *Sci Total Environ*, 260:87-96.
- Menezes, C. F. S.; Figueiredo, A.C.; Froehlich, S.; Miyai, R.K. 1997. *Limnologia de reservatórios na Amazônia*. In: VI Congresso Brasileiro de Limnologia, Resumos do VI Congresso Brasileiro de Limnologia.
- Montgomery, S.; Lucotte, M.; Rheault, I. 2000. Temporal and spatial influences of flooding on dissolved mercury in boreal reservoirs. *The science of the total environment*, 260: 147-157.
- Nascimento, E.L. 2006. *Concentração de mercúrio no plâncton e fatores ecológicos no Reservatório da UHE – Samuel – Amazônia ocidental (Rondônia/Brasil)*. Dissertação de Mestrado, Fundação Universidade Federal de Rondônia.
- Palermo, E.F. A.; Kasper, D.; Reis, T. S.; Nogueira, S.; Branco, C. W. C.; Malm, O. 2004. Mercury level increase in fish tissues downstream the Tucuruí reservoir, Brazil. *RMZ. Materials and Geoenvironment*, 51: 1292-1294.
- Palermo, E.F.A. 2008. *Transporte e acúmulo de mercúrio em reservatórios tropicais*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Roulet, M.; Lucotte, M.; Farella, N. ; Serique, G.; Coelho, H ; Sousa-Passos, C. J. ; De-Jesus-Da-Silva, E. ; Scavone-de-Andrade, P.; Mergler, D.; Guimarães, J. R. D. ; Amorim, M. 1998. Effects of recent human

colonization on the presence of mercury in Amazon Ecosystems. *Water, air and soil pollution*, 112: 297-313.

Viana, J.P. 2002. Physical and chemical post-dam alterations in the Jamari River, a hydroelectric-developed river of the Brazilian Amazon. *Hydrobiologia*, 472: 235–247.

Wasserman, J.C.; Hacon, S.S.; Wasserman, M.A. 2001. O ciclo do mercúrio no ambiente Amazônico. *Mundo & Vida*, 2:36-53.