

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

MERCÚRIO TOTAL EM DUAS ESPÉCIES DE PEIXE DO RESERVATÓRIO E ADJACÊNCIAS DE UMA USINA HIDROELÉTRICA NA AMAZÔNIA, PARÁ, BRASIL

TOTAL MERCURY IN TWO SPECIES OF FISH IN THE RESERVOIR AND SURROUNDINGS OF A HYDROELECTRIC PLANT IN THE AMAZON, PARÁ, BRAZIL

* Julia de Souza Carvalho da Silva ¹
Yuryanne Carvalho Pinto ¹
Nathalia Prado Oliveira Parente ¹
Rívolo de Jesus Barcelar ¹
Débora Gomes Figueiredo ¹
José Reinaldo Pacheco Peleja ¹
Ynglea Georgina de Freitas Goch ¹

Recibido el 25 de febrero de 2020. Aceptado el 3 de febrero de 2021

Abstract

Total Mercury (HgT) concentrations were analyzed in *Serrasalmus rhombeus* (Linnaeus, 1766) and *Hemiodus unimaculatus* (Bloch, 1794), occurring in periods of high and low water and in different environments of the Curuá-Una HPP (Hydroelectric Power Plant). The collections were carried out in March and November 2017, in three environments (reservoir, river system upstream of the reservoir and river system downstream of the reservoir). Posteriorly, tissue samples from the dorsal part were solubilized with HNO₃ and HCl to determine the HgT concentration by Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry. The average concentrations of HgT for the species *S. rhombeus* ($318.33 \pm 236.82 \text{ ng.g}^{-1}$), were significantly higher ($p=0.000$) when compared with the concentrations for *H. unimaculatus* ($113.76 \pm 79.97 \text{ ng.g}^{-1}$). Significant differences ($p=0.000$) were detected between HgT concentrations for *H. unimaculatus* between periods of high ($143.51 \pm 79.18 \text{ ng.g}^{-1}$) and low water ($69.06 \pm 45.26 \text{ ng.g}^{-1}$), for *S. rhombeus*, average concentrations of HgT were also observed significantly higher ($p=0.014$) in the high water period ($395.69 \pm 226.95 \text{ ng.g}^{-1}$). The average concentrations of HgT for the species *H. unimaculatus* were significantly different ($p=0.002$) throughout the collection environments, with the highest concentrations for the samples collected in the reservoir ($150.24 \pm 96.26 \text{ ng.g}^{-1}$). For the specimens of *S. rhombeus*, the highest concentrations were recorded upstream of the reservoir ($377.98 \pm 245.51 \text{ ng.g}^{-1}$), differing significantly ($p=0.010$) from the concentrations found for samples collected in the downstream river system ($168.53 \pm 60.77 \text{ ng.g}^{-1}$). In addition to highlighting the biomagnification process, this work suggests that the concentrations of HgT found are being influenced by the supply of allochthonous HgT, made available from the soil to the aquatic environment through anthropic actions, such as deforestation.

Keywords: biomagnification, eating habit, heavy metal.

¹ Laboratório de Biologia Ambiental, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil.

* Autor correspondente: Programa de Pós-graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida, Universidade Federal do Oeste do Pará. Rua Vera Paz, s/n (Unidade Tapajós) Bairro Salé, Município de Santarém, Pará, Brasil. Email: juliascarvalho@hotmail.com

Resumo

Foram analisadas as concentrações de mercúrio total (HgT) em *Serrasalmus rhombeus* (Linnaeus, 1766) e *Hemiodus unimaculatus* (Bloch, 1794), com ocorrência nos períodos de águas altas e águas baixas e em diferentes ambientes da UHE (Usina Hidroelétrica) de Curuá-Una. As coletas foram realizadas em março e novembro de 2017, em três ambientes (reservatório, sistema fluvial à montante do reservatório e sistema fluvial à jusante do reservatório). Posteriormente, amostras de tecido da parte dorsal foram solubilizadas com HNO_3 e HCl para determinação da concentração de HgT por Espectrometria de Fluorescência Atômica a Vapor Frio. As concentrações médias de HgT para a espécie *S. rhombeus* ($318.33 \pm 236.82 \text{ ng.g}^{-1}$), foram significativamente maiores ($p = 0.000$) quando comparadas com as concentrações para *H. unimaculatus* ($113.76 \pm 79.97 \text{ ng.g}^{-1}$). Foram detectadas diferenças significativas ($p = 0.000$) entre as concentrações de HgT para *H. unimaculatus* entre os períodos de águas altas ($143.51 \pm 79.18 \text{ ng.g}^{-1}$) e águas baixas ($69.06 \pm 45.26 \text{ ng.g}^{-1}$), para *S. rhombeus* também foram observadas concentrações médias de HgT significativamente maiores ($p = 0.014$) no período de águas altas ($395.69 \pm 226.95 \text{ ng.g}^{-1}$). As concentrações médias de HgT para a espécie *H. unimaculatus* foram significativamente diferentes ($p = 0.002$) ao longo dos ambientes de coleta, com as maiores concentrações para as amostras coletadas no reservatório ($150.24 \pm 96.26 \text{ ng.g}^{-1}$). Já para os espécimes de *S. rhombeus*, as maiores concentrações foram registradas à montante do reservatório ($377.98 \pm 245.51 \text{ ng.g}^{-1}$), se diferenciando significativamente ($p = 0.010$) das concentrações encontradas para as amostras coletadas no sistema fluvial à jusante ($168.53 \pm 60.77 \text{ ng.g}^{-1}$). Além de evidenciar o processo de biomagnificação, este trabalho também sugere que as concentrações de HgT encontradas estão sendo influenciadas pelo aporte de HgT alóctone, disponibilizado do solo para o meio aquático através de ações antrópicas, como o desmatamento.

Palavras chave: biomagnificação, hábito alimentar, metal pesado.

Introdução

Apesar do consumo de peixe ser altamente recomendado em virtude dos importantes benefícios para a saúde do ser humano, este organismo, por outro lado, constitui-se como principal fonte de metilmercúrio (MeHg), sendo que esta exposição, segundo estudos a nível global, pode afetar o desenvolvimento neurocognitivo principalmente das crianças (Cardoso *et al.*, 2010; FAO/WHO, 2010). Segundo Dias *et al.* (2008), cerca de 40 a 100% do mercúrio total em tecido muscular de peixes corresponde à sua forma orgânica deste metal, ou seja, MeHg.

Estima-se que, por ano, 2000 a 3000 toneladas de Hg são descarregadas no meio ambiente por todo o mundo, tendo esta emissão como principais fontes antrópicas: a queima de carvão, mineração do ouro, produção de metais não ferrosos e os efluentes industriais (Streets *et al.*, 2011). No que diz respeito à poluição de ambientes aquáticos por metais, como o Hg; diversos estudos vêm sendo realizados (Oliveira, 2011; Onen, 2011; Akcali, 2011; Yohannes *et al.*, 2013) em virtude do elevado risco de contaminação ambiental e danos à saúde humana (Lacerda, 2008).

Nesse sentido, a compreensão da dinâmica dos processos de transferência do meHg é inerente à aceitação de três conceitos importantes, a saber: bioacumulação, bioconcentração e biomagnificação. A bioacumulação se refere a todas as rotas de exposição, ou seja, considera a

ingestão e a absorção. Já a bioconcentração denomina o processo de absorção realizado pelas superfícies respiratórias e dérmicas de um organismo, retendo, assim, a substância do ambiente aquático. Por fim, o processo de biomagnificação é definido como sendo a transferência de metilmercúrio ao longo dos níveis tróficos por ingestão direta dos alimentos, ocasionando a ocorrência de concentrações mais elevadas nos organismos se comparado à fonte alimentar (Costa *et al.*, 2008).

No tocante à região amazônica, a garimpagem tem sido apontada como uma das principais fontes de Hg para atmosfera e ecossistemas aquáticos (FaiAL *et al.*, 2005). No entanto, diversos estudos demonstraram que as atividades antrópicas não são as únicas responsáveis pelo mercúrio encontrado na região, mas que parte deste é originado de forma natural e que o desmatamento é o principal responsável pela sua disponibilização ao meio aquático (Roulet; Lucotte, 1995; Fadini e Jardim, 2001; Wasserman, Hacon e Wasserman, 2001; Wasserman, Hacon e Wasserman, 2003).

Além disso, estudos realizados por Vieira e Darwich (1999) no reservatório da UHE de Curuá-Una; Santarém-Pará demonstraram que a construção da barragem alterou no reservatório parâmetros físico-químicos com transparência, temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido gerando impactos para a biota aquática.

Segundo Kasper *et al.* (2012) e Kasper *et al.* (2014), a dinâmica quanto às rotas do Hg em reservatórios se caracteriza por possuir suas particularidades em virtude das mudanças físico-químicas sofridas por estes ambientes, sendo que uma das mudanças mais importantes oriunda da construção de represas sobre áreas florestadas na região amazônica está relacionada com a geração de condições peculiares quanto à concentração e distribuição de oxigênio nesses ambientes.

Além disso, estudos sobre o comportamento e mobilidade do MeHg em reservatórios, demonstram que as condições limnológicas na região do hipolímnio, em regime de anóxia, favorecem o processo de metilação durante o período seco, contribuindo dessa forma para entrada desse composto na cadeia trófica aquática (Canavan, Caldwell e Bloom, 2000; Kasper, *et al.* 2012). Porém, nos estudos de Kehrig *et al.* (2009), que avaliaram as concentrações de Hg em peixes de reservatório de Balbina, foi constatado que, além da influência de um ecossistema rico em matéria orgânica dissolvida sobre a acumulação de mercúrio e MeHg, o hábito alimentar dos peixes exerce grande influência nas concentrações de mercúrio nos tecidos destes organismos.

Desta forma, o presente estudo visou investigar as concentrações de HgT em *Serrasalmus rhombeus* (Linnaeus, 1766) e *Hemiodus unimaculatus* (Bloch, 1794), com ocorrência nos períodos de águas altas e águas baixas e em diferentes ambientes da UHE de Curuá-Una.

Material e métodos

O estudo foi realizado na Usina Hidroelétrica Sílvio Braga (mais conhecida como UHE de Curuá-Una), a qual foi inaugurada em 1977, sendo a primeira represa construída na Floresta Amazônica (Saré *et al.*, 2004). Atualmente esta hidroelétrica é mantida e operada pela Eletronorte S/A e cobre uma área de 100 km², com capacidade de geração de 30MW, situa-se a 80 km ao sul da cidade de Santarém-Pará, no rio Curuá-Una; afluente da margem direita do rio Amazonas. A usina foi formada a partir do barramento do rio Curuá-Una (Figura 3) e, de acordo com Vieira (1982), a maior parte (57.4%) do reservatório está inserido na bacia deste, recebendo contribuição dos rios Moju (11.7%), Mojuí (4.4%), e Poraquê (3.2%), além de outros igarapés menores (2.9%), sendo que os principais afluentes do rio Curuá-Una (Moju e Mujuí) são classificados por Junk *et al.* (1981) como rios de águas claras.

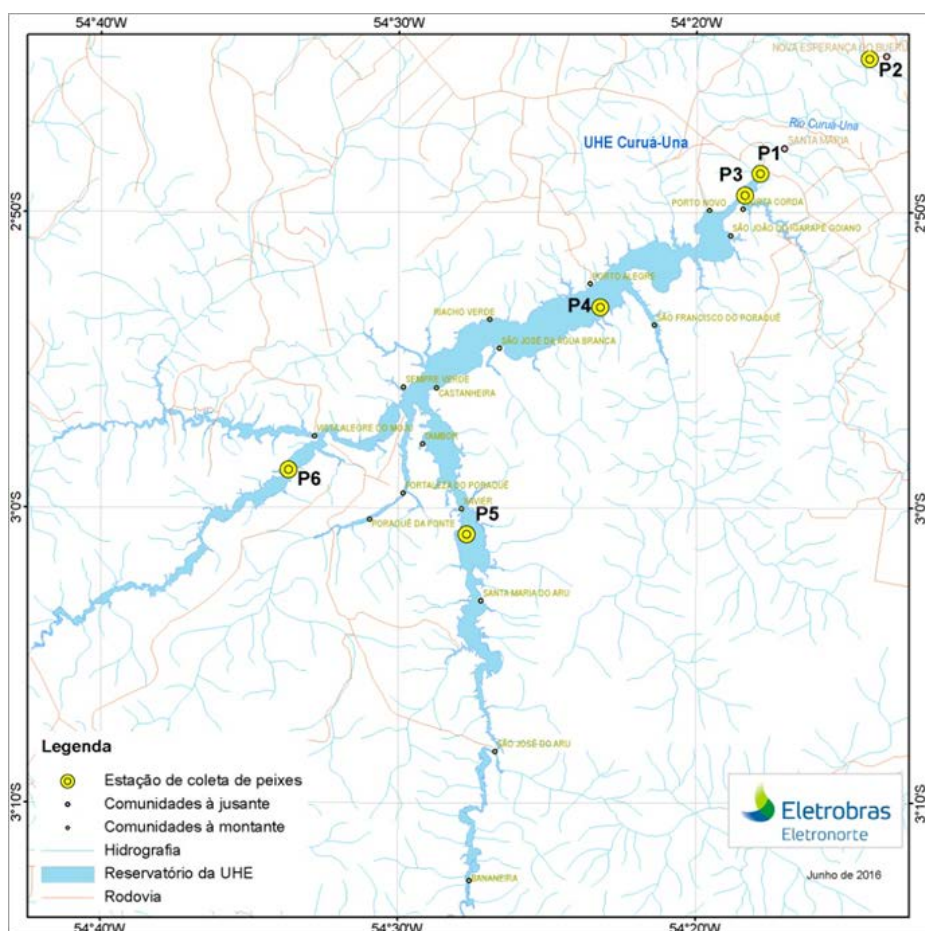


Figura 1. Localização dos pontos de coleta na UHE de Curuá-Una, Santarém, Pará (Fonte: Eletronorte, 2016).

As coletas foram realizadas no ano de 2017, sendo uma efetuada em março correspondendo ao período de águas altas e outra em novembro, período de águas baixas. As coletas foram realizadas em 3 (três) trechos distintos dispostos entre as coordenadas de latitudes 03°54'55"S e 02°48'41.40"S, e longitudes 054°33'41.35"W e 054°14'11.43"W, sendo 2 pontos de coleta localizados em cada um dos três ambientes, a saber: sistema fluvial à jusante do reservatório (pontos 1 e 2), reservatório (pontos 3 e 4), e sistema fluvial à montante do reservatório (5 e 6) (Figura 1).

Métodos de Campo

Para a realização das coletas foram utilizados conjuntos de redes de emalhar, sendo cada um formado por 6 redes de diferentes tamanhos de malha (40, 60, 80, 100, 120 e 140 mm), com altura e comprimento de cada rede correspondendo a 3 m e 60 m respectivamente, totalizando um comprimento total de 360 m para cada conjunto.

O esforço de captura foi padronizado em ciclos de 12hs, com revisão das redes e despescas a cada 6 horas. A cada despesca, os indivíduos coletados foram devidamente identificados com a utilização de chaves de identificação (Queiroz *et al.*, 2013) e auxílio de especialistas, pesados em balança de precisão para estimar o peso total (g) e medidos para obtenção do comprimento total (cm) e padrão (cm). Este procedimento foi realizado em local devidamente higienizado para evitar contaminação das amostras. Posteriormente, foi coletada uma amostra de tecido da parte dorsal retirada sem pele e sem espinha (Figura 5), e colocadas em recipientes plásticos devidamente limpos e posteriormente levados para o Laboratório de Biologia Ambiental, do Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas da UFOPA.

Biologia das Espécies Estudadas

Vieira (1982) estudando os peixes de Curuá-Una, observou que o principal item encontrado com relativa frequência no conteúdo estomacal de *Serrasalmus rhombeus* (Linnaeus, 1766) era peixes, caracterizando esta espécie como piscívora. Semelhantemente, Silva (2006) classificou a espécie como piscívora na maioria das estações de coleta em estudos na UHE de Balbina. Estes estudos corroboram com Figueiredo (dados não publicados), que encontrou com considerável frequência peixes no conteúdo estomacal dos mesmos espécimes de *S. rhombeus* utilizados no presente trabalho.

Em relação à espécie *Hemiodus unimaculatus* (Bloch, 1794), Silva *et al.* (2008) estudando a dieta de hemiodontídeos na área de influência da UHE de Balbina, verificou que a maioria dos espécimes de *H. unimaculatus* consumiram detritos e algas filamentosas, sendo classificada como algívora/detritívora. Complementarmente a isso, nos estudos de Figueiredo (2018), a qual analisou os mesmos espécimes de *H. unimaculatus* do presente estudo, essa espécie foi considerada como algívora nos trechos à montante do barramento e detritívora no sistema fluvial à jusante do barramento, tendo sua dieta composta principalmente por algas e detritos.

Métodos de Laboratorio

A metodologia para determinação dos teores de Hg total nos espécimes consistiu em pesar entre 15 a 45 mg de peso úmido (do músculo do peixe) da amostra em duplicata em tubos de ensaio, adicionando-se 3 ml de HNO₃ concentrado e 300 µl de HCl 6N agitando-os para através de uma placa aquecedora a uma temperatura de 121 °C proceder durante 4h a digestão da amostra. Após o processo de digestão, diluiu-se as amostras com água grau reagente até um volume final de 9 ml, e posteriormente injetou-se 0.1 ml das amostras em duplicatas para assim proceder-se a leitura por Espectrometria de Fluorescência Atômica a Vapor Frio (CVAFS), segundo Pichet *et al.* (1999).

A reprodutibilidade do método foi determinada por leitura das amostras em duplicatas com um desvio aceitável de 10%, sendo o limite de detecção do aparelho de 75 picogramas de Hg. Para minimizar o erro analítico, toda vidraria utilizada no laboratório, foi mantida em solução de HCl 10% por um período de 24 horas, e depois lavada com água destilada e seca em estufa à temperatura de 350 °C.

E como forma de verificar a confiabilidade dos resultados, assim como a confiança do método analítico, foram realizados testes de calibração utilizando-se amostras de padrões internacionais (dorm-3: fish protein certified reference material for trace metals do nacional research council of canadá) referente a tecido de peixe, resultando em uma reprodução de valores confiáveis em relação aos valores especificados.

As análises das amostras foram todas realizadas no laboratório de Biologia Ambiental, do Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Análise Estatística

Os testes de Shapiro-Wilk e de Kolmogorov-Smirnov utilizados para verificar a normalidade dos dados detectaram que estes não são paramétricos. Dessa forma, para verificar possíveis diferenças nas concentrações médias de HgT entre as duas espécies, em virtude da diferença do hábito alimentar optou-se pelo teste Mann-Whitney, sendo este mesmo teste realizado para testar as diferenças das médias de concentrações de HgT nas amostras de peixes entre os diferentes períodos de coleta (águas altas e águas baixas). Enquanto que para verificar as variações espaciais das concentrações médias de HgT para ambas as espécies entre os trechos de coleta recorreu-se ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, o qual detecta a existência de diferenças significativas e o grau de significância entre as variáveis estudadas. Os dados foram analisados com o auxílio do *software* STATISTICA 7.0.

Resultados

Durante o período de estudo foram coletados 179 indivíduos, sendo 74 (41.34%) correspondentes à espécie *Hemiodus unimaculatus* e 105 (58.66%) referente à espécie *Serrasalmus rhombeus*.

No que diz respeito à medição dos dados biométricos, a espécie *Hemiodus unimaculatus* apresentou como médias para comprimento total, comprimento padrão e peso mínimos, respectivamente: 18.22 ± 1.50 cm, 15.05 ± 1.37 cm e 58.26 ± 21.41 g. Já a espécie *Serrasalmus rhombeus* obteve medidas relativamente maiores de comprimento total (19.28 ± 6.23 cm), comprimento padrão (16.48 ± 5.71 cm) e peso (216.79 ± 242.51 g).

Em relação às concentrações de HgT entre as duas espécies de hábitos alimentares distintos, verificou-se que as concentrações para a espécie *S. rhombeus*, com média de 318.33 ± 236.82 ng.g⁻¹, foram significativamente maiores ($U=1359.00$; $p=0.000$) quando comparadas com as concentrações *H. unimaculatus*, perfazendo concentração média de 113.76 ± 79.97 ng.g⁻¹ (Figura 2).

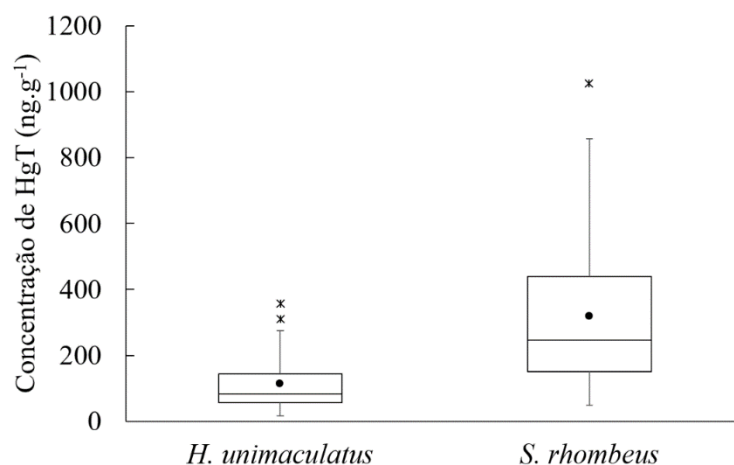


Figura 2. Box plot das concentrações médias de HgT para as espécies *Hemiodus unimaculatus* e *Serrasalmus rhombeus* coletadas na UHE de Curuá-Una, Santarém, Pará.

No que diz respeito aos períodos de coleta, foram coletados 42 (56.76%) indivíduos no período de águas altas e 32 (43.24%) no período de águas baixas correspondentes à *H. unimaculatus*. As concentrações de HgT para esta espécie se diferenciaram significativamente ($U=231$; $p=0.000$) entre os períodos de coleta, sendo registradas médias mais elevadas no período de águas altas (143.51 ± 79.18 ng.g⁻¹) em relação ao período de águas baixas, que obteve concentração média de 69.06 ± 45.26 ng.g⁻¹ (Figura 3-A).

No período de águas altas foram verificados apenas 22 (20.95%) espécimes de *S. rhombeus*, e 83 (79.05%) no período de águas baixas. Já em relação às variações nas concentrações de HgT ao longo dos períodos de coleta para esta espécie, também foi observado que o período de águas altas, com média $395.69 \pm 226.95 \text{ ng.g}^{-1}$, apresentou concentrações significativamente ($U= 604$; $p=0.014$) maiores, quando comparadas com as concentrações do período de águas baixas, com valor médio de $287.82 \pm 215.87 \text{ ng.g}^{-1}$ (Figura 3-B).

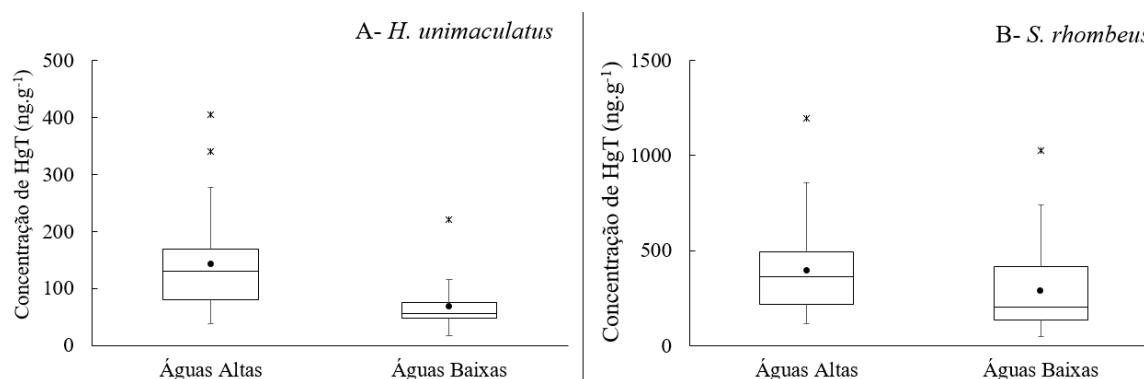


Figura 3. Box plot das concentrações médias de HgT para as espécies *H. unimaculatus* (A) e *S. rhombeus* (B) nos períodos de coletas realizadas na UHE de Curuá-Una, Pará.

No que se refere aos ambientes de coleta, foram capturados 24, 34 e 16 espécimes de *H. unimaculatus* no sistema fluvial à jusante, no reservatório e no sistema fluvial à montante, respectivamente. As concentrações médias de HgT para esta espécie foram significativamente ($H= 12.82$; $p= 0.002$) diferentes ao longo dos ambientes de coleta, sendo que as maiores concentrações observadas nos indivíduos coletados no reservatório ($150.24 \pm 96.26 \text{ ng.g}^{-1}$) foram significativamente maiores ($p=0.001$) do que as concentrações médias registradas nas amostras obtidas do sistema fluvial à jusante ($61.98 \pm 27.18 \text{ ng.g}^{-1}$), mas não se diferenciaram das médias para os sistema fluvial à montante ($120.08 \pm 86.50 \text{ ng.g}^{-1}$) (Figura 4-A).

Já para a espécie *S. rhombeus* foram contabilizados 13, 70 e 21 indivíduos no sistema fluvial à jusante, no reservatório e no sistema fluvial à montante, respectivamente. Também foram detectadas diferenças significativas ($H= 8.41$; $p= 0.020$) nas concentrações médias dos espécimes de *S. rhombeus*, mas neste caso as maiores concentrações foram encontradas no sistema fluvial à montante ($377.98 \pm 245.51 \text{ ng.g}^{-1}$). Este trecho, por sua vez, se diferenciou significativamente ($p=0.010$) das concentrações das amostras do sistema fluvial à jusante ($168.53 \pm 60.77 \text{ ng.g}^{-1}$), porém não se diferenciou das concentrações encontradas no reservatório ($296.33 \pm 209.78 \text{ ng.g}^{-1}$) (Figura 4-B).

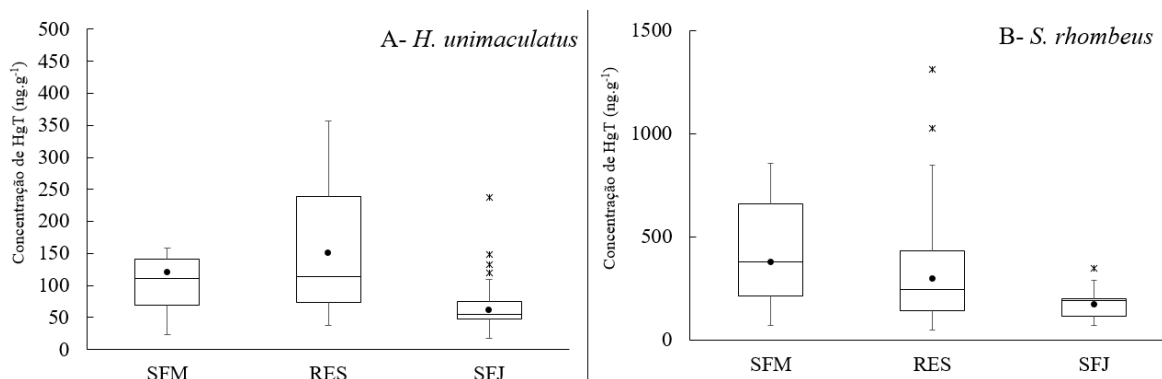


Figura 4. Box plot das concentrações médias de HgT para as espécies *H. unimaculatus* (A) e *S. rhombeus* (B) ao longo dos ambientes de coletas. *SFM= Sistema fluvial à montante; RES= Reservatório e SFJ= Sistema fluvial à jusante da UHE de Curuá-Una.

Discussão

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece o limite máximo de concentração tolerável de Hg nos tecidos musculares de peixes de 500 ng.g⁻¹ para espécies não predadoras, enquanto para espécies predadoras, esse número é de 1000 ng.g⁻¹. Neste estudo, a concentração média de HgT para as espécies estudadas não ultrapassou os limites determinados pela ANVISA.

No entanto, três amostras de *S. rhombeus* apresentaram concentrações de Hg superiores ao estabelecido pela ANVISA. Beltran-Pedreiros *et al.* (2011), observaram que a maioria dos peixes amostrados, do lago Grande de Manacapuru, obtiveram níveis de Hg acima do limite permitido para consumo humano, e recomendaram que o consumo, principalmente de peixes predadores que apresentaram concentrações consideráveis de Hg, entre crianças e gestantes seja restrito.

As concentrações médias significativamente maiores nas amostras de *S. rhombeus* em relação à *H. unimaculatus* corroboram com os resultados encontrados por Kasper *et al.* (2012), os quais analisaram amostras de músculos de peixes das mesmas espécies analisadas neste trabalho provenientes de áreas à montante e jusante do Reservatório da UHE de Samuel (Ro) e encontraram valores mais elevados de HgT para a espécie de maior categoria trófica, ou seja, *S. rhombeus*.

Vários autores confirmaram esta influência do hábito alimentar nos níveis de Hg em peixes e evidenciaram o processo de biomagnificação, que se caracteriza quando as concentrações de Hg no tecido muscular são proporcionais à categoria trófica, ou seja, quanto maior o nível trófico, maior a concentração de Hg. (Beltran-Pedreiros *et al.*, 2011; Castro *et al.*, 2016; Soares *et al.*, 2016).

Além da dieta dos peixes, as medidas biométricas (comprimento total, comprimento padrão e peso) podem ter influenciado os maiores valores de HgT nas espécies amostradas, conforme Soares *et al.* (2016), que observaram correlação linear positiva de Hg em relação ao comprimento padrão e peso tanto para *S. rhombeus* quanto para uma espécie de hemiodontídeo (*H. imaculatus*) em estudo realizado na bacia do rio Negro.

Apesar do nível fluviométrico na área de influência da UHE de Curuá-Una ser controlado de forma artificial, neste estudo as concentrações de HgT variaram significativamente entre os períodos, sendo as maiores concentrações de HgT registradas no período de águas altas para as duas espécies avaliadas, confirmando a influência da profundidade na dinâmica do mercúrio, uma vez que o processo de metilação é favorecido neste período devido às condições de hipoliminação anóxica (Brito *et al.*, 2017; Kasper *et al.*, 2014).

O hábito alimentar dos espécimes de *H. unimaculatus* analisados neste estudo (algívoro/detrítivo) deve ser levado em consideração para interpretação destes resultados, uma vez que Nascimento *et al.* (2009), estudando o comportamento do mercúrio na comunidade planctônica do reservatório da UHE de Samuel (RO), verificou maior densidade de fitoplâncton nos meses de maior precipitação pluviométrica. Dessa forma, a maior possibilidade de bioacumulação de HgT em virtude da maior quantidade de alimento disponível no período de águas altas pode estar associado às maiores concentrações de HgT para a espécie *H. unimaculatus* neste período.

As consideráveis variações de Hg no plâncton em função do aumento do nível da água na Amazônia foram reportadas por Peleja (2002) em estudos nos rios Negro e Tapajós, que identificou que as variações na concentração de Hg nestes organismos eram mais elevadas no período de águas altas. Nesse sentido, Nascimento *et al.* (2009), atribuiu as maiores concentrações de HgT no plâncton no período de águas altas à entrada de água e, consequente, suspensão e carreamento de partículas para coluna d'água. Este fato pode estar associado com as elevadas concentrações de HgT em *S. rhombeus* no mesmo período registradas neste estudo, uma vez que ao entrar no sistema aquático este elemento tende a bioacumular ao longo dos níveis tróficos, refletindo as variações em espécies topo de cadeia, como é o caso de *S. rhombeus*.

Além disso, diversos estudos detectaram maiores níveis de Hg na biota à jusante de reservatórios na Amazônia (Malm *et al.*, 2004; Palermo *et al.*, 2004; Dominique *et al.*, 2007; Kasper *et al.*, 2012; Kasper *et al.*, 2014), e foi apontado como possível causa o favorecimento da metilação e liberação de MeHg nas águas à jusante do reservatório por meio de condições limnológicas deste ambiente, resultando em altos níveis de Hg na biota neste trecho.

Neste estudo, no entanto, foram encontrados valores menores no sistema fluvial à jusante do reservatório tanto para *S. rhombeus* como para *H. unimaculatus*. Este fato pode estar indicando que as concentrações de HgT nos peixes coletados não estão sendo influenciadas somente pelas variáveis físico-químicas locais, mas sim pelo aporte de HgT alóctone, disponibilizado do solo para o meio aquático através de ações antrópicas, como o desmatamento.

A maior concentração média de HgT em *H. unimaculatus* no reservatório confirma a importância dos ambientes de reservatórios no que diz respeito à metilação e aumento da biodisponibilidade deste metal, pois Lacerda & Malm (2008) afirmam que este processo é favorecido em ambientes aquáticos anóxicos ou subóxicos, levemente ácidos, com concentrações elevadas de matéria orgânica dissolvida, além de atividade microbológica intensa, características estas que são frequentemente encontradas em reservatórios de hidroelétricas.

Em contrapartida, as elevadas concentrações de HgT nas amostras de *S. rhombeus* coletadas no sistema fluvial à montante do reservatório, sugerem que outros fatores estão influenciando na mobilização do mercúrio na região estudada. Alguns estudos indicam que a queima da biomassa da floresta amazônica se apresenta como importante via de liberação de mercúrio para a atmosfera da região (Artaxo *et al.*, 2000; Cordeiro *et al.*, 2002; Peleja, 2005) e, conseqüentemente, para o meio aquático.

Além da queima, outros diversos tipos de uso do solo comuns na colonização de regiões ribeirinhas, como construção de estradas, desmatamento para cultivo e criação de gado, exploração madeireira etc; podem causar e/ou intensificar o processo de erosão que, segundo Roulet *et al.* (1998), contribui para a descarga de Hg em ambientes aquáticos. Partindo desta hipótese, as intensas chuvas na região amazônica podem ser citadas como um meio propulsor no carreamento de partículas de solo erodido até os corpos hídricos.

Nesse sentido, os altos teores de HgT encontrados nas amostras de *S. rhombeus* no sistema fluvial à montante do reservatório podem estar vinculados às práticas de uso do solo que intervêm no ambiente através do desmatamento em regiões próximas a este ambiente de coleta, como é o caso do município de Mojuí dos Campos, localizado na região à montante do reservatório. Segundo Pires (2015), a região onde está situado o município de Mojuí dos Campos é caracterizada por conter extensas áreas destinadas à plantação de soja. Além disso, nos últimos anos as áreas antropizadas e de solo expostos tem predominado em algumas regiões deste município (Andrade, Corrêa E Coêlho, 2016).

Conclusões

Apenas 2.87% dos espécimes de *Serrasalmus rhombeus* analisados apresentaram concentrações de HgT acima do valor máximo permitido pela ANVISA e nenhuma amostra de *Hemiodus unimaculatus* ultrapassou este limite.

As elevadas concentrações de HgT em *Serrasalmus rhombeus* comparadas com as concentrações para *Hemiodus unimaculatus* evidenciaram a importância do hábito alimentar no processo de biomagnificação nos peixes coletados do interior e entorno do reservatório da UHE de Curuá-Una.

Entre os períodos analisados, o período de águas altas demonstrou elevada importância/influência no que diz respeito à entrada de mercúrio na região estudada.

As menores concentrações de HgT nos peixes coletados no sistema fluvial à jusante sugerem que outros fatores estão influenciando na mobilização do mercúrio na região estudada, como o desmatamento ocorrido para diferentes usos do solo que ocorrem na região à montante do sistema fluvial em estudo.

Referências

- Akcali, I., Kucuksezgin, F. A (2011) Biomonitoring study: Heavy metals in macroalgae from eastern Aegean Coastal áreas. *Marine Pollution Bulletin*, **62** (3), 637-45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.12.021>
- Almeida, R.D., Bernardi, J.V.E., Oliveira, R.C., Carvalho, D.P.D., Manzatto, A.G., Lacerda, L.D.D., Bastos, W.R. (2014) Flood pulse and spatial dynamics of mercury in sediments in Puruzinho lake, Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, **44**(1), 99-106.
- Anderson, M.R., Scruton, D.A., Williams, U.P., Payne, J.F. (1995) Mercury in fish in the Smallwood Reservoir, Labrador, twenty one years after impoundment. *Water, air and soil pollution*, **80**(1). <http://dx.doi.org/10.1007/BF01189746>
- Andrade, S.C.P., Correa, J.A.J., Coêlho, A.R. (2016) Análise da Cobertura Vegetal e da Produção Agrícola do Município de Mojuí dos Campos-PA, IV Simpósio Internacional de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, ISSN: 2178-3500, Manaus, AM.
- Arantes, I.A., Pinto, M.T.C., Mangabeira, P.A., Grenier Loustalot, M.F., Veado, M.A.R.V., Oliveira, A.H. (2009) Mercury concentration in fish from Piracicaba River (Minas Gerais, Brazil). *Environmental Monitoring and Assessment*, **156**(1), 119-130. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-008-0468-2>
- Artaxo, P., Calixto De Campos, R., Fernandez, E.T., Martins, J.V., Xiao, Z.; Lindqvist, O., Fernandez-Jimenez, M.T., Maenhaut, W. (2000) Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. *Atmospheric Environment*, **34**(24), 2000, 4085 – 4096. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00106-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00106-0)
- Azevedo, F.A. 2003 *Toxicologia do mercúrio*. 1 ed. Ed. Rima InterTox, São Carlos-SP, Brasil, 292 pp.
- Barbosa, A. C., De Souza, J., G., Dórea, J. G., Jardim, W. F., Fadini, P. S. (2003) Mercury Biomagnification in a Tropical Black Water, Rio Negro, Brazil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **45**(2), 235-246. <https://dx.doi.org/10.1007/s00244-003-0207-1>
- Beltran-Pedreiros, S.B., Zuanon, J., Leite, R.G., Peleja, J.R.P., Mendonça, A.B., Forsberg, B.R. (2011) Mercury bioaccumulation in fish of commercial importance from diferente trophic categories in an Amazon floodplain lake. *Neotropical Ichthyology*, **9**(4), 901-908. <https://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252011000400022>

- Bodaly, R. A. D., Jansen, W. A., Majewski, A. R., Fudge, R. J. P., Strange, N. E., Derksen, A. J., Green, D. J. (2007) Postimpoundment time course of increased mercury concentrations in fish in hydroelectric reservoirs of northern Manitoba, Canada. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **53**(3), 379–389. <https://dx.doi.org/10.1007/s00244-006-0113-4>
- Brasil (1998) *Portaria nº 685 – Aprova o Regulamento técnico princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos*, Agência Nacional De Vigilância Sanitária, Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília - DF, 27 de agosto de 1998. Acesso em 20 de dezembro de 2019, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/I9433.htm
- Brasil (1999) *Instrução Normativa nº 42, de 20 de dezembro de 1999. Altera o plano nacional de controle de resíduos em produtos de origem animal*. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília - DF. Acesso em 20 de dezembro de 2019, disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/plano-de-nacional-de-controle-de-residuos-e-contaminantes/documentos-da-pncrc/instrucao-normativa-sda-n-o-42-de-20-de-dezembro-de-1999.pdf/view>
- Brasil (1965) *Decreto nº 55.871 de 26 de março de 1965 do Ministério da Saúde. Modifica o Decreto nº 50.040 de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto nº 691, de 13 de março de 1962*. Ministério Da Saúde, Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília - DF. Acesso em 05 de janeiro de 2020, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/19501969/d55871.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%2055.871%2C%20DE%2026,13%20de%20mar%C3%A7o%20de%201962
- Brasil (2013) *Resolução-rdc nº42, de 29 de agosto de 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos*, Ministério Da Saúde-Agência de Vigilância Sanitária, Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Acesso em 05 de janeiro de 2020, disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0042_29_08_2013.html#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20o%20Regulamento%20T%C3%A9cnico,III%20e%20IV%2C%20do%20art
- Brito, B.C., Forsberg, B.R., Kasper, D., Amaral, J.H.F., Vasconcelos, M.R.R., Sousa, O.P., Cunha, F.A.G., Bastos, W.R. (2017) The influence of inundation and lake morphometry on the dynamics of mercury in the water and plankton in an Amazon floodplain lake. *Hydrobiologia*, **790**(1), 35–48. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3017-y>
- Canavan, C.M.U., Caldwell C.A., Bloom, N.S. (2000) Discharge of methylmercury-enriched hypolimnetic water from a stratified reservoir. *The Science of the Total Environment*, **260**(1), 159-170. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(00\)00560-x](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(00)00560-x)
- Cardoso, C., Bandarra, N. M., Lourenço, H. M., Nunes, M. L. (2010) Methylmercury Risks and EPA+DHA Benefits Associated to Seafood Consumption in Europe. *Risk Analysis*, **30**(5), 827-824. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01409.x>
- Castro, N.S.S., Braga, C.M., Trindade, P.A.A., Giarrizzo, T., Lima, M.O. (2016) Mercúrio em peixe e em sedimento do Rio Purus, Estado do Acre, Amazônia. *Cadernos de Saúde Coletiva*, **24**(3), 294-300. <https://doi.org/10.1590/1414-462x201600030142>
- Compeau, G.C., Bartha, R. (1985) Sulfate-Reducing Bacteria: Principal Methylators of Mercury in Anoxic Estuarine Sediment. *Applied and Environmental Microbiology*, **50**(2), 498 – 502. <https://doi.org/10.1128/aem.50.2.498-502.1985>
- Cordeiro, R.C., Turcq, B., Ribeiro, M.G., Lacerda, L.D., Capitaneo, J., Oliveira, A.S., Sifeddin, A., Turcq, P.M. (2002) Forest fire indicators and mercury deposition in an intense land use change region in the Brazilian Amazon (Alta Floresta, MT). *The Science of the Total Environment*, **293**(1), 247–256. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(02\)00045-1](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(02)00045-1)

- Costa, C. R. C., Olivi, P., Botta, C. M. R., Espindola, E. L. G. (2008) A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. *Química Nova*, **31**(7), 1820- 1830. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000700038>
- Dias, A.C.L., Guimarães, J. R. D., Malm, O. (2008) Mercúrio total em músculo de cação *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) e de espadarte *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758, na costa sul-sudeste do Brasil e suas implicações para a saúde pública. *Cadernos de. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, **24**(9), 2063-2070. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2008000900012>
- Dominique, Y., Maury-Brachet, R., Muresan, B., Vigouroux, R., Richard, S., Cossa, D., Mariotti, A., Boudou, A. (2007) Biofilm and mercury availability as key factors for Mercury accumulation in fish (*Curimata cyprinoids*) from a disturbed Amazonian freshwater system. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **26**(1), 45–52. <https://doi.org/10.1897/05-649R.1>
- Dorea, J.G., Barbosa, A.C., Ferrari, I., De Souza, J.R. (2003) Mercury in hair and in fish consumed by Riparian women of the Rio Negro, Amazon, Brazil. *International Journal of Environmental Health Research*, **13**(3), 239-48. <https://doi.org/10.1080/0960312031000122398>
- Dorea, J.G., Barbosa, A.C., Silva, G.S. (2006) Fish mercury bioaccumulation as a function of feeding behavior and hydrological cycles of the Rio Negro, Amazon. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **142**(3), 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2005.10.014>
- Fadini, P. S., Jardim, W. F. (2001) Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? *The Science of the Total Environment*, **275**(1-3), 71- 82. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00855-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00855-X)
- Faial, R.F., Santos, E. C. O., Brabo, E. S., Sá, G. C., Jesus, I. M., Lima, M. O., Mendes, R. A., Mascarenhas, A. F. S (2005) Níveis de mercúrio em peixes do Rio Trombetas no Baixo Amazonas; uma área sem influência da garimpagem. *Cadernos Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, **13**(1), 237-248.
- Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação-Organização Mundial da Saúde (2010) *Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation on the risks and benefits of fish consumption*. Ed. FAO Fisheries and Aquaculture Report, 63 pp.
- Figueiredo, D. G. (2018) *Dieta de quatro espécies de peixes na área de influência da Usina Hidroelétrica de Curuá-Una, Estado do Pará – Brasil*, Programa de Pós-Graduação em Recursos Aquáticos Continentais Amazônicos. Santarém, Universidade Federal do Oeste do Pará, 71 pp.
- Furlan, N., Quinágua, G.A.; Esteves, K.E.; Osti, J.A.S.; Lamparelli, M.C. (2018) Benthic fish blood as a biomarker for recent exposure to Mercury. *Limnetica*, **37**(1), 129-143. <https://doi.org/10.23818/limn.37.11>
- Goyer, R.A. (1997) Toxic and essential metal interactions. *Annual Review of Nutrition*, **17**(1), 37-50. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.17.1.37>
- Green, D., Duffy, M., Janz, D., McCullum, K., Carrière, G., Jardine, T. (2016) Historical and Contemporary Patterns of Mercury in a Hydroelectric Reservoir and Downstream Fishery: Concentration Decline in Water and Fishes. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, **71**(2), 157-170. <https://doi.org/10.1007/s00244-016-0287-3>
- Guimarães, E.C. (2009) *Avaliação dos Níveis Basais de Mercúrio na Área de Influência da UHE Jirau– Rio Madeira/Amazônia*, Programa de Pós-Graduação STRICTO SENSU em Ciências Ambientais e Saúde, Pontifícia Universidade Católica, Goiânia, 91 pp.
- Guimarães, J.R.D., Roulet, M., Lucotte, M., Mergler, D. (2000) Mercury methylation along a lake- forest transect in the Tapajós river floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations. *The Science of the Total Environment*, **261**(1-3), 91-98. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00627-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00627-6)
- Hylander, L. D., Grohn, J., Tropp, M., Vikström, A., Wolpher, H., Silva, E. C., Meili, M., Oliveira, L. J. (2006) Fish Mercury increase in Lago Manso, a new hydroelectric reservoir in tropical Brazil. *Journal of Environmental Management*, **81**(2), p. 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.025>
- Junk, W.J., Nunes De Mello, J.A.S.N. (1987) Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. p. 367-385. In G. Kohlhepp and A. Schrader (Eds.), *Homem e natureza na Amazônia*. Tubinger Geographische Studien, Alemanha, 367-385.

- Junk, W.J., Robertson, B.A., Darwich, A.J., Vieira, I. (1981) Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-Una, a primeira represa hidrelétrica na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, **11**(4), 689-716. <https://doi.org/10.1590/1809-43921981114689>
- Kasper, D. (2008) *Efeito da barragem nas concentrações de mercúrio na biota aquática à jusante de um reservatório amazônico (Usina Hidrelétrica de Samuel, RO)*, Programa de Pós-graduação em Biofísica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 147 pp.
- Kasper, D. Forsberg, B. R., Amaral, J. H. F., Leitão, R. P., Daniel, S. S. P., Bastos, W. R., Malm, O. (2014) Reservoir Stratification Affects Methylmercury Levels in River Water, Plankton, and Fish Downstream from Balbina Hydroelectric Dam, Amazonas, Brazil. *Environmental Science & Technology*, **48**(2), 1032–1040. <https://doi.org/10.1021/es4042644>
- Kasper, D., Palermo, E. F., Branco, C., W., C. Malm, O. (2012) Evidence of elevated mercury levels in carnivorous and omnivorous fishes downstream from an Amazon reservoir. *Hydrobiologia*, **694**(1), 87-98. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1133-x>
- Kehrig, A.; H., Palermo, E. F. A., Seixas T. G., Santos, H. S., Malm, O., Akagi, H. (2009) Methyl and Total Mercury Found in Two Man-Made Amazonian Reservoirs. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, **20**(6), 1142-1152. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000600021>
- Lacerda, L. D. (1995) Amazon mercury emissions. *Nature*, **374** (1), 20-1.
- Lacerda, L.D., Malm, O. (2008) Mercury contamination in aquatic ecosystems: an analysis of the critical areas. *Estudos Avançados*, **22**(63), 173-190.
- Liu, J., Jiang, T., Huang, R., Wang, D., Zhang, J., Qian, S., Yin, D., Chen, H. (2017) A simulation study of inorganic sulfur cycling in the water level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China and the implications for mercury methylation. *Chemosphere*, **166**(1), 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.079>
- Lupi, C., Nhacarini, N. I., Mazon, A. F., Sá, O. R. (2007) Avaliação da poluição ambiental através das alterações morfológicas de *Oreochromis niloticus* (tilápia) nos córregos Retiro, Consulta e Bebedouro, do Município de Bebedouro-SP. *Revista Fafibe on line*, **3**(1), 1-6.
- Malm, O., Palermo, E. F. A., Santos, H. S. B.; Rebelo, M. F., Kehrig, H. A., Oliveira, R. B., Meire, R. O., Pinto, F. N., Moreira, L. P. A., Guimaraes, J. R. D., Torres, J. P. M., Pfeiffer, W. C. (2004) Transport and cycling of mercury in Tucuruí reservoir, Amazon, Brazil: 20 years after fulfillment. *RMZ Materials and Geoenvironment*, **51**(1), 1195–1198.
- 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. <https://doi.org/10.1021/es950373d>
- Micaroni, R.C.C.M., M.I.M.S. Bueno; W.F. Jardim. (2000) Compostos de mercúrio, revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. *Química Nova*, **23**(4), 487–495. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000400011>
- Miranda, M.R., Souza, S.A.C., Guimarães, J.R.D., Correia, R. (2007) Mercúrio em sistemas aquáticos: fatores ambientais que afetam a metilação. *Oecologia. Brasiliensis*, **11**(2), 2007, 240-251.
- Nascimento E.L., Gomes, J.P.O., Carvalho, D.P., Almeida, R., Bastos, W.R., Miyai, K.R. (2009) Mercúrio na Comunidade Planctônica do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Samuel (Ro), Amazônia Ocidental. *Geochimica Brasiliensis*, **23**(1), <https://doi.org/10.116.10.21715/gb.v23i1.298>
- Oliveira, R.C.B., Marins, R.V. (2011) Dinâmica de Metais-traço em solo e ambiente Sedimentar Estuarino como um fator determinante no aporte desses contaminantes para o ambiente aquático. Revisão. *Revista Virtual de Química*, **3**(2), 88-102. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20110014>
- Onem, A.S.; Kucuksezgin, F.; Kocak, F. (2011) Temporal and Spatial biomonitoring of heavy metals in eastern Aegean coastal water using *Amphibalanus Amphitrite*. *Marine Pollution Bulletin*, **62**(11), 2548-2556. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.08.017>

- Palermo, E.F.A., Kehrig, H.A., Branco, C.W.C., Malm, O. (2004) Mercury and methylmercury in suspended particulated matter and sediments of a slightly impacted reservoir of Brazil. *RMZ Materials and Geoenvironment*, **51**(1), 1289-91. <https://doi.org/10.13140/2.1.3283.6807>
- Peleja, J. R. P. (2002) *Os fatores que influem no nível de mercúrio (Hg) na água e no plâncton de lagos associados aos rios Tapajós e Negro*, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil, 75 pp.
- Peleja, J.R.P., Sablayrolles, M.G.P. (2005) *Resultados das pesquisas sobre a contaminação por mercúrio no rio Tapajós realizadas pelo Laboratório de Biologia Ambiental da UFPA – Santarém e suas linhas emergentes de pesquisa*. Jornal Olho de Boto – Informativo da Universidade Federal do Pará.
- Pereira, O.M., Henriques, M.B., Zenebon, O., Sakuma, A., Kira, C. (2002) Determinação dos teores de Hg, Pb, Cd, Cu e Zn em moluscos (*Crassostrea brasiliana*, perna perna e *Mystella falcata*). *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, **61**(1), 19-25. <https://doi.org/10.53393/rial.2002.v61.35011>
- Pichet, P., Morrison, K., Rheault, I., Tremblay, A. (1999) Analysis of mercury and methylmercury in environmental samples. *Mercury in the Biogeochemical Cycle*, 41-52. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60160-6_3
- Pires, N.L. (2015) *Expansão da Fronteira agrícola e presença de glifosato e ampa em amostras de água da região de Santarém (Pa): Desafios analíticos para o monitoramento ambiental*, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, Universidade de Brasília, 112 pp.
- Queiroz, L.J., Torrente-Vilara, G., Ohara, W.M., Pires, T.H.S., Zuanon, J., Doria, C.R.C. (2013) *Peixes do Rio Madeira*, 1a ed., São Paulo, 402 pp.
- Rodrigues, L. S., Duarte, R. M.; Val, A. L. (2005) Determinação da sensibilidade ao cobre para a espécie de peixe amazônica *Paracheirodon axelrodi*, Schultz 1956, VII Congresso De Ecologia Do Brasil, Caxambu.
- Roulet M.U., Lucotte, M., Canuel, R., Rheault, I., Tran, S., Goch, Y.G.F., Farella, N., Souza Do Vale, R., Sousa Passos C.J., Silva, E.J., Mergler, D., Amorim, M. (1998) Distribution and partition of total mercury in waters of the Tapajós River Basin, Brazilian Amazon. *The Science of the Total Environment*, **213**(1-3), 203-211. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00093-X)
- Roulet, M., Lucotte, M. (1995) Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferrallitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. *Water, Air, Soil Pollut*, **80**(1), 1079-1088. <https://doi.org/10.1007/BF01189768>
- Sampaio, S. D., Lucotte, M., Roulet, M., Poirier, H., Mergler, D., Crossa, M. (2006) Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós, Amazônia brasileira. *Interface*, **1**(1), 1-31.
- Saré, A.R., Ligocki, L.P., Sayão, A.S.F.J., Gerscovich, D.M.S. (2005) Estudos geotécnicos na barragem de terra de Curuá-Uma, 1ª Simpósio Brasileiro De Jovens Geotécnicos, São Carlos, SP.
- Silva, C.C. (2006) *Dieta da comunidade de peixes na área de influência da UHE de Balbina - rio Uatumã, Amazonas, Brasil*, Instituto Federal de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, 63pp.
- Silva, C.C., Efrem J. G.F., Deus, C.P. (2008) Dieta de cinco espécies de Hemiodontidae (Teleostei, Characiformes) na área de influência do reservatório de Balbina, rio Uatumã, Amazonas, Brasil. *Iheringia Serie de Zoologia*, **98**(4), 464-468. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212008000400008>
- Soares, J.L.F., Goch, Y.G.F., Peleja, J.R.P., Forsberg, B.R., Lemos, E.J.S., Sousa, O.P. (2016) Bioacumulação de Mercúrio Total (HgT) e hábitos alimentares de peixes da bacia do Rio Negro, Amazônia, Brasil. *Biota Amazônia*, Macapá, **6**(1), 102-106. <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n1p102-106>
- Streets, D.G., M.K., Devane, Z. Lu, T.C. Bond, E.M. Sunderland & D.J. Jacob. (2011) All-time releases of Mercury to the atmosphere from human activities. *Environmental science & technology*, **45**(24), 10485-10491. <https://doi.org/10.1021/es202765m>
- United Nations Environment. (2013) *Global Mercury Assessment. Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport*. Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, 44 pp.
- Verdon, R., Brouard, D., Demers, C., Lalumiere, R. (1991) Mercury evolution (1978-1988) in fishes of the La Grande Hydroelectric Complex, Quebec, Canada. *Water, air and soil pollution*, **56**(1), 405-417.

- Vieira, I. (1982) Aspectos sinecológicos da ictiofauna de Curuá-Una, represa hidroelétrica da Amazônia brasileira, *Universidade Federal de Juiz de Fora*, 107 pp.
- Vieira, I., Darwich, A.J. (1999) Sinecologia da ictiofauna de Curuá-Una, Amazônia: características hidroquímicas, climáticas, vegetação e peixes, *VII Congresso Brasileiro de Limnologia*, Caxambu - MG.
- Wasserman, J. S., Hacon, S. S., Wasserman, M. A. (2001) O ciclo do Mercúrio no Ambiente Amazônico. *Mundo e vida*, **2**(1), 46-53.
- Wasserman, J.C., Hacon, S., Wasserman, M. A. (2003) Biogeochemistry of mercury in the Amazonian. *Ambio*, **32**(5), 336-342. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.5.336>
- Yohannes, Y.B., Ikenaka, Y., Nakayama, S.M.M., Saengtienchai, A., Watanabe, K., Ishizuka, M. (2013) Organoclorine pesticides and heavy metals in fish from Lake Awasse, Ethiopia: Insights from stable isotope analysis. *Chemosphere*, **91**(6), 857-863. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.047>