

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE MERCÚRIO (Hg) TOTAL EM PEIXES DE IGARAPÉS DA BACIA DO RIO MAMURU-PARÁ-BRASIL.

Diego Ramos Pimentel
José Reinaldo Pacheco Peleja
Ynglea Georgina de Freitas Goch
Brendson Carlos Brito
Fábio Andrew Gomes Cunha
Otávio Peleja de Sousa

Resumo

Este trabalho investigou as concentrações de mercúrio em peixes de dez igarapés naturais que integram a bacia do Rio Mamuru, no interflúvio Mamuru-Arapiuns. As coletas foram realizadas no mês de setembro de 2009. A espécie *Characidium* sp1 apresentou a maior concentração de Hg com (515,6 ng.g⁻¹) e a espécie *Carnegiella strigata* a menor com (155 ng.g⁻¹). A maioria das espécies não apresentou coeficiente de bioacumulação de Hg total significativo tanto em função do peso corporal quanto em função do comprimento padrão. Em ordem crescente de importância as concentrações médias de Hg total, por hábito alimentar, independente de espécie e igarapé, estiveram assim distribuídas: herbívoro (202,8 ng.g⁻¹), carnívoro (236,5 ng.g⁻¹), onívoro (295,8 ng.g⁻¹), insetívoro geral (336,3 ng.g⁻¹), insetívoro alóctone (347,9 ng.g⁻¹), insetívoro autóctone (429,2 ng.g⁻¹). A importância dos insetos aquáticos como elo de transferência de mercúrio dos sedimentos dos igarapés para os níveis tróficos superiores como os peixes, ficou evidenciada. Os níveis de Hg total encontrados nos peixes dos igarapés remotos estudados no presente estudo reforçam a teoria da ocorrência natural deste elemento nos solos da região e sugere-se também que a ecotoxicologia do Hg nos peixes pode estar influenciando na estrutura destas comunidades aquáticas.

Palavras-chave: Bioacumulação, mercúrio, peixes, igarapés, Amazônia.

EVALUATION OF TOTAL MERCURY (Hg) LEVELS IN STREAMS FISH OF THE MAMURU WATERSHED IN PARÁ-BRAZIL.

Abstract

This study investigated the concentrations of the mercury in fish species collected in September, 2009 in ten streams draining the Mamuru Arapiuns interfluvial region, part of the Mamuru river basin. *Characidium* sp1 presented the highest Hg concentration (515.6 ng.g⁻¹) and *Carnegiella strigata* the lowest (155 ng.g⁻¹). Most species did not present a significant relation between total Hg bioaccumulation and weight, nor as a function of standard length. Trophic categories for the fish species were determined in relation to feeding strategies and mean total Hg concentrations, in ascending order: herbivore (202.8 ng.g⁻¹), carnivore (236.5 ng.g⁻¹), omnivore (295.8 ng.g⁻¹), general insectivore (336.3 ng.g⁻¹), allochthonous insectivore (347.9 ng.g⁻¹) and autochthonous insectivore (429.2 ng.g⁻¹). The importance of insects as a mercury transfer link from streams sediments to fish of varying trophic levels was clearly evident. Total Hg levels total found in fish from remote streams investigated in this study reinforce the theory of naturally occurring mercury in regional soils. Furthermore, the results also suggest that Hg ecotoxicology of in fish can have an influence the structure of aquatic communities.

Key-words: Bioaccumulation, mercury, fish, streams, Amazon.

EVALUACIÓN DE NIVELES TOTALES DE MERCURIO (Hg) EN PECES DE IGARAPES DE LA CUENCA DEL RÍO MAMURU-PARÁ-BRASIL.

Resumen

Este trabalho investigó las concentraciones de mercurio en peces de diez igarapés naturales que integran la cuenca del río Mamuru, en el interflúvio Mamuru-Arapiuns. Las colectas fueron realizadas en el mes de septiembre de 2009. La especie *Characidium* sp1 presentó la mayor concentración de Hg con (515,6 ng.g⁻¹) y la especie *Carnegiella strigata* la menor con (155 ng.g⁻¹). La mayoría de las especies no presentó coeficiente de bioacumulación de Hg total significativo tanto en función del peso corporal como en función de la longitud estándar. En orden creciente de importancia, las concentraciones medias de Hg total, por hábito alimentario, independiente de especie e igarapé, estuvieron así distribuidas: herbívoro (202,8 ng.g⁻¹), carnívoro (236,5 ng.g⁻¹), omnívoro (295,8 ng.g⁻¹), insetívoro general (336,3 ng.g⁻¹), insetívoro alóctone (347,9 ng.g⁻¹), insetívoro autóctono (429,2 ng.g⁻¹). La importancia de los insectos acuáticos como eslabón de transferencia de mercurio de los sedimentos de los igarapés a los niveles tróficos superiores como los peces, quedó evidenciada. Los niveles de Hg total encontrados en los peces de los igarapés remotos estudiados en el presente estudio refuerzan la teoría de la ocurrencia natural de este elemento en los suelos de la región y se sugiere también que la ecotoxicología del Hg en los peces puede estar influenciando en la estructura de estas comunidades acuáticas.

Palabras clave: Bioacumulación, mercurio, peces, igarapés, Amazonia.

INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg) é um elemento de aspecto inodoro, sendo o único metal conhecido que se apresenta no estado líquido em temperatura ambiente e a 0°C. As diferentes formas do mercúrio são comumente designadas por “espécies”, o que é conhecido como especiação¹. Naturalmente, pode-se encontrar este elemento nas formas orgânica e inorgânica, no estado sólido, dissolvido e na fase gasosa. Se caracteriza por volatilizar-se à temperatura ambiente e seu ciclo biogeoquímico envolve processos ocorridos no ar, solo e água².

Em algumas áreas da região amazônica, a garimpagem nos últimos anos, tem sido indicada como uma das principais fontes de Hg para atmosfera e ecossistemas aquáticos³. Estudos mais recentes sustentam a tese de que parte do mercúrio encontrado na região amazônica seria de origem natural e que o homem não é o único responsável pelas emissões de mercúrio na Amazônia⁴.

Apesar da literatura disponível sobre a contaminação da biota, sedimentos, solos e de estudos de saúde em algumas populações da Amazônia, especialmente os ribeirinhos, as fontes e sumidouros de mercúrio na Amazônia brasileira não estão bem estabelecidos e ainda não há um completo entendimento de seu ciclo biogeoquímico⁵. Na região amazônica faz-se necessário um monitoramento constante do nível de mercúrio na população de peixes⁶.

Nas bacias de drenagens de igarapés florestais os solos parecem funcionar como sumidouros de Hg total e a magnitude de retenção desta forma do mercúrio parece ser perfeitamente consistente⁷.

No hemisfério Norte, investigações sobre a dinâmica do mercúrio em córregos têm sido muito mais valorizada no meio científico. ⁸relatam que estudos realizados em riachos e rios tem contribuído de forma significativa para a compreensão do ciclo regional do Hg em países daquele hemisfério.

Na região amazônica, o processo de biomagnificação do Hg já foi várias vezes identificado, porém pesquisas sobre a sua bioacumulação são mais escassas⁹. ¹⁰ressalta que fatores físico-químicos também podem influenciar na bioacumulação de Hg em peixes, porém coloca que ainda são poucos os estudos neste sentido na Amazônia.

Portanto, a importância dos aspectos limnológicos na bioacumulação do mercúrio na biota aquática/peixes deve ser considerada, pois ainda não há estudos que tenham considerado as concentrações de mercúrio em populações de peixes de igarapés de florestas de terra-firme da região Amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área em estudo está inserida no conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns, localizada no Oeste do Pará, a qual abrange área dos municípios de Juruti, Aveiro e Santarém.

Neste estudo, trabalharam-se três grandes Sítios de amostragem, os quais foram acessados por via fluvial através do rio Mamuru, Sítio 01: Localidade de Vista Bela, Sítio 02: Localidade de Jaratuba e Sítio 03: Localidade do rio Cataueré, sendo os dois primeiros localizados na área geográfica do município de Juruti (médio trecho do rio Mamuru) e o terceiro localizado no município de Aveiro (alto trecho do rio Mamuru) (Figura 1).

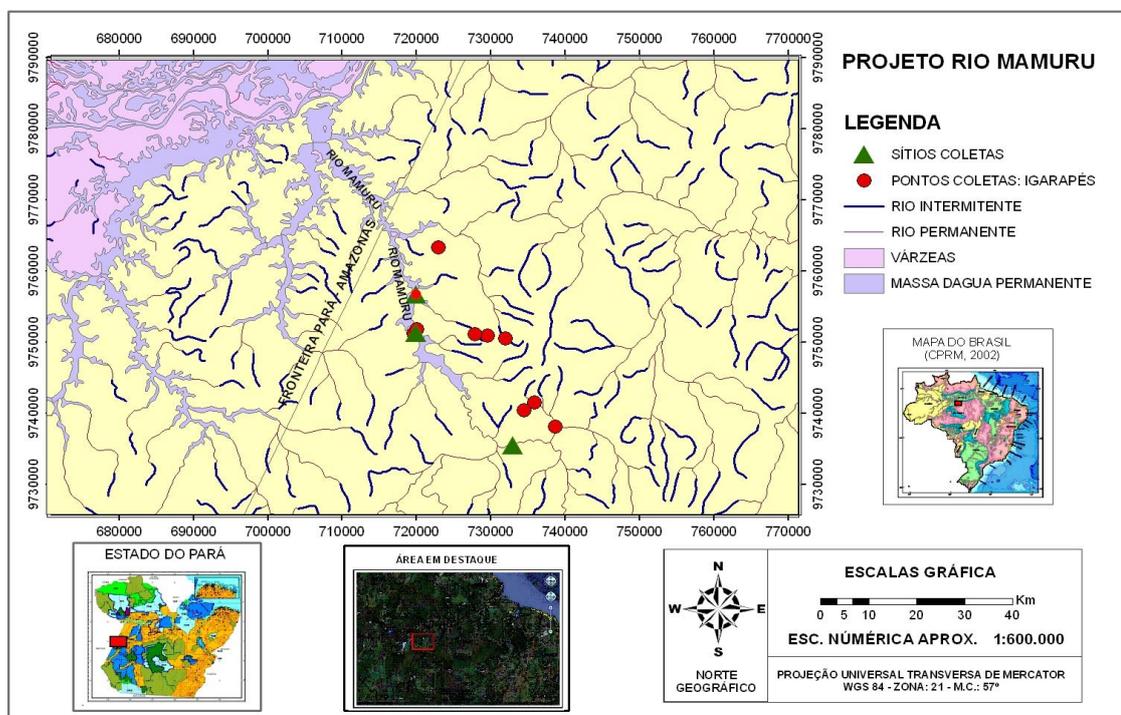


Figura 1: Distribuição dos igarapés amostrados.

Métodos de campo

A metodologia utilizada na coleta dos peixes consistiu de pesca ativa, com lances padronizados de rede de cerco (5m de comprimento x 1,5m de altura, com 5mm entre nós opostos) e rede *D-frame net*, com diâmetro de malha de 500 μ m.

Após a captura os indivíduos para a análise de Hg total foram separados em frascos (tubos de Falcon), os demais foram fixados em formalina 10% e acondicionados em sacos plásticos devidamente etiquetados e posteriormente foram transportados para laboratório, onde foi realizada a identificação das espécies. Ainda em campo foram realizadas medidas das seguintes variáveis ambientais: Temperatura, Oxigênio Dissolvido, potencial de

Hidrogeniônico (pH), Condutividade elétrica e Total de Sólidos Dissolvidos, velocidade da corrente, medição da largura e profundidade do canal e a vazão dos igarapés.

Métodos de Laboratório

No Laboratório, os exemplares de peixes foram identificados taxonomicamente, bem como foram efetuadas as aferições de comprimento padrão e total, e a pesagem dos mesmos.

As análises de Hg total foram realizadas no Laboratório de Biologia Ambiental da Universidade Federal do Oeste Pará, em Santarém.

Para a análise de Hg total nos peixes de maior porte foram retiradas amostras entre 300 e 400 mg (peso úmido) de tecido muscular da região dorsal das amostras que estavam acondicionadas em frascos de polietileno e congeladas até o momento da análise. Já os exemplares de peso corporal inferior a 300 mg alguns foram digeridos integralmente, outros excluindo-se a cabeça e alguns a cabeça e nadadeira caudal, utilizando uma pesagem entre 15 a 45 mg de amostra.

As amostras após pesagem foram colocadas em tubos de ensaio para o processo de extração do Hg total via digestão ácida. A digestão ácida consistiu da adição de Ácido Nítrico (HNO_3) concentrado e Ácido Clorídrico a 6 normal (HCl 6N), numa proporção de 10:1. Os tubos são aquecidos em placa quente durante 4 horas à 121°C sob ventilação e agitados de 1 em 1 hora.

Terminada a digestão, o solubilizado foi diluído a um volume final de 9 mL. Alíquotas de 100 μL foram injetadas no reator/redutor do Espectrômetro de Fluorescência Atômica a Vapor Frio (CVAFS, da sigla em inglês) contendo uma solução saturada de Cloreto de Estanho (SnCl_2)

Métodos Estatísticos

A comparação das concentrações de Hg das espécies de peixes foi realizada com o uso de análises de variância – ANOVA. Para verificar as possíveis correlações dos fatores ambientais entre si e destes com as concentrações de Hg nas amostras de peixes separadamente para cada sistema, foi utilizada uma matriz de correlação de Pearson. A influência dos parâmetros ambientais (variáveis independentes), sobre as concentrações de Hg (variável dependente) foram interpretadas através de regressão linear múltipla. Todas as análises estatísticas foram efetuadas com o auxílio do *Software Statistica 7.0*[®].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros Limnológicos

O rio Mamuru, que é o receptor principal dos igarapés investigados neste estudo apresenta cor aparente de sua água do tipo preta, pH 5,0 e condutividade entre 12 e 14 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A Ictiofauna

Nos 10 igarapés, foram coletados 117 exemplares de peixes, os quais foram identificados como pertencentes às 13 espécies. A maioria, 10 espécies, sendo da ordem Characiformes (76,9%) e 3 espécies da ordem Perciformes (23,1%). Em estudos ecológicos sobre peixes de igarapés da Amazônia Central, os Characiformes tem se sobressaído em valores de abundância e riqueza de espécies^{11,12}.

Concentrações de Hg nos peixes

As concentrações de Hg nas amostras de peixes do presente estudo variaram de 59,7 ng.g⁻¹ para a espécie *Apistograma eunotus* do igarapé Apuquitaua e 1.093,2 ng.g⁻¹ para *Characidium sp1* do igarapé Cabeça de Anta.

A concentração média de mercúrio total, independente de igarapé, obtida para as 13 espécies foi de 326,3 ng.g⁻¹. Ao se comparar as concentrações de Hg total entre as diferentes espécies, independente de igarapé, não foram observadas diferenças significativas entre as espécies (ANOVA $F_{(12, 104)} = 1, 5767$, $p = 0,1098$).

A comparação dos níveis de Hg total entre os igarapés, independente de espécies, revelou menor concentração para o igarapé Sabina (165,55 ng.g⁻¹) e maior concentração para o igarapé Jacaré (463,4 ng.g⁻¹). Todavia, só foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre o igarapé Cabeça de Anta (456,15 ng.g⁻¹) e o igarapé Jeju (241,69 ng.g⁻¹) (ANOVA, $F_{(9, 107)} = 2,5251$, $p = 0,0115$), para os demais igarapés não houve diferença significativa.

¹³ analisaram Hg em invertebrados e peixes de riachos naturais e urbanos nos Estados Unidos, em três grandes áreas de estudo (Oregon, Wisconsin e Florida), observando as médias por igarapé independente das espécies verificou-se que nos córregos naturais a média de Hg total foi de 774 ng.g⁻¹ e nos riachos urbanos foi de 368,5 ng.g⁻¹ que ficou aproximada da média dos igarapés no presente estudo (327,7 ng.g⁻¹).

Relação dos Parâmetros Limnológicos com os níveis de Hg nos peixes

Das treze espécies de peixes coletadas, oito espécies foram registradas com somente uma ocorrência nos igarapés (*Aequidens tetramerus*, *Bryconops inpai*, *Carnegiella strigata*, *Characidium sp1*, *Gnathocharax steindachneri*, *Hyphessobrycon heterurhabdus*, *Pyrrhulina brevis*, *Pyrrhulina sp1*), três espécies foram registradas em pelo menos dois igarapés (*Apistograma eunotus*, *Aequidens epae*, *Hyphessobrycon sp2*), uma espécie em três igarapés (*Nannostomus marginatus*) e uma espécie (*Hyphessobrycon sp1*) apresentou uma maior distribuição, sendo registrada em cinco igarapés.

Assim, para investigar a relação das concentrações de Hg total das espécies com os parâmetros limnológicos, foram consideradas somente as concentrações de Hg total da espécie *Hyphessobrycon sp1* para gerar uma matriz de correlação com os parâmetros limnológicos dos cinco igarapés, de ocorrência da mesma.

Os resultados da matriz de correlação evidenciaram correlações positivas das concentrações de Hg total com o oxigênio dissolvido ($r = 0,94$) e com o pH ($r = 0,91$), quase que da mesma ordem de magnitude. Com a condutividade ($r = -0,97$) e Totais de Sólidos Dissolvidos ($r = -0,99$) as correlações foram inversas.

A partir dos resultados da matriz de correlação de Pearson e, no sentido de se averiguar o efeito conjunto das variáveis limnológicas sobre as concentrações de Hg total na espécie *Hyphessobrycon sp1* através de um modelo de regressão linear múltipla, foram excluídas as variáveis limnológicas que apresentaram colinearidade entre si, restando apenas como variáveis independentes para gerar tal modelo as variáveis pH e oxigênio dissolvido dos igarapés. O resultado desta análise revelou influência significativa positiva destas duas variáveis limnológicas sobre as concentrações de Hg total em *Hyphessobrycon sp1* ($r^2 = 0,962$; $p = 0,037$).

Na Amazônia, ¹⁴ demonstraram que as concentrações de Hg total em *Hoplias malabaricus* decresciam em baixos níveis de pH e sugeriram que as relações entre pH e metilação para ecossistemas tropicais ocorrem de maneira oposta à de ecossistemas

temperados. Relação semelhante foi reportada para o rio Tapajós por ¹⁵ quanto ao aumento de taxas de metilação em raízes de *E. crassipes* para uma faixa de pH indo de neutra a levemente alcalina, entre 6 a 7 unidades de pH. Para o canal principal do rio Tapajós, ¹⁶ encontrou correlação positiva do pH com as concentrações de Hg em poríferas.

¹⁷Em estudo de Hg em água e plâncton em lagos associados ao Rio Tapajós e Negro observou que o pH foi a única variável que apresentou influência significativa sobre os níveis de Hg dissolvido nos lagos dos dois sistemas (Tapajós e Negro). No rio Tapajós lagos com baixos valores de pH e condutividade apresentaram níveis de Hg mais elevados em plâncton de rede maior que 40 micrômetros e no rio Negro lagos com baixos valores de pH e temperatura tendem a elevar seus níveis de Hg total para a esta mesma fração de plâncton.

Os fatores químicos têm importante papel na determinação da taxa de adsorção e sedimentação do Hg no sistema aquático. Grande quantidade de mercúrio é adsorvida no húmus, em pH ácido, favorecendo a formação de metilmercúrio¹⁸.

A relação positiva entre as concentrações de Hg total em *Hyphessobrycon sp1* com as concentrações de oxigênio dissolvido dos igarapés é atípica. Segundo ¹⁹ a metilação do mercúrio pode ocorrer tanto em condições óxicas quanto em condições anóxicas, entretanto, as maiores taxas ocorrem em condições anóxicas. Os ambientes de água doce e estuarinos apresentam maiores taxas de metilação do mercúrio em locais com baixas concentrações de oxigênio²⁰.

⁷ Analisando Hg total dissolvido em águas de igarapés de duas microbacias de Manaus verificou que dentre os parâmetros limnológicos a vazão foi a variável que teve melhor correlação com a dinâmica do Hg nesses sistemas. No presente trabalho não houve correlação desta variável com os níveis de Hg dos peixes.

Bioacumulação de Mercúrio nos peixes

A bioacumulação do mercúrio em peixes manifesta-se com o aumento da concentração do Hg em função da idade dos mesmos.

A maioria das espécies não apresentou coeficiente de bioacumulação de Hg total significativo em função do comprimento padrão dos peixes. *Hyphessobrycon sp1*, no Igarapé Abiduína, foi a única espécie que evidenciou acumulação positiva de Hg total em função do comprimento padrão ($r^2=0,66$, $p=0,046$). Diferente de ²¹ que encontraram na bacia do rio Negro, correlação linear positiva de Hg total em relação ao comprimento padrão e peso para as espécies *H. malabaricus*, *S. rhombeus* e *H. immaculatus*, ocorrendo também em *C. temensis*, em relação ao comprimento padrão.

Os coeficientes de bioacumulação em função do peso foram ainda menos evidentes que aqueles em função do comprimento padrão, a saber, somente a espécie *Apistograma eunotus* ($r^2=0,88$, $p=0,059$) apresentou uma clara tendência de bioacumulação em função do peso, as demais espécies não apresentaram acumulação significativa de Hg total em função do peso corporal.

No Rio Grande do Sul, ²² demonstrou que em lagos sob condições de impactos antrópicos o aumento dos níveis de Hg nos peixes, correlacionou-se melhor com o comprimento do corpo do que com o peso dos mesmos. ³ analisando peixes do Rio Trombetas em uma área sem influência de garimpagem observaram forte correlação positiva ($r=0,783$; $p=0,001$) entre os níveis de Hg e a razão entre peso e tamanho *Ilisha amazonica* de hábito piscívoro.

No rio Tapajós, ²³ reportaram correlações positivas entre peso e os níveis de Hg para as espécies predadoras *Pellona sp* e *Pseudoplatystoma sp.* $r = 0,73$ ($p = 0,000$) e $r = 0,63$ ($p = 0,006$), respectivamente. Em lagos associados ao rio Tapajós, de 38 espécies de peixes

estudadas por ⁹ somente *Cichla monoculus*, *Cichla* sp e *Hoplias malabaricus* apresentaram correlações significativas do tipo linear e curvilínea positiva, entre as concentrações de Hg e o comprimento total dos peixes. No presente trabalho o comprimento padrão correlacionou-se melhor com as concentrações de Hg do que com o peso.

O gênero *Hyphessobrycon* que se destacou com o melhor coeficiente de bioacumulação de Hg total em função do comprimento, já foi citado em estudo ecológico, por possuir espécies bastante resistentes, sendo facilmente encontrados em ambientes alterados onde formam cardumes numerosos¹². ²⁴ Ressalta que muitas das espécies deste gênero sobrevivem sem problemas em vários tipos de água em áreas florestadas ou desmatadas, sendo algumas espécies típicas de águas negras e relata que outros autores comentam que algumas espécies do gênero podem sobreviver em áreas parcialmente desmatadas desde que a composição química da água não seja drasticamente alterada.

Concentrações de Hg e hábito alimentar dos peixes

Estudos mostram que peixes de riachos brasileiros apresentam repertório comportamental amplo, usando numerosas táticas alimentares. De certo modo, o uso de diferentes táticas reflete a alta diversidade de organismos existentes nos riachos e biótopos adjacentes, além de complexas relações presa-predador²⁵.

As espécies estudadas no presente estudo foram agrupadas segundo a classificação de ¹¹, em cinco categorias tróficas: 1) carnívoros (dieta \geq 60% material animal, sem predominância de nenhum grupo específico), 2) insetívoros alóctones (dieta \geq 60% insetos terrestres), 3) insetívoros autóctones (dieta \geq 60% insetos aquáticos), 4) insetívoros gerais (dieta \geq 60% insetos), 5) onívoros (dieta composta por alimentos de origem animal e vegetal, sem predominância de nenhum deles) e a categoria herbívoros (dieta composta por alimentos de origem vegetal), sendo classificada de acordo com o²⁶.

A categoria trófica predominante foi a dos insetívoros gerais com 62 indivíduos (52,9%), seguida por insetívoros alóctones com 14 indivíduos (11,9%). Das seis categorias de hábito alimentar referente às espécies do presente estudo, quatro são de caráter estritamente predador. No trabalho de ¹¹, em Igarapé da Amazônia Central, a maioria das espécies foi predominantemente de hábito insetívoro alóctone, evidenciando a importância dos insetos terrestres para a dieta dos peixes, corroborando também com ²¹ que observaram concentrações elevadas de Hg total foram em músculo de peixes predadores, em um período de águas altas na bacia do rio Negro.

Em ordem crescente de importância as concentrações médias de Hg total, por hábito alimentar, independente de espécie e Igarapé, estiveram assim distribuídas: herbívoro (202,8 ng.g⁻¹), carnívoro (236,5 ng.g⁻¹), onívoro (295,8 ng.g⁻¹), insetívoro geral (336,3 ng.g⁻¹), insetívoro alóctone (347,9 ng.g⁻¹), insetívoro autóctone (429,2 ng.g⁻¹) (Figura 4). Das concentrações médias de Hg dos peixes analisados por Igarapé, somente duas espécies ultrapassaram o limite permitido de 500 ng.g⁻¹, que foram a espécie insetívora geral *Hyphessobrycon* sp1 (580,46 ng.g⁻¹) e insetívora autóctone *Characidium* sp1 (515,6 ng.g⁻¹) enquanto que a espécie carnívora *Carnegiella strigata* (155 ng.g⁻¹) e a herbívora *Aequidens epae* (165,55 ng.g⁻¹) revelaram os menores níveis de Hg. Estatisticamente não foram observadas diferenças significativas das concentrações de Hg total em função do hábito alimentar das espécies (ANOVA F_(5, 111) = 1, 7732, p = 0, 124146) (Figura 2).

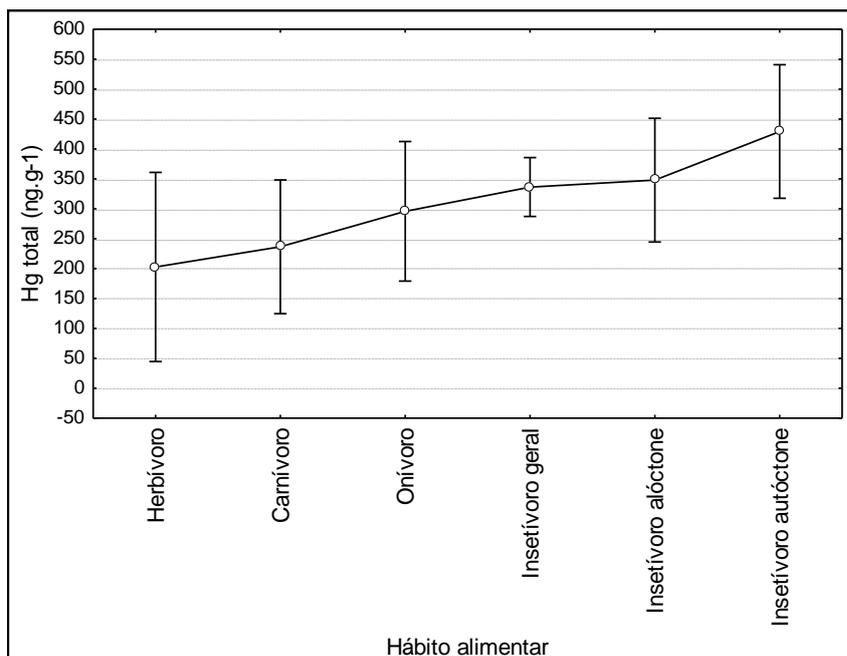


Figura 2: Concentrações médias de Hg total em função do hábito alimentar das espécies de peixes.

Não há relatos sobre estudos ecotoxicológicos do mercúrio em peixes de pequeno porte que habitam igarapés de florestas de terra-firme na Amazônia. Por outro lado, nos Estados Unidos, recentes trabalhos têm valorizado a importância destas microbacias tanto na ecotoxicologia dos organismos aquáticos quanto para a compreensão da dinâmica do ciclo global do mercúrio. Por lá, ¹³reportou concentrações de mercúrio total em peixes e invertebrados aquáticos, sendo as concentrações reportadas para os peixes de hábito onívoro de 15,6 a 1.090 ng.g⁻¹, e para os de hábito piscívoros de 61,3 a 7.810 ng.g⁻¹; já para os invertebrados aquáticos as concentrações variaram de 2,08 a 644 ng.g⁻¹.

De acordo com ²⁷ em riachos tropicais o alimento alóctone tem sido considerado mais importante para a dieta de peixes apesar da relevância do material autóctone como algas, insetos e invertebrados aquáticos. ²⁸relatam que os peixes de igarapés de primeira ordem dependem de material alóctone proveniente da vegetação circundante. Por outro lado, peixes que habitam igarapés de segunda e terceira ordem têm uma alimentação baseada em material autóctone. Para ²⁹, nos igarapés de primeira a terceira ordem a maior fonte de energia é proveniente de materiais externos que são as fontes alóctones, constituídas de folhas, troncos e restos de animais, que são originários do ambiente terrestre circundante.

Para³⁰, em rios e igarapés o gradiente de recursos na dieta de peixes é perceptível, sendo que em áreas de cabeceira os peixes dependem primariamente de material alóctone. Entretanto, não se conhece em detalhes essa dependência das fontes alóctones ao longo de uma bacia de drenagem na Amazônia Central. Supõe-se que com o aumento do tamanho do riacho, a abertura do dossel e a incidência solar se tornem maiores, resultando em um aumento na produção primária local, o que possibilitaria que recursos autóctones suportassem mais indivíduos e/ou espécies.

No presente estudo o grupo de hábito alimentar insetívoro foi predominante, mostrando essa dependência da floresta ripária. Porém, o grupo dos insetívoros autóctones no qual a alimentação é baseada em insetos aquáticos revelou a maior concentração de Hg total, evidenciando também a importância dos insetos autóctones como importante fonte de alimento. Mas, por outro lado estes insetos autóctones podem estar com concentrados de

mercúrio e funcionar como elo de transferência deste elemento dos sedimentos dos igarapés para os níveis tróficos superiores como os peixes.

³¹Relatam que as características da bacia de drenagem podem ter um efeito significativo sobre a qualidade e quantidade de partículas e matéria orgânica dissolvida que é transferida para os córregos. De acordo com¹⁸ o metilHg é formado nos solos e sedimentos por meio da associação do Hg com a matéria orgânica e ações de bactérias, com a taxa de metilação sendo maior na camada superficial do sedimento, decrescendo com a profundidade. O tempo de residência do mercúrio no solo e sedimento é de extrema importância no processo de metilação do mercúrio, pois quanto maior o tempo que permanecer em contato com o solo, maior será o potencial de formação do metilHg

¹³Sugerem que em uma avaliação a longo prazo, dentro de um fluxo específico ou bacia hidrográfica, as diferenças na composição da comunidade, alimentação e eficiências de transferência trófica são importantes para a bioacumulação de metilHg nos córregos de clima temperado. Acrescenta ainda que processos associados à bioacumulação de mercúrio em ecossistemas lóticos podem ser semelhantes aos dos lagos.

Em geral, os fatores que influem na toxicidade do Hg nos invertebrados aquáticos incluem a concentração e especiação deste elemento químico, estágio de desenvolvimento do organismo, temperatura, salinidade, dureza, oxigênio dissolvido e fluxo da água. Assim, o estágio larval é o mais sensível no ciclo biológico dos invertebrados. A toxicidade do mercúrio aumenta com a temperatura e diminui com a dureza da água e é menos acentuada em sistemas estáticos, como lagos, do que em rios, com fluxo constante de água³².

A composição do solo da maioria da área de estudo é formada segundo ³³ por latossolos, que no seu processo de formação, a elevada precipitação é responsável pela lixiviação de grande parte de sais solúveis e de sílica, gerando um perfil ácido.

Desta maneira é importante levar em consideração as características da bacia de drenagem associada aos aspectos físico-químicos da água, que podem influenciar nos níveis de Hg presente nos peixes, na taxa da bioacumulação e no tipo de alimentação desses organismos, em que a biomagnificação é evidenciada.

Assim, considerar as informações ecotoxicológicas do mercúrio para a espécie mais freqüente (*Hyphessobrycon* sp1) encontrada nos igarapés florestais no presente estudo, como uma variável que poderia somar-se a outras variáveis ecológicas, já reconhecidas, como agentes reguladores de distribuição geográfica e de estruturação de comunidades de peixes de igarapés amazônicos, seria salutar.

O cenário de amplitude de ocorrência de *Hyphessobrycon* sp1 (espécie com concentração intermediária de Hg total), *Carnegiella strigata* (espécie com menor concentração de Hg total) e *Characidium* sp1(espécie com maior concentração de Hg total) foi influenciado considerando o hábito alimentar, concentrações de pH, oxigênio dissolvido e a concentração de Hg total nas mesmas, para os dez igarapés estudados.

Assim, entre os dez igarapés estudados a espécie *Hyphessobrycon* sp1, com hábito insetívoro geral, foi a que se apresentou como a mais cosmopolita, sendo registrada em cinco igarapés, os quais apresentaram uma variação mínima de pH, indo de 4,8 a 4,9; mas com uma variação ampla de oxigênio dissolvido (2,3 a 7,0 mg.L⁻¹) e concentração média de Hg total de 336,5 ng.g⁻¹. A espécie *Carnegiella strigata*, de hábito carnívoro, foi registrada em apenas um igarapé de pH 4,8 e um pouco mais oxigenado (4,3 mg.L⁻¹) que aqueles colonizados pela espécie *Hyphessobrycon* sp1, porém com a concentração de Hg total, por hábito alimentar, mais basal (155 ng.g⁻¹). Já a espécies *Characidium* sp1, de hábito insetívoro autóctone, também só foi registrada em um único igarapé, coincidentemente o que apresentou o valor mais ácido de pH (4,5) e forte hipoxia (2,7 mg.L), porém com a concentração mais elevada de Hg total por hábito alimentar e igarapé (515,6 ng.g⁻¹).

Desta maneira no presente estudo, além de outros fatores ecológicos e limnológicos, o mercúrio aparece como uma variável que pode estar contribuindo na distribuição das espécies nos igarapés que integram a bacia do rio Mamuru, no interflúvio Mamuru-Arapiuns. Portanto a importância de estudos posteriores acerca da ecotoxicologia do Hg total em comunidades de peixes de igarapés de terra-firme na Bacia Amazônica deve ser valorizada.

CONCLUSÕES

Todos os igarapés estudados tem condições prístinas do interflúvio Mamuru-Arapiuns da Bacia Amazônica. Todavia, nas treze espécies de peixes estudadas foram encontradas concentrações de Hg total para além de níveis traços e, a concentração média de Hg total destas espécies foi da mesma ordem de magnitude daquelas registradas para peixes de córregos de países industrializados da América do Norte.

Independente de igarapés, as espécies de peixes não apresentaram diferenças interespecíficas de Hg total significativas. Porém, ao se considerar os valores encontrados nos peixes, por igarapés, independente de espécies, houve diferença significativa.

A espécie *Hyphessobrycon* sp1 apresentou a maior frequência de ocorrência nos igarapés e foi utilizada para interpretar a influência dos parâmetros limnológicos sobre as flutuações de Hg total entre os igarapés. Assim, o pH e o oxigênio dissolvido foram os únicos parâmetros limnológicos que se correlacionaram positivamente com as concentrações de Hg total.

A maioria das espécies não apresentou coeficiente de bioacumulação de Hg total significativo tanto em relação ao peso corporal quanto ao comprimento padrão. Para esta última variável, a espécie *Hyphessobrycon* sp1, no igarapé Abiduina, foi a única que evidenciou acumulação positiva de Hg total, considerada como a melhor espécie bioindicadora de Hg total para o referido sistema interfluvial.

O grupo de peixes com hábito alimentar insetívoro autóctone, no qual a alimentação é baseada em insetos aquáticos revelou a maior concentração de Hg total, evidenciando a importância destes organismos como elo de transferência de mercúrio dos sedimentos dos igarapés para os níveis tróficos superiores como os peixes.

Por fim, os níveis de Hg total encontrados nos peixes dos igarapés remotos estudados no presente estudo reforçam a teoria da ocorrência natural deste elemento nos solos da região. E, ressalte-se aqui que a dinâmica ambiental e aquática do mercúrio; assim como a limnologia destas microbacias; variam em função dos fenômenos biogeoquímicos que ocorrem nas áreas de drenagens destas, os quais influenciam na ecotoxicologia do Hg nos peixes e está provavelmente na distribuição e/ou estrutura das comunidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, F.A. *Toxicologia do mercúrio*. São Carlos: Rima. São Paulo: InterTox, 292p, 2003.
2. SILVA, M. W.; ESTANISLAU, C. A. M. Concentração de mercúrio em peixes da Amazônia. *Boletim ABLimno*. v. 41. n.1, p. 08-14, 2015.
3. FAIAL, K. R. F.; SANTOS, E. C. O.; BRABO, E. S.; SÁ, G. C.; DE JESUS, I. M.; LIMA, M. O.; MENDES, R. A.; MASCARENHAS, A. F. S. Níveis de mercúrio em peixes do Rio Trombetas no Baixo Amazonas; uma área sem influência da garimpagem. *Cadernos Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 13, n.1, p. 237-248, 2005.

4. WASSERMAN, J.C.; HACON, S.; WASSERMAN, M. A. Biogeochemistry of mercury in the Amazonian. *Ambio*, v. 32, p. 336-342. 2003.
5. HACON, S.; BARROCAS, P. R. G.; DE VASCONCELLOS, A. C. S.; BARCELLOS, C.; WASSERMAN, J. C.; CAMPOS, R. C. Um panorama dos estudos sobre contaminação por mercúrio na Amazônia Legal no período de 1990 a 2005 – Avanços e Lacunas. *Geochimica Brasiliensis*, v. 23, n. 1, p. 029-048. 2009.
6. BASTOS, W. R.; LACERDA, L. D. Mercúrio na Bacia de Drenagem do Rio Madeira, Rondônia. *Geochimica Brasiliensis*, v.18, p. 99-114, 2004.
7. PELEJA, J.R.P. *Estudo de balanço de massas de Mercúrio (Hg) Total em duas microbacias da Amazônia Central*. 123 f. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2006.
8. SCUDDER, B.C.; CHASAR, L. C.; WENTZ, D. A.; BAUCH, N. J.; BRIGHAM, M. E.; PATRICK W. MORAN, P. W.; KRABBENHOFT, D. P. *Mercury in fish, bed sediment, and water from streams across the United States, 1998-2005*. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2009, 74p.
9. SAMPAIO DA SILVA, D.; LUCOTTE, M.; ROULET, M.; POIRIER, H.; MERGLER, D.; CROSSA, M. Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós, Amazônia brasileira. *Interfacehs*, p.1-31, 2006.
10. BELGER, L. *Influência de alguns fatores ambientais sobre o nível de mercúrio em Cichla spp. e Hoplias malabaricus na Bacia do Rio Negro*. 2001. 57f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Amazonas, Amazonas, 2001.
11. ANJOS, M. B. *Estrutura de comunidades de peixes de igarapés de terra firme na Amazônia Central: composição, distribuição e características tróficas*. 2005. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2005.
12. GOCH, Y. G. F. *Efeitos do assoreamento sobre as comunidades de peixes da bacia do Rio Urucu, Coari, Amazonas, Brasil*. 2007. 96 f. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2007.
13. CHASAR, L.C. et al. Mercury cycling in streams ecosystems 3. Trophic dynamics and methylmercury bioaccumulation. *Environmental Science Technology*, v. 43, p 2733-2739, 2009.
14. BELGER, L.; FORSBERG, B. R. Factors controlling Hg levels in two predatory fish species in the Negro river basin, Brazilian Amazon. *Science of the Total Environment* . v.367, p. 451–459, 2006.
15. MAURO, J.B., GUIMARÃES J.R.D.; MELAMED, R. Mercury methylation in a tropical macrophyte: Influence of abiotic parameters. *Applied Organometallic chemistry*, v. 13, p. 631-636, 1999.

- 16.VIANA, E.M.S. *Avaliação dos níveis de mercúrio total em esponjas na Região do baixo do Rio Tapajós, Santarém, Pará, Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso. 50f. Ciências Biológicas. Universidade Federal do Pará, Santarém, 2009.
- 17.PELEJA, J. R. P. *Os fatores que influem no nível de mercúrio na água e plâncton de lagos associados aos rios Tapajós e Negro*. 2002.75p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – Fundação Universidade do Amazonas, Amazonas, 2002.
- 18.BISINOTI, M.C.; JARDIM, W. F. O comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente. *Química Nova*, v. 27, n. 4, p. 593-600, 2004.
- 19.MIRANDA, M.R.; COELHO-SOUZA, S. A.; GUIMARÃES, J. R. D.; CORREIA, R. R. S.; OLIVEIRA, D. Mercúrio em sistemas aquáticos: fatores ambientais que afetam a metilação. *Oecol. Bras.*, v. 11, n. 2, p. 240-251, 2007.
- 20.UNEP, UNITED NATIONS ENVIROMENTS PROGRAM. *Global trends in generation and transboundary movements and hazardous wastes and other wastes*, Switzerland, 2002. Disponível em: <<http://www.chem.unep.ch/mercury/>> Acesso em: 02/ set./2009.
- 21.SOARES, J. L. F.; GOCH, Y.G.F.; PELEJA, J.R.P.; FORSBERG, B.R.; LEMOS, E.J.S SOUSA, O.P Bioacumulação de Mercúrio Total (HgT) e hábitos alimentares de peixes da bacia do Rio Negro, Amazônia, Brasil. *Biota Amazônia*, Macapá, v. 6, n. 1, p. 102-106, 2016.
- 22.KUTTER, V. T. *Aspectos da Biogeoquímica do Mercúrio em lagos na planície costeira do sul do Rio Grande do Sul*. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2006.
- 23.LIMA, A.P.S.; MÜLLER, R.C.S.; SARKIS, J. E.S.; ALVES, C.N.;BENTES, M.H.S.; BRABO, E.; SANTOS, E.O Mercury contamination in fish from Santarém, Pará, Brazil. *Environmental Research Section A*, v. 83, p. 117-122, 2000.
- 24.ROCHA, W.S.; OLIVEIRA, J. R. L.; SANTOS, F. B. *Aspectos alimentares e reprodutivos da piaba *Hyphessobrycon vinaceus* na Reserva Florestal do Poço Escuro em Vitória da Conquista, Bahia*. 2009. Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil, São Lourenço – MG, 2009.
- 25.SABINO, J. Comportamento de peixes em riachos: métodos de estudo para uma abordagem naturalística. p.183-208. In: CARAMASCHI, E. P.; MAZZONI, R.; P.R PERES-NETO (eds). *Ecologia de peixes de riachos*. Série Oecologia Brasiliensis, vol. VI. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 1999
- 26.FISHBASE. 2019. Disponível em: <<http://www.fishbase.org/>> Acesso em: 09 de junho de 2019.
- 27.ESTEVES, K. E.; ARANHA, J. M. R. Ecologia trófica de peixes de riachos. p.157-182. In: CARAMASCHI, E. P.; MAZZONI, R.; P.R PERES-NETO (eds). *Ecologia de peixes de riachos*. Série Oecologia Brasiliensis, vol. VI. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 1999.

- 28.NESSIMIAN, J.L.; DORVILLÉ, L.F.M.; SANSEVERINO, A.M.; BAPTISTA, D.F. Relation between flood pulse and functional composition of macroinvertebrates benthic fauna in the lower Rio Negro. Amazonas Brasil. *Amazoniana* v.15, p. 35-50, 1998.
- 29.LANDEIRO, V.L. *Efeitos dos macroconsumidores (peixes e camarões) sobre a assembléia de insetos aquáticos e na taxa de degradação de folhas em riachos de floresta de terra firme, Amazônia Central*. 2006.54f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Fundação Universidade do Amazonas, Amazonas, 2006.
- 30.LOWE-MCCONNELL, R.H. *Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Tropicais*. São Paulo: EDUSP, 1999. 536p.
- 31.MARVIN-DIPASQUALE, M.; LUTZ, M. A.; BRIGHAM, M. E.; KRABBENHOFT, D. P.; AIKEN, G. R.; OREM, W. H.; HALL, B. D. Mercury cycling in stream ecosystems. 2. Benthic methylmercury production and bed sediment – pore water partitioning. *Environmental Science Technology*, v. 43, p 2726-2732, 2009.
- 32.FARIAS, R. A. *A piscicultura como possível fator de mitigação aos riscos de contaminação mercurial através do consumo de peixes na região da Amazônia norte matogrossense*. 2007.67 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, São Paulo, 2007.
- 33.*Relatório Ambiental Preliminar das Áreas de Concessão Florestal do Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns (RAP)*. Relatório Final. Belém, Pará, 2010,123p.