

Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil

Daniel Pandilha de LIMA^{1*}, Cesar SANTOS², Roberto de Souza SILVA¹, Eliane Tie Oba YOSHIOKA², Roberto Messias BEZERRA³

¹ Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical – PPGBio. Rodovia Juscelino Kubitschek, km 2, s/n, Jardim Marco Zero, CEP: 68.903-419, Macapá, AP, Brasil.

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Amapá, Setor de Pesca e Aquicultura. Rodovia Juscelino Kubitschek, km 5, 2600, Universidade, CEP: 68903-419, Macapá, AP, Brasil.

³ Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, Laboratório de Absorção Atômica e Bioprospecção. Rodovia Juscelino Kubitschek, km 2, s/n, Jardim Marco Zero, CEP: 68.903-419, Macapá, AP, Brasil.

* Autor correspondente: danielpandilha@yahoo.com.br

RESUMO

A participação dos metais pesados nas reações químicas do metabolismo dos peixes tornou esses elementos um dos principais focos nos estudos de contaminação. O objetivo deste estudo foi determinar as concentrações dos metais Cd, Cr, Cu, Pb, Zn e Hg no tecido muscular de peixes da bacia do rio Cassiporé (Estado do Amapá) e ambiente, visando avaliar os riscos de contaminação. As concentrações de Cd em *Plagioscion squamosissimus* (1,061 $\mu\text{g g}^{-1}$) e Pb em *Poptella compressa* (4,280 $\mu\text{g g}^{-1}$) apresentaram valores que ultrapassam os limites estabelecidos pela legislação brasileira. As concentrações de Cr em *P. compressa* (0,937 \pm 0,5 $\mu\text{g g}^{-1}$), *Pimelodella cristata* (0,463 \pm 0,03 $\mu\text{g g}^{-1}$) e *Cyphocharax gouldingi* (0,364 \pm 0,12 $\mu\text{g g}^{-1}$), bem como de Hg em *P. squamosissimus* (0,670 $\mu\text{g g}^{-1}$), *Pseudoplatystoma fasciatum* (0,630 $\mu\text{g g}^{-1}$), *Hoplias malabaricus* (0,570 $\mu\text{g g}^{-1}$) e *Serrasalmus rhombeus* (0,548 $\mu\text{g g}^{-1}$) foram acima do limite legal. A coluna d'água apresentou altas concentrações de metais pesados em todos os pontos analisados, mostrando uma contaminação dessa bacia. Portanto, essas elevadas concentrações de metais pesados no ambiente e tecido muscular dos peixes indicam um elevado grau de contaminação na bacia do rio Cassiporé e risco a saúde do homem.

PALAVRAS-CHAVE: comunidade ribeirinha, cromo, ictiofauna, mercúrio, risco a saúde.

Heavy metal contamination in fish and water from Cassiporé River basin, State of Amapá, Brazil

ABSTRACT

Heavy metals participate in chemical reactions of fish metabolism, which makes these elements a major focus on contamination studies. The objective of this study was to determine the concentrations of heavy metals Cd, Cr, Cu, Pb, Zn and Hg in muscle tissue of fish of Cassiporé River Basin (State of Amapá) and environment, aiming at assessing the risk of contamination. The concentrations of Cd in *Plagioscion squamosissimus* (1.061 $\mu\text{g g}^{-1}$) and Pb in *Poptella compressa* (4.280 $\mu\text{g g}^{-1}$) had values that exceed the boundaries established by Brazilian law. The Cr concentration in *P. compressa* (0.937 \pm 0.5 $\mu\text{g g}^{-1}$), *Pimelodella cristata* (0.463 \pm 0.03 $\mu\text{g g}^{-1}$) and *Cyphocharax gouldingi* (0.364 \pm 0.12 $\mu\text{g g}^{-1}$) and Hg in *P. squamosissimus* (0.670 $\mu\text{g g}^{-1}$), *Pseudoplatystoma fasciatum* (0.630 $\mu\text{g g}^{-1}$), *Hoplias malabaricus* (0.570 $\mu\text{g g}^{-1}$) e *Serrasalmus rhombeus* (0.548 $\mu\text{g g}^{-1}$) were above the legal limit. The water column showed high concentrations of heavy metals in all analyzed points, showing a contamination of this river basin. Therefore, the high concentrations of heavy metals in the environment and muscle tissue of fish indicate a high degree of contamination in the Cassiporé river basin and risk to human health.

KEYWORDS: riverside community, chrome, fish fauna, mercury, health risk.

INTRODUÇÃO

Os metais pesados têm número atômico e massa elevados e participam em reações químicas do metabolismo celular (Manahan 1992). Em altas concentrações no meio aquático demonstram alto poder acumulativo na biota (Atli e Canli 2010). Dentre esses organismos se destacam os peixes, foco de vários estudos sobre contaminação de metais, pois absorvem tanto os metais essenciais, como não essenciais, a partir da água e pela ingestão de alimento, retendo-os em seu tecido muscular (Pereira *et al.* 2010; Jabeen *et al.* 2012; Mert *et al.* 2014).

Por serem um importante recurso proteico e fazerem parte da composição alimentar humana, os peixes representam uma das principais fontes de ingestão de metais para o homem via cadeia alimentar. Contudo, para entender o potencial risco dos metais para a ictiofauna e seus consumidores em uma região é necessário determinar a concentração de metais nos peixes e no meio em que estes vivem (Burger *et al.* 2002; Lima Jr *et al.* 2002; Yi e Zang 2012).

Efluentes domésticos e industriais, substâncias químicas de pesticidas e fungicidas utilizados na agricultura e rejeitos da exploração mineral são grandes fontes de metais para o sistema aquático (Pyle *et al.* 2005; Moiseenko e Kudryavtseva 2011). Na região amazônica o rejeito liberado pela extração mineral de ouro nos garimpos é apontado como o principal responsável pela contaminação dos recursos hídricos e da biota aquática (Lima *et al.* 2000; Nevado *et al.* 2010; Barros *et al.* 2011); no Estado do Amapá essa realidade não é diferente. (Bidone *et al.* 1997; Guimarães *et al.* 1999).

Na região a montante da bacia do rio Cassiporé situa-se uma das áreas mais importantes de exploração mineral do Estado do Amapá; sendo o distrito de Lourenço a base dessas atividades e um dos locais fortemente impactados pela atividade garimpeira no Estado. O garimpo em Lourenço tem mais de um século de atividade, tendo o ouro como o principal recurso extraído, e desde o seu início, em 1893, toneladas de mercúrio já foram liberadas para o ambiente (Mathis *et al.* 1997; Pinto *et al.* 1999). Além disso, no solo desta região tem-se altos níveis de Al (28 ppm), Fe (>200 ppm), Cd (43 ppm), Cr (90 ppm), Pb (93 ppm), Ni (100 ppm) e Zn (260 ppm) associados ao ouro e disponíveis nos horizontes ferrosos e aluminosos (Costa 1992) os quais são liberados em córregos, igarapés e rios devido a sua exploração.

Apesar do reconhecido descontrole e impacto da atividade garimpeira a montante da bacia do rio Cassiporé, e por esta ser de extrema importância para sobrevivência das diversas comunidades ribeirinhas ao longo do seu curso, nenhum estudo referente à contaminação por metais pesados na biota e no meio aquático foi realizado nesta área; nem mesmo àqueles para concessão de lavras. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar as concentrações dos metais Cd, Cr, Cu, Pb, Zn e Hg no tecido muscular de peixes da

bacia do rio Cassiporé (Estado do Amapá) e ambiente, visando avaliar os riscos de contaminação.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi realizada na bacia do rio Cassiporé (BRC), situada na porção norte do Estado do Amapá, com uma área de 5.796,00 km². O principal rio desta bacia é o rio Cassiporé que possui 210 km de extensão e corre no sentido centro/norte com foz para Oceano Atlântico, desaguardo na altura do Cabo Cassiporé. A área da BRC está inserida em três importantes unidades de conservação: Floresta Estadual do Amapá - FLOTA (70%), Parque Nacional do Cabo Orange - PNCO (27%) e Terra Indígena Uaçá (3%), sendo de suma importância para conservação da biodiversidade do Estado do Amapá e da Amazônia (Figura 1).

A área da BRC apresenta clima tropical do tipo úmido e superúmido, com temperatura média anual de 29°C variando entre mínima de 21°C e máxima de 34°C. A umidade relativa do ar é de 80% e é marcada por dois períodos sazonais distintos: o período chuvoso, de janeiro a julho (pluviosidade média de 3.000 mm) e o período seco, de agosto a dezembro (média de 190 mm).

Na região do distrito de Lourenço a montante da BRC, os rejeitos da atividade garimpeira são despejados diretamente nos cursos d'água sem nenhum tratamento, caindo primeiramente nos pequenos córregos e igarapés que desaguam no rio Reginá e este ao rio Cassiporé. Esse percurso dos rejeitos serviu de pressuposto para determinação dos pontos amostrais com diferentes impactos pela mineração, a saber: Lourenço (LO), altamente impactado; Ponte Cassiporé (PC), com impacto moderado; Vila Velha (VV), com baixo impacto; Vila Taperebá (VT), não impactado (Figura 1). O primeiro ponto de coleta de amostras está situado no rio Reginá e os demais no rio Cassiporé.

Coleta e preparo das amostras

Os peixes foram capturados em quatro pontos ao longo do curso d'água principal da bacia do rio Cassiporé (Figura 1), nos meses de junho (período chuvoso) e dezembro (período seco) de 2012; as épocas de cheia e seca dos rios na região, respectivamente. Nas coletas foram utilizados caniços, linha de mão, redes de pesca e tarrafas, sendo os peixes capturados e armazenados em gelo até a chegada à base de apoio do Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade - ICMBio, localizada na Vila Taperebá na área pertencente ao PNCO, onde os peixes foram medidos, pesados e realizada a retirada de amostras de músculo. A diversidade de petrechos amostrais possibilitou coletar peixes de todos os níveis tróficos, bem como, aqueles consumidos ou não pela população local, permitindo avaliar o maior número possível de espécies.

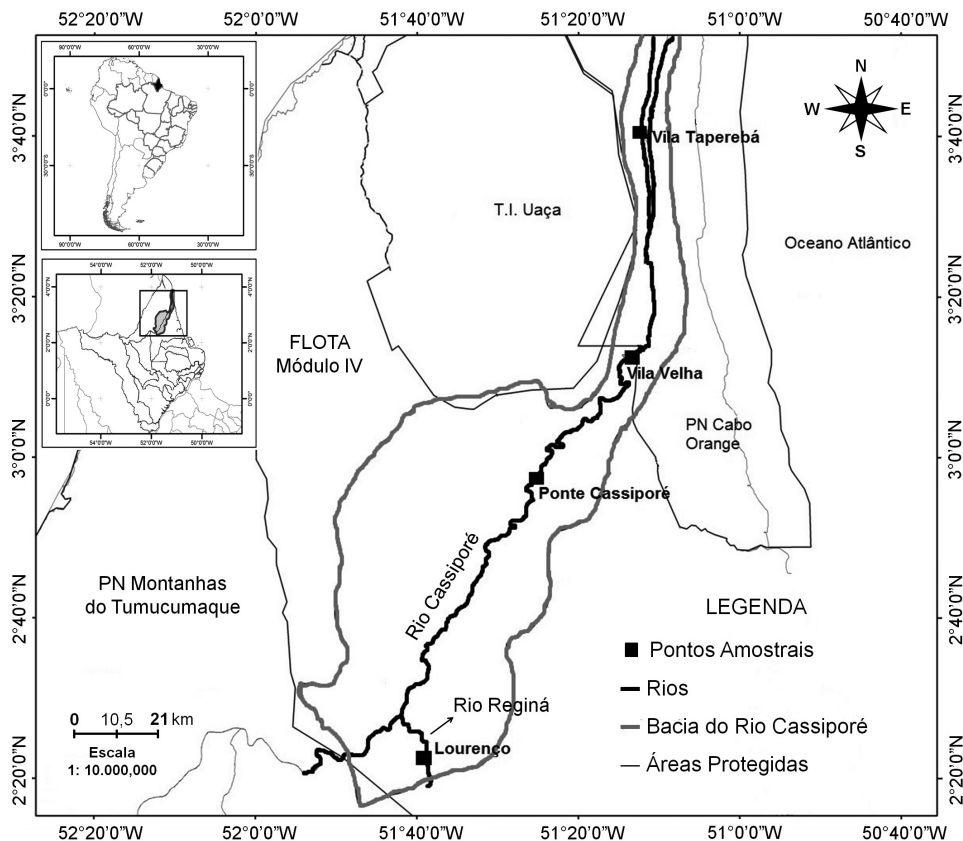


Figura 1. Ilustração da bacia do rio Cassiporé com os pontos amostrais em sua extensão.

Após a identificação e biometria, amostras de 20 g do tecido muscular dorso lateral esquerdo foram retiradas de cada exemplar de peixe, com posterior armazenamento em frascos e manutenção -18 °C e transporte ao Laboratório de Aquicultura e Pesca, Embrapa Amapá, Macapá (AP). Em laboratório, o preparo das amostras de músculo foi realizado conforme método de Carvalho *et al.* (2000). Após a digestão, as amostras foram transferidas para balões volumétricos no qual foi novamente diluído ao volume de 50 mL com água deionizada, sendo filtradas em papel quantitativo e armazenadas até o momento da leitura por espectrofotometria.

Amostras de água também foram coletadas nos mesmos locais e épocas de coleta da biota, a uma profundidade de 50 cm da superfície num volume de 0,5 L em recipientes plásticos de mesmo volume e previamente esterilizados. Em seguida adicionou-se 1 mL de HNO₃ para manter as propriedades físicas e químicas da água (APHA 2012). Em laboratório foi retirada uma alíquota de 100 mL de cada amostra em erlenmeyers de 250 mL, que foram levados à placa aquecedora (150 °C) para digestão química até o volume atingir 20 mL no final do processo, sendo que foram adicionados 5 mL de HNO₃ a cada 15 minutos para facilitar a digestão. As amostras foram diluídas novamente até 100 mL com água deionizada,

posteriormente filtradas em papel quantitativo e armazenadas em recipientes de vidro para leitura dos metais.

Análise das amostras

A leitura das concentrações de Cd, Cr, Cu, Pb e Zn foram realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica (AA-6300, Shimadzu, Quioto, Japão) e a de Hg em analisador semiautomático de mercúrio (Hg-201, Sanso Seisakusho Co. Ltd., Tóquio, Japão). Para controle e exatidão do método, materiais de referência foram empregados no início de cada lote e após cada 10 amostras analisadas, utilizando para Cd, Cr, Cu, Pb e Zn padrões NIST-USA e para o Hg, padrão DORM-2 músculo de Dogfish do “Marine Analytical Chemistry Standard Programs” do Canadá. Os materiais de referência, empregados para acurácia da metodologia, apresentaram recuperações variando de 92 a 108 %, demonstrando boa exatidão do método.

As Concentrações Máximas Permitidas (CMP) utilizadas neste estudo são as estabelecidas pelo Ministério da Saúde do Brasil, pelo qual avaliou-se o risco para saúde pública das pessoas e dos peixes. Valores médios e desvio padrão dos dados foram obtidos por meio de análises estatística descritiva no software Bioestat 5.0.

RESULTADOS

No total foram analisados 246 exemplares de peixes pertencentes a 55 espécies diferentes. A maior parte constituiu-se de indivíduos onívoros ($n = 83$; 37,3%) e carnívoros ($n = 82$; 33,3%) seguidos por herbívoro (18,7%; $n = 46$), insetívoro ($n = 25$; 10,2%) e detritívoro (4,1%; $n = 10$). Entre os pontos amostrais, Ponte Cassiporé obteve o maior percentual de indivíduos capturados (31,3%; $n = 77$) (Tabela 1). As concentrações dos metais no músculo dos peixes variaram

significativamente entre as espécies (Tabela 2) e por isso são analisadas separadamente a posteriori.

Em todas as espécies de peixes a concentração de Cd apresentou-se abaixo da CMP estabelecida pela Legislação Brasileira (Tabelas 2 e 3). Entretanto, avaliando os espécimes individualmente, exemplares de *Plagioscion squamosissimus* (pescada branca) apresentaram concentrações acima da CMP, 0,510 e 0,670 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabela 4), manifestando certo grau de contaminação.

Tabela 1. Nome científico das espécies, nome comum, número de indivíduos coletados (n), nível trófico (N.T.) e local de captura dos peixes amostrados na bacia do rio Cassiporé. As espécies estão listadas em ordem alfabética. LO = Lourenço, PC = Ponte Cassiporé, VV = Vila Velha e VT = Vila Taperebá.

| Espécies | Nome comum | n | N. T. | Local | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-----|-------------|-------|----|----|----|
| | | | | LO | PC | VV | VT |
| <i>Acestrorhynchus falcatus</i> | Uéua | 3 | Carnívoro | X | | | |
| <i>Ageneiosus ucayalensis</i> | Mandubé | 2 | Carnívoro | | X | X | |
| <i>Anableps anableps</i> | Tralhoto | 3 | Onívoro | | | | X |
| <i>Aspredo aspredo</i> | Rebeca | 3 | Detritívoro | | | | X |
| <i>Astyanax bimaculatus</i> | Matupiri vermelho | 2 | Herbívoro | X | X | | |
| <i>Astyanax sp.</i> | Matupiri | 2 | Herbívoro | X | X | | |
| <i>Bagre bagre</i> | Bandeirado | 1 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Brachyplatystoma rousseauxii</i> | Dourada | 2 | Carnívoro | | X | | X |
| <i>Brachyplatystoma vaillantii</i> | Piramutaba | 1 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Bryconops caudomaculatus</i> | João duro | 7 | Insetívoro | X | | | |
| <i>Cathorops spixii</i> | Uricica | 1 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Crenicichla ternetzi</i> | Jacundá | 1 | Carnívoro | X | | | |
| <i>Crenicichla saxatilis</i> | Jacundá | 2 | Carnívoro | | X | | |
| <i>Crenicichla sp.</i> | Jacundá | 1 | Carnívoro | | X | | |
| <i>Curimata cyprinoides</i> | Branquinha | 4 | Detritívoro | | X | X | |
| <i>Cyphocharax aff. spilurus</i> | Piaba | 3 | Herbívoro | X | | | |
| <i>Cyphocharax gouldingi</i> | Piaba | 6 | Herbívoro | X | | | |
| <i>Cyphocharax spilurus</i> | Piaba | 8 | Herbívoro | X | | | |
| <i>Doras micropoeus</i> | Peixe cutia | 1 | Detritívoro | | X | | |
| <i>Eigenmannia trilineata</i> | Ituí | 4 | Insetívoro | X | | | |
| <i>Eigenmannia virescens</i> | Ituí navalha | 5 | Insetívoro | | | | X |
| <i>Guianacara geayi</i> | Acará | 7 | Onívoro | X | | | |
| <i>Hoplias aimara</i> | Trairão | 2 | Carnívoro | | X | | |
| <i>Hoplias malabaricus</i> | Traíra | 8 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Hypostomus ventromaculatus</i> | Acari | 2 | Detritívoro | | | | X |
| <i>Hypselecara temporalis</i> | Acará vermelho | 2 | Onívoro | | X | | |
| <i>Krobia guianensis</i> | Acará | 2 | Onívoro | X | | | |
| <i>Leporinus friderici</i> | Aracu piau | 5 | Onívoro | X | X | | |

| Espécies | Nome comum | n | N. T. | Local | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----|------------|-------|----|----|----|
| | | | | LO | PC | VV | VT |
| <i>Megalops atlanticus</i> | Pirapema | 2 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Moenkhausia surinamensis</i> | Matupiri | 1 | Herbívoro | X | | | |
| <i>Moenkhausia grandisquamis</i> | Matupiri cascudo | 11 | Herbívoro | | X | | |
| <i>Mugil incilis</i> | Tainha | 4 | Onívoro | | | | X |
| <i>Myleus rhomboidalis</i> | Pacu curupeté | 4 | Herbívoro | | X | | |
| <i>Myleus torquatus</i> | Pacu curupeté | 1 | Herbívoro | | X | | |
| <i>Myloplis rubripinnis</i> | Pacu branco | 1 | Herbívoro | X | | | |
| <i>Pellona flavipinnis</i> | Sarda | 6 | Carnívoro | | X | X | X |
| <i>Pimelodella eigenmanni</i> | Mandi branco | 2 | Onívoro | | | | X |
| <i>Pimelodella cristata</i> | Jandiá | 39 | Onívoro | X | X | X | |
| <i>Pimelodella geryi</i> | Lambisca | 1 | Onívoro | | X | | |
| <i>Pimelodus blochii</i> | Mandi bagre | 18 | Onívoro | | X | X | X |
| <i>Pimelodus ornatus</i> | Mandi casaca | 2 | Onívoro | X | X | | |
| <i>Plagioscion squamosissimus</i> | Pescada branca | 14 | Carnívoro | | X | X | X |
| <i>Poptella compressa</i> | Matupiri | 7 | Herbívoro | X | | | |
| <i>Potamotrygon hystrix</i> | Raia | 1 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | Surubim | 2 | Carnívoro | | X | X | |
| <i>Pygocentrus nattereri</i> | Piranha vermelha | 12 | Carnívoro | | X | X | |
| <i>Rhamdia quelen</i> | Jandiá do mangue | 2 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Sciades couma</i> | Bagre | 9 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Sciades passany</i> | Tacariúna | 1 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Sciades proops</i> | Bagre branco | 2 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Serrasalmus eigenmanni</i> | Piranha amarela | 1 | Carnívoro | | X | | |
| <i>Serrasalmus rhombeus</i> | Piranha preta | 2 | Carnívoro | | | | X |
| <i>Serrasalmus spilopleura</i> | Piranha branca | 2 | Carnívoro | | X | | |
| <i>Sternopygus macrurus</i> | Ituí | 9 | Insetívoro | | | | X |

Tabela 2. Concentrações (média \pm desvio padrão), em $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco, de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn e Hg) nas diferentes espécies de peixes capturadas na bacia do Rio Cassiporé. *n* é número de indivíduos analisados de cada espécie. Em negrito estão destacados os valores acima do limite permitido pela legislação brasileira. N/M = Não Mensurado.

| Espécies | <i>n</i> | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn | Hg |
|---------------------------|----------|--------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|
| <i>A. anableps</i> | 3 | 0,017 \pm 0,003 | 0,026 \pm 0,001 | 0,040 \pm 0,005 | 0,180 \pm 0,02 | 0,400 \pm 0,05 | N/M |
| <i>A. aspredo</i> | 3 | 0,011 \pm 0,010 | 0,038 \pm 0,001 | 0,030 \pm 0,002 | 0,071 \pm 0,06 | 0,404 \pm 0,10 | 0,091 \pm 0,004 |
| <i>A. bimaculatus</i> | 2 | 0,007 \pm 0,002 | 0,009 \pm 0,006 | 0,064 \pm 0,002 | 0,099 \pm 0,02 | 0,433 \pm 0,04 | 0,135 \pm 0,004 |
| <i>A. falcatus</i> | 3 | 0,010 \pm 0,006 | 0,346 \pm 0,02 | 0,063 \pm 0,01 | 0,125 \pm 0,07 | 0,352 \pm 0,12 | 0,320 \pm 0,06 |
| <i>A. ucayalensis</i> | 2 | 0,004 \pm 0,002 | 0,012 \pm 0,004 | 0,044 \pm 0,02 | 0,127 \pm 0,01 | 0,143 \pm 0,003 | N/M |
| <i>Astyanax sp.</i> | 2 | 0,007 \pm 0,002 | 0,002 \pm 0,001 | 0,018 \pm 0,002 | 0,068 \pm 0,02 | 0,999 \pm 0,12 | N/M |
| <i>B. bagre</i> | 1 | 0,034 | 0,008 | 0,057 | 0,244 | 1,073 | N/M |
| <i>B. caudomaculatus</i> | 7 | 0,013 \pm 0,005 | 0,070 \pm 0,01 | 0,043 \pm 0,01 | 0,187 \pm 0,06 | 0,647 \pm 0,10 | 0,050 \pm 0,001 |
| <i>B. rousseauxii</i> | 2 | 0,033 \pm 0,01 | 0,015 \pm 0,005 | 0,064 \pm 0,03 | 0,158 \pm 0,12 | 0,143 \pm 0,01 | 0,225 \pm 0,10 |
| <i>B. vaillantii</i> | 1 | 0,016 | 0,035 | 0,038 | 0,196 | 0,294 | 0,0001 |
| <i>C. aff. spilurus</i> | 3 | 0,005 \pm 0,003 | 0,173 \pm 0,10 | 0,050 \pm 0,01 | 0,051 \pm 0,04 | 0,638 \pm 0,04 | 0,200 ^b |
| <i>C. cyprinoides</i> | 4 | 0,008 \pm 0,006 | 0,082 \pm 0,008 | 0,068 \pm 0,02 | 0,068 \pm 0,03 | 0,267 \pm 0,07 | N/M |
| <i>C. gouldingi</i> | 6 | 0,016 \pm 0,005 | 0,136 \pm 0,02 | 0,048 \pm 0,005 | 0,093 \pm 0,04 | 0,763 \pm 0,12 | 0,205 \pm 0,01 |
| <i>C. spilurus</i> | 8 | 0,012 \pm 0,005 | 0,098 \pm 0,0 | 0,052 \pm 0,01 | 0,156 \pm 0,08 | 0,585 \pm 0,18 | 0,203 \pm 0,07 |
| <i>C. ternetzi</i> | 1 | 0,010 | 0,006 | 0,015 | 0,023 | 1,234 | 0,230 |
| <i>C. saxatilis</i> | 2 | 0,002 \pm 0,0002 | 0,125 \pm 0,01 | 0,044 \pm 0,02 | 0,096 \pm 0,03 | 0,463 \pm 0,23 | 0,250 \pm 0,02 |
| <i>C. spixii</i> | 1 | 0,032 | 0,010 | 0,030 | 0,203 | 0,264 | N/M |
| <i>Crenicichla sp</i> | 1 | 0,002 | 0,252 | 0,006 | 0,120 | 0,609 | 0,200 |
| <i>D. micropoeus</i> | 1 | 0,013 | 0,006 | 0,014 | 0,106 | 0,172 | N/M |
| <i>E. trilineata</i> | 4 | 0,013 \pm 0,002 | 0,016 \pm 0,01 | 0,052 \pm 0,006 | 0,134 \pm 0,07 | 1,138 \pm 0,51 | 0,345 \pm 0,02 |
| <i>E. virescens</i> | 5 | 0,021 \pm 0,002 | 0,027 \pm 0,002 | 0,050 \pm 0,02 | 0,180 \pm 0,06 | 0,583 \pm 0,03 | N/M |
| <i>G. geayi</i> | 7 | 0,008 \pm 0,003 | 0,062 \pm 0,01 | 0,030 \pm 0,003 | 0,057 \pm 0,02 | 0,979 \pm 0,20 | 0,108 \pm 0,01 |
| <i>H. aimara</i> | 2 | 0,0012 \pm 0,005 | 0,080 \pm 0,001 | 0,047 \pm 0,02 | 0,092 \pm 0,04 | 0,162 \pm 0,04 | 0,535 \pm 0,03 |
| <i>H. ventromaculatus</i> | 2 | 0,009 \pm 0,001 | 0,025 \pm 0,01 | 0,052 \pm 0,006 | 0,065 \pm 0,05 | 0,193 \pm 0,01 | N/M |
| <i>H. malabaricus</i> | 8 | 0,033 \pm 0,005 | 0,026 \pm 0,01 | 0,048 \pm 0,02 | 0,141 \pm 0,08 | 0,286 \pm 0,17 | 0,329 \pm 0,11 |
| <i>H. temporalis</i> | 2 | 0,005 \pm 0,002 | 0,245 \pm 0,003 | 0,040 \pm 0,002 | 0,120 \pm 0,006 | 0,455 \pm 0,03 | N/M |
| <i>K. guianensis</i> | 2 | 0,012 \pm 0,008 | 0,291 \pm 0,03 | 0,045 \pm 0,03 | 0,044 \pm 0,02 | 0,855 \pm 0,09 | 0,190 ^b |
| <i>L. friderici</i> | 5 | 0,008 \pm 0,004 | 0,065 \pm 0,01 | 0,030 \pm 0,002 | 0,113 \pm 0,02 | 0,190 \pm 0,05 | 0,235 \pm 0,04 |
| <i>M. atlanticus</i> | 2 | 0,030 \pm 0,0004 | 0,010 \pm 0,005 | 0,019 \pm 0,005 | 0,220 \pm 0,003 | 0,390 \pm 0,13 | 0,001 \pm 0,0004 |
| <i>M. incilis</i> | 4 | 0,026 \pm 0,006 | 0,016 \pm 0,004 | 0,040 \pm 0,002 | 0,201 \pm 0,02 | 0,360 \pm 0,04 | N/M |
| <i>M. rhomboidalis</i> | 4 | 0,005 \pm 0,001 | 0,146 \pm 0,04 | 0,020 \pm 0,008 | 0,096 \pm 0,006 | 0,160 \pm 0,11 | N/M |
| <i>M. surinamensis</i> | 1 | 0,008 | 0,267 | 0,063 | 0,101 | 0,167 | N/M |
| <i>M. torquatus</i> | 1 | 0,003 | 0,006 | 0,051 | 0,085 | 0,151 | N/M |
| <i>M. grandisquamis</i> | 11 | 0,024 \pm 0,02 | 0,058 \pm 0,01 | 0,043 \pm 0,02 | 0,138 \pm 0,07 | 0,255 \pm 0,18 | 0,180 \pm 0,02 |
| <i>M. rubripinnis</i> | 1 | 0,013 | 0,021 | 0,071 | 0,072 | 0,234 | 0,140 |
| <i>P. blochii</i> | 18 | 0,017 \pm 0,002 | 0,071 \pm 0,009 | 0,032 \pm 0,02 | 0,149 \pm 0,07 | 0,201 \pm 0,12 | 0,203 \pm 0,01 |
| <i>P. compressa</i> | 7 | 0,014 \pm 0,001 | 0,525 \pm 0,06 | 0,077 \pm 0,06 | 1,580 \pm 0,29 | 0,881 \pm 0,76 | 0,102 \pm 0,05 |
| <i>P. eigenmanni</i> | 2 | 0,050 \pm 0,001 | 0,018 \pm 0,003 | 0,048 \pm 0,003 | 0,272 \pm 0,006 | 0,040 \pm 0,002 | 0,090 \pm 0,01 |
| <i>P. cristata</i> | 39 | 0,006 \pm 0,004 | 0,131 \pm 0,01 | 0,047 \pm 0,007 | 0,081 \pm 0,04 | 0,408 \pm 0,27 | 0,213 \pm 0,09 |
| <i>P. fasciatum</i> | 2 | 0,034 \pm 0,02 | 0,006 \pm 0,001 | 0,061 \pm 0,02 | 0,175 \pm 0,01 | 0,099 \pm 0,07 | 0,530 \pm 0,08 |
| <i>P. flavipinnis</i> | 6 | 0,017 \pm 0,007 | 0,014 \pm 0,01 | 0,037 \pm 0,02 | 0,052 \pm 0,03 | 0,127 \pm 0,04 | 0,335 \pm 0,02 |
| <i>P. geryi</i> | 1 | 0,008 | 0,161 | 0,012 | 0,134 | 0,623 | N/M |
| <i>P. hystrix</i> | 1 | 0,022 | 0,007 | 0,079 | 0,175 | 0,261 | N/M |
| <i>P. nattereri</i> | 12 | 0,046 \pm 0,001 | 0,053 \pm 0,007 | 0,036 \pm 0,02 | 0,073 \pm 0,04 | 0,182 \pm 0,07 | 0,365 \pm 0,06 |
| <i>P. ornatus</i> | 2 | 0,008 \pm 0,006 | 0,411 \pm 0,09 | 0,042 \pm 0,02 | 0,123 \pm 0,03 | 0,094 \pm 0,04 | 0,330 \pm 0,05 |
| <i>P. squamosissimus</i> | 14 | 0,460 \pm 0,05 | 0,013 \pm 0,006 | 0,045 \pm 0,03 | 0,102 \pm 0,04 | 0,127 \pm 0,04 | 0,508 \pm 0,10 |
| <i>R. quelen</i> | 2 | 0,011 \pm 0,001 | 0,034 \pm 0,001 | 0,022 \pm 0,001 | 0,006 \pm 0,003 | 0,228 \pm 0,04 | N/M |
| <i>S. eigenmanni</i> | 1 | 0,005 | 0,073 | 0,062 | 0,113 | 0,253 | 0,210 |
| <i>S. couma</i> | 9 | 0,022 \pm 0,010 | 0,012 \pm 0,006 | 0,044 \pm 0,01 | 0,130 \pm 0,09 | 0,681 \pm 0,49 | 0,047 \pm 0,03 |
| <i>S. macrurus</i> | 9 | 0,024 \pm 0,01 | 0,056 \pm 0,04 | 0,048 \pm 0,020 | 0,235 \pm 0,08 | 0,951 \pm 0,61 | 0,110 \pm 0,08 |

Tabela 2. Continuação

| Espécies | n | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn | Hg |
|-----------------------|---|---------------|----------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| <i>S. passany</i> | 1 | 0,024 | 0,036 | 0,067 | 0,203 | 0,985 | 0,0009 |
| <i>S. proops</i> | 2 | 0,021 ± 0,002 | 0,006 ± 0,004 | 0,059 ± 0,02 | 0,206 ± 0,003 | 1,147 ± 0,06 | 0,008 ± 0,001 |
| <i>S. rhombeus</i> | 2 | 0,004 ± 0,002 | 0,041 ± 0,001 | 0,087 ± 0,003 | 0,070 ± 0,03 | 0,168 ± 0,03 | 0,459 ± 0,04 |
| <i>S. spilopleura</i> | 2 | 0,005 ± 0,003 | 0,236 ± 0,001 | 0,029 ± 0,003 | 0,120 ± 0,006 | 0,415 ± 0,06 | 0,165 ± 0,03 |

Tabela 3. Limites admissíveis da concentração de metais pesados em peixes estabelecidos pela legislação brasileira.

| Metais | Cd | Cr | Cu | Hg | Pb | Zn |
|---------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Concentração µg g ⁻¹ | 1,0 ^{a,b} | 0,1 ^b | 30,0 ^b | 0,5 ^{a,b} | 2,0 ^{a,b} | 50,0 ^b |

^aANVISA, Portaria nº 685, de 27 de agosto de 1998;

^bBRASIL, Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965.

Tabela 4. Concentrações de metais pesados (média ± desvio padrão) encontrados acima do limite permitido por lei em peixes coletados na bacia do Rio Cassiporé. n é número de indivíduos da espécie com concentrações acima do tolerável. Espécies com nomes repetidos representam locais diferentes. CP = comprimento padrão, P = peso corpóreo, Cc = concentração em µg g⁻¹ de peso seco.

| Metal | Espécies | n | CP (cm) | P (g) | Cc | Ponto | |
|---------------------|--------------------------|-------------------|-------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Cd | <i>P. squamosissimus</i> | 4 | 32,6 ± 3,1 | 715,1 ± 183,6 | 1,061 ± 0,38 | Vila Velha | |
| Cr | <i>A. falcatus</i> | 3 | 17,3 ± 5,5 | 195 ± 18,7 | 0,346 ± 0,03 | Lourenço | |
| | <i>B. caudomaculatus</i> | 2 | 8,45 ± 0,04 | 8,85 ± 0,04 | 0,216 ± 0,08 | Lourenço | |
| | <i>C. aff. spilurus</i> | 2 | 9,9 ± 0,08 | 25,65 ± 0,12 | 0,258 ± 0,001 | Lourenço | |
| | <i>C. cyprinoides</i> | 1 | 18,5 | 165,7 | 0,232 | Ponte Cassiporé | |
| | <i>C. gouldingi</i> | 2 | 11,0 ± 0,2 | 36,55 ± 0,2 | 0,364 ± 0,12 | Lourenço | |
| | <i>C. spilurus</i> | 3 | 10,1 ± 0,6 | 30,9 ± 5,6 | 0,249 ± 0,01 | Lourenço | |
| | <i>C. saxatilis</i> | 1 | 16,0 | 59,5 | 0,245 | Ponte Cassiporé | |
| | <i>Crenicichla sp.</i> | 1 | 12,0 | 24,3 | 0,256 | Ponte Cassiporé | |
| | <i>G. geayi</i> | 1 | 8,6 | 22,3 | 0,378 | Lourenço | |
| | <i>H. temporalis</i> | 2 | 10,8 ± 0,2 | 51,6 | 0,245 ± 0,003 | Ponte Cassiporé | |
| | <i>K. guianensis</i> | 1 | 8,9 | 30,9 | 0,578 | Lourenço | |
| | <i>L. friderici</i> | 1 | 15,5 | 99,9 | 0,290 | Ponte Cassiporé | |
| | <i>M. rhomboidalis</i> | 3 | 11,4 ± 1,5 | 86,5 ± 28,7 | 0,183 ± 0,02 | Ponte Cassiporé | |
| | <i>M. surinamensis</i> | 1 | 9,3 | 24,6 | 0,267 | Lourenço | |
| | <i>M. grandisquamis</i> | 2 | 8,9 ± 0,6 | 25,1 ± 5,7 | 0,281 ± 0,08 | Ponte Cassiporé | |
| | Pb | <i>P. blochii</i> | 2 | 15,5 ± 1,9 | 69,9 ± 16,1 | 0,218 | Vila Velha |
| | | <i>P. blochii</i> | 2 | 18,9 ± 4,7 | 121,5 ± 34,4 | 0,386 | Ponte Cassiporé |
| <i>P. compressa</i> | | 5 | 7,5 ± 0,4 | 11,7 ± 1,8 | 0,937 ± 0,5 | Lourenço | |
| <i>P. cristata</i> | | 15 | 12,4 ± 4,9 | 29,8 | 0,206 | Ponte Cassiporé | |
| <i>P. cristata</i> | | 4 | 12,3 ± 1,06 | 21,4 ± 4,9 | 0,463 ± 0,03 | Lourenço | |
| <i>P. geryi</i> | | 1 | 10,5 | 14,1 | 0,160 | Ponte Cassiporé | |
| <i>P. nattereri</i> | | 2 | 13,8 ± 1,8 | 163,5 ± 46,8 | 0,214 ± 0,04 | Ponte Cassiporé | |
| <i>P. ornatus</i> | | 1 | 22,0 | 153,2 | 0,303 | Ponte Cassiporé | |
| <i>P. ornatus</i> | | 1 | 18,0 | 74,0 | 0,520 | Lourenço | |
| <i>S. macrurus</i> | | 1 | 51,0 | 219,0 | 0,363 | Vila Velha | |
| Hg | <i>S. spilopleura</i> | 2 | 11,5 ± 1,2 | 51,5 ± 6,5 | 0,236 ± 0,002 | Ponte Cassiporé | |
| | <i>P. compressa</i> | 1 | 7,5 | 11,7 | 4,2800 | Lourenço | |
| | <i>H. aimara</i> | 2 | 36,8 ± 0,5 | 846,5 ± 63,5 | 0,540 | Ponte Cassiporé | |
| | <i>H. malabaricus</i> | 1 | 36,0 | 975,5 | 0,570 | Vila Velha | |
| | <i>P. fasciatum</i> | 1 | 56,7 | 1497,5 | 0,630 | Ponte Cassiporé | |
| | <i>P. squamosissimus</i> | 1 | 40,0 | 1336,0 | 0,670 | Ponte Cassiporé | |
| | <i>P. squamosissimus</i> | 1 | 36,5 | 976,1 | 0,510 | Vila Velha | |
| | <i>S. rhombeus</i> | 1 | 22,5 | 415,4 | 0,548 | Vila Velha | |

Para o Cr, 13 espécies (Tabela 2) apresentaram concentrações acima da CMP (Tabela 3), com destaque para *Poptella compressa* (matupiri; $0,525 \pm 0,06 \mu\text{g g}^{-1}$), *Pimelodus ornatus* (mandi casaca; $0,411 \pm 0,09 \mu\text{g g}^{-1}$) e *Acestrorhynchus falcatus* (uéua; $0,346 \pm 0,02 \mu\text{g g}^{-1}$) que tiveram as maiores concentrações. Estas três espécies, na mesma ordem, foram as que obtiveram maiores concentrações de Cr quando avaliado separadamente os indivíduos, $0,937 \pm 0,5$, $0,520$ e $0,346 \pm 0,03 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente. Nessa avaliação o número de espécies contaminadas pelo Cr aumenta consideravelmente para 23 espécies (Tabela 4), que representa elevada biodisponibilidade deste metal no meio aquático causando alto nível de contaminação.

Diferente do ocorrido para o Cr, nenhuma espécie ou indivíduo (Tabelas 2 e 4) capturados no presente estudo apresentaram concentrações de Cu e Zn acima do limite estipulado pela legislação brasileira (Tabela 3).

As concentrações de Pb nas espécies de peixes avaliadas apresentaram-se em níveis abaixo da CMP, exceto para a espécie *P. compressa*, que teve valor próximo do limite permitido ($1,580 \pm 0,29 \mu\text{g g}^{-1}$; Tabelas 2 e 3). Contudo, foi registrado um indivíduo com a concentração de Pb muito acima da CMP ($4,280 \mu\text{g g}^{-1}$; Tabela 4), sendo um indicativo da forte presença deste metal na região de Lourenço.

Para o Hg, as maiores concentrações foram encontradas nas espécies de peixes que estão no topo da cadeia alimentar aquática como; *Hoplias aimara* (trairão; $0,535 \pm 0,03 \mu\text{g g}^{-1}$), *Pseudoplatystoma fasciatum* (surubim; $0,530 \pm 0,08 \mu\text{g g}^{-1}$) e *P. squamosissimus* ($0,508 \pm 0,10 \mu\text{g g}^{-1}$) no qual estavam acima da CMP (Tabelas 2 e 3). Coincidentemente, espécimes de outras espécies também tiveram concentrações de Hg acima do limite legal, a exemplo de *Hoplias malabaricus* (traíra; $0,570 \mu\text{g g}^{-1}$) e *Serrasalmus rhombeus* (piranha preta; $0,548 \mu\text{g g}^{-1}$) (Tabela 4).

Com exceção do Zn, todos os metais apresentaram concentrações na água acima do limite estabelecido pela legislação brasileira (Tabela 5), sendo estas de Cd: $0,164 \pm 0,04$; Cr: $2,693 \pm 2,16$; Cu: $0,377 \pm 0,03$; Pb: $1,187 \pm 0,57$ e Hg: $0,040 \pm 0,06 \text{ mg L}^{-1}$. Contudo, foram constatadas concentrações de Zn em Vila Velha ($0,195 \text{ mg L}^{-1}$) e Vila Taperebá ($0,188 \text{ mg L}^{-1}$) acima do tolerável, enquanto que

o Hg ($0,0001 \text{ mg L}^{-1}$) em Vila Taperebá teve concentração abaixo do nível de referência.

DISCUSSÃO

Concentrações metais pesados em peixes

O Cd é um metal não essencial, de alta toxicidade e de difícil excreção (Kalay e Canli 2000; Costa e Hartz 2009). Mesmo em níveis baixos, como encontrado nas espécies deste estudo (Tabela 2), pode causar disfunção fisiológica em peixes impossibilitando sua sobrevivência no ambiente (Lima Jr *et al.* 2002). O fato do Cd ser encontrado acima da CMP em indivíduos de *P. squamosissimus*, é um reflexo de seu incremento no ambiente aquático da região pela ação dos garimpos e por outras fontes antrópicas locais. Os níveis de Cd no solo das áreas garimpadas na BRC são altos (43 ppm; Costa 1992), e no processo de lavra e beneficiamento do ouro esse metal é desprendido do solo, concentrado e liberado junto com os rejeitos no curso d'água, como já evidenciado na região de garimpo de Poconé – MT (Rodrigues-Filho e Maddock 1997).

No rio Gelado, na região de Carajás - PA, os peixes carnívoros avaliados (mesmo nível trófico de *P. squamosissimus*) também apresentaram altas concentrações de Cd ($>1,67 \mu\text{g g}^{-1}$), sendo a principal fonte deste metal os rejeitos liberados pela mineração na água (Barros *et al.* 2011), reforçando o reportado anteriormente neste trabalho. Logo, para este metal, maior cuidado deve ser adotado pela população quanto ao consumo de *P. squamosissimus*. As demais espécies apresentaram índices de Cd aceitáveis para consumo humano sem risco de contaminação.

Concentrações de Cr acima de $0,1 \mu\text{g g}^{-1}$ em peixes são consideradas prejudiciais ao animal e oferece risco aos seus consumidores (Lima Jr *et al.* 2002). Portanto, o fato de 23 espécies de peixes terem apresentado níveis de Cr acima do permitido (Tabelas 2 e 4), indica que o meio está fortemente impactado por esse metal, que apresenta grande potencial de bioacumulação quando disponível (Yi e Zang 2012). Outro ponto que reflete tal situação é a concentração de Cr na água estar 50 vezes acima do aceitável por lei (Tabela 5).

Tabela 5. Concentração (média \pm desvio padrão, DP), valores mínimo e máximo dos metais pesados na água (em mg L^{-1}), com os respectivos limites de referência. *n* representam o número de amostras analisadas.

| | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn | ²¹⁰ Hg |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| n | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 4 |
| Média \pm DP | $0,164 \pm 0,04$ | $2,693 \pm 2,16$ | $0,377 \pm 0,03$ | $1,187 \pm 0,57$ | $0,139 \pm 0,07$ | $0,040 \pm 0,06$ |
| Mín-Máx | 0,027-0,813 | 0,243-6,530 | 0,028-1,030 | 0,433-2,160 | 0,029-0,195 | 0,0001-0,150 |
| Limites ^a | 0,001 | 0,050 | 0,009 | 0,010 | 0,180 | 0,0002 |

^aLimites estabelecidos pelo CONAMA, resolução n° 357, de 17 de março de 2005; ^bConcentrações apenas da coleta no período seco.

Apesar do Cr fazer parte da geoquímica local (Costa 1992), a principal fonte de liberação deste contaminante para o ambiente aquático é por meio de fontes antropogênicas ao longo do curso d'água analisado, em especial pela atividade garimpeira. Uma evidência para isso foi a maior captura de espécies contaminadas nos pontos de Lourenço e Ponte Cassiporé (Tabela 4), presentes na região garimpada e próxima a ela, respectivamente. Barros *et al.* (2011) também encontrou altas concentrações de Cr nos peixes em locais próximos às áreas de mineração na região de Carajás, a saber: *Cicla spp* ($2,88 \pm 1,28 \mu\text{g g}^{-1}$), *Potamorhina spp* ($7,33 \pm 2,10 \mu\text{g g}^{-1}$) e *Sarrasalmus spp* ($1,95 \pm 0,93 \mu\text{g g}^{-1}$).

A maior disponibilização do Cr na água torna-o mais susceptível à absorção pelos peixes diretamente pela água ou indiretamente pelo alimento ingerido, além disso, a locomoção do organismo no ambiente, tempo e local de exposição e hábito alimentar interferem na sua acumulação (Ikem *et al.* 2003; Repula *et al.* 2012). Entretanto, esses fatores não aparentam ter influência na absorção de Cr nos peixes da BRC, visto a variedade de espécies capturadas de distintos níveis tróficos em diferentes locais (Tabelas 1, 2 e 4). Contudo, o risco de contaminação por Cr para as pessoas que vivem na BRC é alto, visto a diversidade de espécies existentes com níveis elevados do referido metal e que são de consumo diário da população ribeirinha.

As concentrações de Cu e de Zn encontradas no tecido muscular dos peixes não ameaça a saúde dos mesmos e não representa risco de contaminação para a população local, pois ficaram bem abaixo da CMP. De acordo com Kalay e Canli (2000) e Pereira *et al.* (2010) os metais Cu e Zn são elementos essenciais para o organismo e são facilmente regulados pelo metabolismo sendo difícil seus acúmulos.

O Pb não apresenta efeitos benéficos ou nutricionais para os organismos, sendo extremamente tóxico (Repula *et al.* 2012; Yi e Zang 2012). Neste estudo, foram observadas baixas concentrações nos peixes avaliados (Tabela 2), exceto na espécie *P. compressa*. Devido a abundância de matéria orgânica (MO) no local de captura de *P. compressa*, pode ocorrer desta espécie estar-se alimentando de MO (que faz parte de sua dieta alimentar, Planquette *et al.* 1996) com elevada concentração de Pb, que tem alto poder de fixação à MO (Kpee *et al.* 2009). Além disso, o solo da região é rico em Pb (93 ppm; Costa 1992) que pode ser liberado na água em maiores proporções durante as atividades garimpeiras, aumentando a disponibilidade no meio hídrico e consequente acúmulo pela biota. Espécies herbívoras com alimentação a base de MO em certos períodos do ano, também mostraram altas concentrações de Pb em seus tecidos musculares próximo de áreas contaminadas pela mineração na região de Kola, Rússia (Moiseenko e Kudryavtseva 2011). O risco de contaminação por Pb da população na BRC é baixo, mas não pode ser

descartada, pois a população local não se alimenta diretamente de *P. compressa*, mas das espécies de peixes que a predam, o que causa os processos de bioacumulação e biomagnificação. Por consequência, essas espécies predadoras com alta concentração de Pb são capturadas e consumidas pela população.

O Hg é considerado o mais tóxico dos metais pesados e, por isso, é alvo de vários estudos próximos às áreas de exploração mineral (Bidone *et al.* 1997; Barros *et al.* 2011; Terán-Mita *et al.* 2013). Em todos esses estudos, a contaminação por Hg é preocupante e evidenciada principalmente nos peixes predadores. Essa tendência foi comprovada neste estudo, em que, as espécies *H. aimara* ($0,540 \mu\text{g g}^{-1}$), *H. malabaricus* ($0,570 \mu\text{g g}^{-1}$), *P. fasciatum* ($0,630 \mu\text{g g}^{-1}$), *P. squamosissimus* ($0,670 \mu\text{g g}^{-1}$) e *S. rhombeus* ($0,548 \mu\text{g g}^{-1}$) apresentaram altas concentrações de Hg no tecido muscular (Tabela 4). Todas essas espécies são de hábito carnívoro (Tabela 1) e estão no topo da cadeia alimentar aquática (Lima *et al.* 2000, 2005), acumulando assim a carga de Hg transferida ao longo da cadeia e pelo alimento ingerido, processos conhecidos como biomagnificação e bioacumulação (Mason *et al.* 2000). Além disso, a liberação de Hg nos cursos d'água da BRC pelos garimpos já acontece há mais de um século (Mathis *et al.* 1997; Pinto *et al.* 1999), estando este metal presente no meio em uma taxa elevada, propiciando sua acumulação pelos organismos aquáticos.

As concentrações de Hg nos peixes abaixo da CMP no ponto de Lourenço foram contrárias ao esperado, pois o local apresenta diversas áreas de garimpo que lançam este elemento nos cursos d'água durante extração do ouro sem nenhum tratamento. Contudo, as baixas concentrações de Hg podem ser explicadas pelo nível trófico dos peixes capturados na região de Lourenço, composto em sua maioria por espécies herbívoras (Tabela 1). Estudos demonstram que peixes insetívoros e herbívoros apresentam menores taxas de acumulação de Hg, devido a suas dietas serem à base de larvas de insetos, vegetais e algas, alimentos estes, que bioacumulam pouco Hg em função da sua proximidade com a base da cadeia alimentar (Lima *et al.* 2000; Bastos *et al.* 2007, 2008; Nevado *et al.* 2010). O risco de contaminação por Hg nos peixes é alto pela biodisponibilidade deste metal no meio aquático, e a exposição ao Hg das pessoas residentes nas comunidades ao longo da BRC segue a mesma proporção; pois, pelo presente estudo as principais espécies de peixes consumidas pelas comunidades são: *H. aimara*, *H. malabaricus*, *P. fasciatum* e *P. squamosissimus* que apresentaram níveis de Hg acima da CMP.

Concentrações metais pesados na água

A concentração de metais acima da CMP na água da BRC evidência a contaminação do meio hídrico desta bacia. A existência da atividade garimpeira na bacia (região de Lourenço) por vários anos ininterruptos é um importante fator para esse agravante. Segundo Fostier *et al.* (2000) a liberação

de metais para o meio hídrico em área de extração mineral alcança 9.3 $\mu\text{g m}^{-2}$ por ano para o Hg e 2.1 $\mu\text{g m}^{-2}$ por ano para Mg, Fe, Mn e Zn. Além disso, durante os processos de lavra e beneficiamento do ouro em áreas de garimpo, elementos como Cu, Pb e Zn são concentrados e liberados diretamente nos cursos d'água, como verificado em áreas com histórico de contaminação (Rodrigues-Filho e Maddock, 1997; Cesar *et al.* 2009). Contaminação da água por Hg em área com influência de atividade garimpeira também foi constatado por Bidone *et al.* (1997) em águas do Rio Tartarugalzinho (0,75 mg L^{-1}), assim como Fostier *et al.* (2000) em Serra do Navio (2.6 mg L^{-1}).

A presença de fazendas agropecuárias, moradias, comunidades ribeirinhas e atividades de agricultura ao longo da BRC, podem ter contribuído para contaminação da água pelos metais. Pois os impactos ambientais gerados por estes fatores antropogênicos, como: substâncias orgânicas (fezes animal), resíduos e efluentes domésticos e descapagem do solo (desflorestamento), não estão centradas em um único local e sim, em toda área da BRC, o que proporciona liberação mais uniforme de metais na água. Tais fatores antrópicos e seus impactos também são apontados em diversos estudos como meios de contaminação da água por metais, fruto da liberação desses elementos nos rios (Ikem *et al.* 2003; Kpee *et al.* 2009; Moiseenko e Kudryavtseva 2011). Perante os fatos evidenciados, necessita-se que os estudos posteriores deem prosseguimento ao presente trabalho, aprofundando as análises dos metais pesados nos diferentes compartimentos ambientais e tempo de residência destes elementos no ambiente.

CONCLUSÕES

As concentrações de Cu e Zn no músculo dos peixes não implicam em risco para as pessoas e os próprios organismos. As altas concentrações de Cd e Pb nas espécies *P. squamosissimus* e *P. compressa*, respectivamente, reflete a ação da atividade garimpeira na liberação de metais nos corpos hídricos da região estudada. Fato, sustentado também em decorrência das altas concentrações, acima dos limites tolerados pela legislação, de Cr e Hg nos peixes, bem como, alta concentração de todos os metais na coluna d'água. No decorrer dos anos, os efeitos ambientais e na saúde humana poderão ser crônicos, com grandes riscos à saúde da população devido ao consumo de peixes e água contaminada. Trabalhos futuros deverão estender as amostragens até a plataforma continental, locais onde são pescadas diversas espécies de peixes consumidas pela população em todo o país e que podem estar contaminadas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pela concessão de bolsa (processo n° 134747/2011-9). Ao projeto REDD+FLOTA pelo financiamento. Ao ICMBio

Oiapoque pela logística e auxílio de campo. Ao Laboratório de Absorção Atômica e Bioprospecção (LAAB/UNIFAP) pela análise dos metais. Ao Laboratório de Toxicologia Humana e Ambiental (LATOXU/UFPA) pela análise de Hg.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- American Public Health Association - APHA. 2012. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22nd ed. AWWA, Washington, 1496p.
- Atli, G.; Canli, M. 2010. Response of antioxidant system of freshwater fish *Oreochromis niloticus* to acute and chronic metal (Cd, Cu, Cr, Zn, Fe) exposures. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73: 1884-1889.
- Barros, B.C.V.; Pinheiro, S.F.; Palheta, D.C.; Silva, C.S. 2011. Cd, Cr and Al determination in fish tissue from Gelado river/APA, Carajás - PA florest. *HOLOS Environment*, 10: 195-208.
- Bastos, W.R.; Almeida, R.; Dórea, J.G.; Barbosa, A.C. 2007. Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted rio Madeira (Amazon). *Ecotoxicology*, 16: 341-346.
- Bastos, W.R.; Rebelo, M.F.; Fonseca, M.F.; Almeida, R.; Malm, O. 2008. A description of mercury in fishes from the Madeira river basin, Amazon, Brazil. *Acta Amazonica*, 36: 431-438.
- Bidone, E.D.; Castilhos, Z.C.; Santos, T.J.S.; Souza, T.M.C.; Lacerda, L.D. 1997. Fish contamination and human exposure to mercury in Tartarugalzinho river, Amapa State, northern Amazon, Brazil. A screening approach. *Water, Air and Soil Pollution*, 97: 9-15.
- Burger, J.; Gaines, K.F.; Boring, C.S.; Stephens Jr., W.L.; Snodgrass, J.; Dixon, C. 2002. Metal levels in fish from the Savannah river: potential hazards to fish and other receptors. *Environmental Research*, 89: 85-97.
- Carvalho, C.E.V.; Faria, V.V.; Cavalcante, M.P.O.; Gomes, M.P.; Rezende, C.E. 2000. Heavy metal distribution in benthic coastal fish from Macaé region, R.J., Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Restoration*, 3: 64-68.
- Cesar, R.G.; Egler, S.G.; Polivanov, H.; Rodrigues, A.P.C.; Fernandes, V.A.; Silva, M.B.; Castilhos, Z.C.; Araujo, P.C. 2009. *Metais pesados em solos e sedimentos fluviais em antiga área de garimpo de ouro em Descoberto, Minas Gerais*. CETEM, Rio de Janeiro, 19p.
- Costa, J.A.V. 1992. *Geoquímica dos lateritos auríferos do Morro da Mina - Cassiporé (Amapá)*. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 119p.
- Costa, S.C.C.; Hartz, S.M. 2009. Evaluation of trace metals (cadmium, chromium, copper and zinc) in tissues of a commercially important fish (*Leporinus obtusidens*) from Guaíba lake, southern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52: 241-250.
- Fostier, A.H.; Forti, M.C.; Guimarães, J.R.D.; Melfi, A.J.; Boulet, R.; Santo, C.M.; Krug, F.J. 2000. Mercury fluxes in a natural forested Amazonian catchment, Serra do Navio, Amapá State, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 260: 201-211.
- Guimarães, J.R.D.; Fostier, A.H.; Forti, M.C.; Melfi, J.A.; Kehrig, H.; Mauro, J.B.N.; Malm, O.; Krug, J.F. 1999. Mercury in

- human and environmental samples from two lakes in Amapá, Brazilian Amazon. *Ambio*, 28: 296-301.
- Ikem, A.; Egiebos, N.O.; Nyavor, K. 2003. Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee lake, southeastern USA. *Water, Air and Soil Pollution*, 149: 51-75.
- Jabeen, G.; Javed, M.; Azmat, H. 2012. Assessment of heavy metals in the fish collected from the river Ravi, Pakistan. *Pakistan Veterinary Journal*, 32: 107-111.
- Kalay, M.; Canli, M. 2000. Elimination of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) metals from tissues of a freshwater fish *Tilapia zilli*. *Turkish Journal of Zoology*, 24: 429-436.
- Kpee, F.; Ozioma, E.; Ihunwo, L. 2009. Seasonal variation of Cd, Ni, Cu and Pb in catfish, sediment and water samples from Ipo stream in Ikwere District of rivers State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 13: 63-67.
- Lima Jr, R.G.S.; Araújo, F.G.; Maia, M.F.; Pinto, A.S.S.B. 2002. Evaluation of heavy metals in fish of the Sepetiba and Ilha Grande bays, Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Research*, 89: 171-179.
- Lima, A.P.S.; Muller, R.C.S.; Sarkis, J.E.S.; Alves, C.N.; Bentes, M.H.S.; Brabo, E.; Santos, E.O. 2000. Mercury contamination in fish from Santarém, Pará, Brazil. *Environmental Research*, 83: 117-122.
- Lima, A.P.S.; Sarkis, J.E.S.; Shimatsu, H.M.; Muller, R.C.S. 2005. Mercury and selenium concentrations in fish samples from Cachoeira do Piriá Municipality, Pará State, Brazil. *Environmental Research*, 97: 236-244.
- Manahan, S.E. 1992. *Toxicology Chemistry*, 2nd ed. Lewis Publishers, Michigan, 520p.
- Mason, R.P.; Laporte, J.M.; Andres, S. 2000. Factors controlling the bioaccumulation of mercury, methylmercury, arsenic, selenium, and cadmium by freshwater invertebrates and fish. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 38: 283-297.
- Mathis, A.; Brito, D.C.; Brüseke, F.J. 1997. *Riqueza volátil: a mineração de ouro na Amazônia*. Cejup, Belém, 290p.
- Mert, R.; Alas, A.; Bulut, S.; Özcan, M.M. 2014. Determination of heavy metal contents in some freshwater Fishes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186: 8017-8022.
- Moiseenko, T.I.; Kudryavtseva, L.P. 2011. Trace metal accumulation and fish pathologies in areas affected by mining and metallurgical enterprises in the Kola region, Russia. *Environmental Pollution*, 114: 285-297.
- Nevado, J.J.B.; Martín-Doimeadios, R.C.R.; Bernardo, F.J.G.; Moreno, M.J. 2010. Mercury in the Tapajós river basin, Brazilian Amazon: A review. *Environment International*, 36: 598-608.
- Pereira, P.; Pablo, H.; Pacheco, M. 2010. Vale The relevance of temporal and organ specific factors on metals accumulation and biochemical effects in feral fish (*Liza aurata*) under a moderate contamination scenario. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73: 805-816.
- Pinto, J.; Farias, R.; Santos, J.; Martins, J.; Leal, V. 1999. *Garimpo do Lourenço: um século de conflitos na extração do ouro*. Monografia de Especialização, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 95p.
- Planquette, P.; Keith, P.; Le Bail, P.Y. 1996. *Atlas des poissons d'eau douce de Guyane, Tome 1*. IEGB-MNHN/INRA-IRD, Paris, 429p.
- Pyle, G.G.; Rajotte, J.W.; Couture, P. 2005. Effects of industrial metals on wild fish populations along a metal contamination gradient. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 61: 287-312.
- Repula, C.M.M.; Campos, B.K.; Ganzarolli, E.M.; Lopes, M.C.; Quináia, S.P. 2012. Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. *Química Nova*, 32: 905-909.
- Rodrigues-Filho, S.; Maddock, J.E.L. 1997. Assessment of the heavy metal pollution in a gold "garimpo". *Tecnologia Ambiental*, 7: 1-32.
- Terán-Mita, T.A.; Faz, A.; Salvador, F.; Arocena, J.M.; Acosta, J. A. 2013. High altitude artisanal small-scale gold mines are hot spots for mercury in soils and plants. *Environmental Pollution*, 173: 103-109.
- Yi, Y.; Zang, S. 2012. Heavy metal (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) concentrations in seven fish species in relation to fish size and location along the Yangtze river. *Environmental Science and Pollution Research*, 19: 3989-3996.

Recebido em 13/10/2014

Aceito em 30/03/2015