

AVALIAÇÃO DA BIOACUMULAÇÃO DE METAIS EM *Cyprinus carpio* PELA INTERAÇÃO COM SEDIMENTO E ÁGUA DE RESERVATÓRIO**Carmen Lúcia Voigt^{a,*}, Cleber Pinto da Silva^a e Sandro Xavier de Campos^a**^aDepartamento de Química, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 84030-900 Ponta Grossa – PR, Brasil

Recebido em 12/09/2015; aceito em 24/10/2015; publicado na web em 05/02/2016

ASSESSMENT OF BIOACCUMULATION OF METALS IN *Cyprinus carpio* BY INTERACTION WITH SEDIMENT AND WATER IN A RESERVOIR. Bioaccumulation of Ag, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn was determined in the gills and liver of *Cyprinus carpio* and related to concentrations in the sediment and water of the Alagados Reservoir, Ponta Grossa/Paraná. Cd and Fe exceeded the legal limit for water. Fe was the most abundant metal in the reservoir's water and sediment. The metals in the sediment were below the level of probable adverse effects on biota. There were no significant differences between sampling sites for water and sediment. Liver and gills had higher concentrations of Al, Fe and Zn, with a significant increase in Al ($P > 0.05$) compared to the increase in weight and size of the specimens. Statistically, gills showed higher concentrations of Al, Cd, Co, Cr, Mn and Zn and liver higher concentrations of Cu and Fe. Co, Cu, Fe, Mn and Zn showed significant differences ($P < 0.01$) between the organs. The bioaccumulation factors (BAF) showed that the interaction of water with gills promotes greater accumulation of metals in this organ. Despite the low concentrations in the reservoir, bioaccumulation of metals in gills and liver of *C. carpio* occurs by its interaction with contaminated water and sediment, respectively.

Keywords: metals; bioaccumulation; sediment; water; *Cyprinus carpio*.**INTRODUÇÃO**

Metais ocorrem na natureza, mas as atividades humanas têm contribuído para aumento do nível de suas concentrações em muitos dos ecossistemas aquáticos naturais, tornando-os biodisponíveis. Os metais diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos por não possuírem caráter de biodegradação, de maneira que podem acumular-se nos componentes ambientais onde manifestam sua toxicidade.¹

Os sedimentos são excelentes reservatórios ou fontes de metais além de outras substâncias químicas; são considerados substratos para uma grande variedade de organismos que vivem na água, os quais processam matéria orgânica, e servem de alimento para níveis tróficos superiores.² A maior fração de metais é imobilizada nos sedimentos sob formas não biodisponíveis, levando a um decréscimo na concentração disponível para a biota.³ Entretanto, existe liberação de metais dos sedimentos para os corpos d'água, podendo haver um enriquecimento destes constituintes nestes sistemas, tornando-os biodisponíveis, ou seja, capazes de serem incorporados por organismos (inclusive o homem) que direta ou indiretamente estão em contato com ou fazem uso dos recursos hídricos.⁴ Portanto, a biodisponibilidade dos metais no sedimento ou compartimentos abióticos é a fração da concentração de metal total que pode ser assimilada pelos organismos.⁵

A bioacumulação é um dos processos mais importantes dentre as diversas consequências da presença de metais nos ecossistemas aquáticos, pois os metais se acumulam nos organismos a partir da exposição direta ao sedimento ou água, ou seja, contato com compartimento contaminado, ou progressivamente pela cadeia trófica, indicando assimilação via alimentação.⁶ Muitos organismos apresentam um forte potencial para bioacumular níveis elevados de metais a partir de seu ambiente. Monitorar e avaliar a qualidade de ambientes aquáticos através do uso de bioindicadores tem sido objeto de considerável interesse nos últimos anos, devido à preocupação de que os níveis elevados dos metais podem ter efeitos prejudiciais sobre

vários organismos através da bioacumulação.^{7,8} Estudo⁹ em peixe (*Geophagus brasiliensis*) do Reservatório de Alagados apresentou bioacumulação de metais em seus órgãos, tornando interessante avaliação em outra espécie.

Cyprinus carpio, conhecido como carpa comum, é uma espécie que pode ser usada como bioindicador de poluição ambiental. São omnívoras, alimentando-se, principalmente, de zooplâncton e zoolentos, resíduos, sedimentos e partes de plantas aquáticas, aceitando e convertendo bem os mais variados tipos de alimentos de origem animal ou vegetal.¹⁰ Diversas razões contribuem e explicam sua distribuição e estudo por todo planeta: esta espécie apresenta uma grande tolerância tanto no que se diz respeito à temperatura, desde 4 °C até 35 °C, como à qualidade da água, tolerando baixos níveis de oxigênio dissolvido. Portanto é capaz de viver em todos os tipos de águas com correntes lentas ou paradas, sendo um importante peixe de água doce resistente a ambientes altamente poluídos.¹⁰⁻²¹

Vários estudos avaliaram contaminação por metais em órgãos de *Cyprinus carpio*, realizando comparação com outras espécies em ambientes iguais ou diferentes, mostrando concentração dos metais na água e sedimento para avaliar a poluição por estes contaminantes.¹³⁻¹⁷

Outros estudos de *Cyprinus carpio* foram realizados nas partes comestíveis do peixe para comparação da bioacumulação de metais em relação a outras espécies, devido a espécie ser muito difundida como peixe de criação para consumo humano.¹⁸⁻²⁰ Estes estudos mostraram que *C. carpio* acumula metais em altas concentrações dependendo do ambiente e para isto utilizou-se espécimes com tamanhos semelhantes para comparação com outras espécies. No entanto há poucos relatos de avaliação de contaminação por metais em *C. carpio* que possuem diferentes pesos e tamanhos²¹ e que correlacionem à bioacumulação dos metais em seus órgãos em relação com água e sedimento. Portanto, a proposta deste trabalho foi avaliar a bioacumulação dos metais Cu, Mn, Zn, Fe, Co, Cd, Cr, Ag, Pb, Ni e Al em fígado e brânquias de espécimes de *Cyprinus carpio* relacionando com a interação com o sedimento e água do Reservatório de Alagados em Ponta Grossa/PR, Brasil.

*e-mail: carmenluvoigt@yahoo.com.br

PARTE EXPERIMENTAL

Área de estudo

O Reservatório de Alagados (Figura 1) é uma barragem artificial que serve de abastecimento de água para três municípios do Paraná. As atividades agrícola e agropecuária são as principais fontes de poluição e com o passar dos anos, o reservatório tornou-se eutrófico.²² Possui extensão aproximada de 15 km, largura média de 500 metros e profundidade variando de 15 metros na região próxima à barragem e de 2 a 5 metros no restante da área.²³

Coleta e preparo de amostras

Devido às características do reservatório, selecionaram-se os pontos de coleta de água e sedimento com base no nível de impactação do mesmo. Para captura dos espécimes de *C. carpio* optou-se por apenas um ponto, devido possível movimentação dos peixes em toda a extensão do reservatório abrangendo todos os pontos amostrados.

As coletas foram realizadas em 2013, ao início do período seco, a Figura 1 exhibe os quatro pontos de amostragem de água e sedimento (P1, P2, P3 e P4), coletados no dia 25 de março utilizando coletor Eckman-Birge para sedimento e saquitos estéreis para água. A água foi superficialmente coletada adicionando-se ácido nítrico, mantendo

pH abaixo de 2 para conservação da mesma e o sedimento coletado na parte mais profunda de cada ponto. Dezoito espécimes de *Cyprinus carpio* foram capturadas em três datas devido dificuldade de pesca (3, 5 e 10 espécimes capturados nos dias 31/03, 25/05 e 31/05, respectivamente). As carpas foram capturadas em rede de espera malha 10, sendo a rede disposta em um único ponto central no reservatório, indicado com asterisco na Figura 1, localizado entre os pontos P2 e P3 da coleta de sedimento.

Os peixes coletados foram anestesiados com MS-222 (1 g L⁻¹) e sacrificados por secção medular, em seguida pesados e medidos antes da separação do fígado e das brânquias; estes órgãos, juntamente com sedimento, foram armazenados em freezer a -20 °C e posteriormente liofilizados (Terroni[®]), sendo armazenados em dessecador até realização das digestões para análises. O fígado e brânquias foram selecionados para o estudo devido serem órgãos-alvo da intoxicação aguda por metais em peixes. O contato direto das brânquias com o ambiente aquático a torna um órgão indicador no que diz respeito à contaminação ambiental, sendo particularmente sensíveis à presença de contaminantes no meio e os primeiros a reagir às condições desfavoráveis de um ambiente. Em estudos de impacto ambiental, as brânquias apresentam diversas alterações patológicas indicativas como hiperplasia da células de revestimento, o desenvolvimento do epitélio interlamelar e o início de fusão apical das lamelas. O fígado participa intensamente do metabolismo animal promovendo a síntese

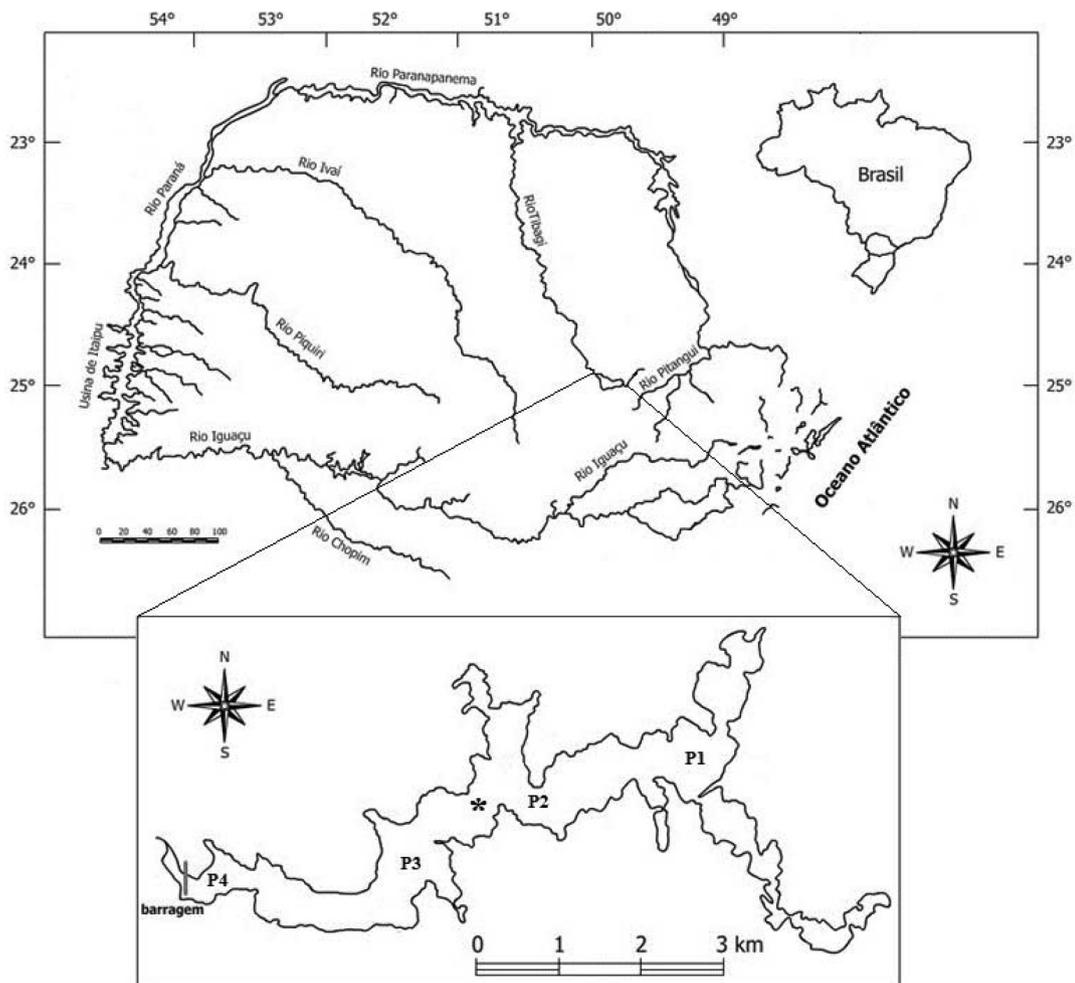


Figura 1. Reservatório de Alagados, Paraná, Brasil. Amostragem água e sedimento: início do reservatório (P1 = latitude 24°59'40" S e longitude 49°59'36" O); margens com agricultura (P2 = latitude 25°00'23" S e longitude 50°00'46" O); margens com início de habitações (P3 = latitude 25°01'03" S e longitude 50°02'08" O) e próximo à barragem, no fim das habitações (P4 = latitude 25°01'08" S e longitude 50°03'39" O). Amostragem *C. carpio* (*=latitude 25°00'43" S e longitude 50°01'33" O)

e detoxicação. Contudo, em peixes super expostos a contaminantes observa-se alterações histopatológicas no fígado, como: presença de centro de melanomacrófagos, melanomacrófagos livres, hemorragia, infiltração leucocitária, vacuolização e necrose.^{24,25}

Para as amostras de água utilizou-se digestão pelo método US-EPA 3005A,²⁶ que consiste em transferir 100 mL da amostra para bequer, adicionar 10 mL de HCl e 10 mL de HNO₃ concentrados p.a., tampar com vidro de relógio e levar ao aquecimento em chapa até redução de volume para 50 mL. Para obtenção dos metais pseudo-totais utilizou-se digestão pelo método US-EPA 3050B para as amostras de sedimento e *Cyprinus carpio*.²⁷ Esta metodologia consiste na digestão de metais pseudo-totais, devido elementos ligados em estruturas de silicato não serem normalmente dissolvidos por este processo, uma vez que não são geralmente móveis no meio ambiente. As amostras liofilizadas de sedimento de cada ponto de coleta foram maceradas até homogeneização, sendo separada fração fina por peneira (53 µm). Os órgãos de *C. carpio* liofilizados foram triturados em blixer, sendo que cada espécime constituía uma amostra de fígado e brânquia, sem realização de pool. A digestão foi realizada em bloco digestor a 160 °C, utilizando-se aproximadamente 0,5 g de amostra aos quais adicionou-se 10 mL de HNO₃ 1:1, refluxando por 10 minutos, seguido de adição de 5 mL de HNO₃ concentrado p.a., refluxando por 30 minutos. Este processo foi repetido até completa digestão e redução para 5 mL. Após resfriamento, adicionou-se 2 mL de H₂O₂ 30% repetindo-se a adição até que não houvesse mais bolhas. Foram, então, adicionados 10 mL de HCl concentrado p.a., deixando em refluxo por 15 minutos. As amostras foram transferidas para um balão volumétrico de 50 mL, completando-se o volume e removendo-se a parte não digerida por filtração.

Para obtenção dos metais biodisponíveis²⁸ em sedimento pesou-se aproximadamente 1,0 g de amostra em erlenmeyer aos quais se adicionou 25 mL de HCl 0,1 mol L⁻¹, mantendo por 2 horas em agitador horizontal a 200 rpm. Filtrou-se a suspensão, que foi armazenada à 4 °C.

Todos os reagentes utilizados possuíam grau analítico e as digestões de cada amostra foram realizadas em triplicata.

Quantificação dos metais

As determinações dos metais foram conduzidas em espectrômetro de absorção atômica de chama (Varian®, AA 240FS), utilizando como acessório o sistema diluidor automático SIPS, equipado com lâmpada de deutério como corretor de fundo e lâmpadas de cátodo multielementares. Utilizou-se chama redutora óxido nitroso/acetileno, com fluxo de 10,24 L min⁻¹ e 6,95 L min⁻¹, respectivamente para o metal alumínio e chama oxidante de ar/acetileno, com fluxo de

13,50 L min⁻¹ e 2,00 L min⁻¹, respectivamente, para os demais metais. Para o preparo das soluções padrão utilizou-se água ultrapura e as soluções estoque de 1000 mg L⁻¹ Qhemis High Purity®, dos metais cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobalto (Co), cádmio (Cd), cromo (Cr), prata (Ag), chumbo (Pb), níquel (Ni) e alumínio (Al). Sendo realizada a curva analítica a partir destes padrões.

A precisão dos métodos foi verificada pela realização de branco e a exatidão foi verificada a partir da análise de material de referência certificado ERM-CE278 (tecido de mexilhão) do Instituto para Materiais de Referência e Medidas da Europa (*Institute for Reference Materials and Measurements – IRMM*), e MESS-2 (sedimento marinho) do Conselho Nacional de Pesquisa Canadá (*National Research Council Canada – NRCC*) do Instituto de Química Ambiental do Canadá, obtendo-se recuperação de metais conforme Tabela 1.

Tratamento estatístico

As análises estatísticas foram realizadas utilizando os *softwares* Action – versão 2.7, Assisat 7.7 beta e Past – versão 3.04.²⁹

Análise de Variância (ANOVA - One Way) com teste de Tukey foi utilizada para testar as diferenças significativas entre as concentrações médias de metais entre brânquias, fígado, peso corporal e tamanho de *Cyprinus carpio*. O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para avaliar as correlações significativas existentes entre as variáveis analisadas.

Valores inferiores a 0,01 (1%) foram considerados como sendo estatisticamente significativos ($P < 0,01$) apresentando 99% de confiança, assim como valores inferiores a 0,05 (5%), ou seja, $P < 0,05$, apresentando 95% de confiança.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Metais em água e sedimento

Os resultados da quantificação dos metais nas amostras de água e no sedimento do Reservatório de Alagados, nos quatro pontos amostrados, são apresentados na Tabela 2.

Para água doce apenas a concentração de Fe e Cd apresentam concentrações acima do limite máximo permitido.³⁰ Em P1 e P4, Ag atingiu o limite máximo permitido. Os demais metais tiveram suas concentrações abaixo dos limites estipulados nos quatro pontos de amostragem. Pb e Al não foram detectados pela técnica utilizada provavelmente por serem pouco solúveis em pH levemente ácido, como é o caso do Reservatório de Alagados, e tendem a formar precipitados na presença de outros íons, podendo estar presentes em pontos isolados, bem como ocorrerem como um gradiente em

Tabela 1. Índice de recuperação de metais no Material de Referência Certificado de sedimento marinho (MESS-2) e tecido de mexilhão (ERM-CE278) pelo método de digestão e análise propostos

Metal	MESS-2			ERM-CE278		
	Valor Certificado	Valor Medido	% de Recuperação	Valor Certificado	Valor Medido	% de Recuperação
Cd	0,24 ± 0,01	0,22 ± 0,02	91,7	0,348 ± 0,007	0,32 ± 0,01	92
Co	13,8 ± 1,4	12,9 ± 1,1	93,5	–	–	–
Cr	106,0 ± 8,0	98,7 ± 3,8	93,1	0,78 ± 0,06	0,70 ± 0,02	90
Cu	39,3 ± 2,0	39,7 ± 1,2	101	9,45 ± 0,13	10,01 ± 0,15	106
Mn	365,0 ± 21,0	343,0 ± 11,2	93,9	7,69 ± 0,23	7,92 ± 0,19	103
Ni	49,3 ± 1,8	45,1 ± 1,5	91,5	–	–	–
Pb	21,9 ± 1,2	19,9 ± 1,0	90,9	2,00 ± 0,04	1,81 ± 0,05	91
Zn	172,0 ± 1,6	178,2 ± 0,9	103,6	83,10 ± 1,7	82,00 ± 2,0	99

Média ± DP; valores expressos em µg g⁻¹; n = 3.

Tabela 2. Concentração de metais nas amostras de água e metais pseudo-totais e biodisponíveis nas amostras de sedimento do Reservatório de Alagados nos quatro pontos de coleta

Metais	Ag	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
Água												
P1	0,010 ± 0,007	ND	0,002 ± 0,001	0,015 ± 0,001	0,024 ± 0,002	0,004 ± 0,002	2,539 ± 0,019	0,034 ± 0,001	0,007 ± 0,001	ND	0,008 ± 0,001	
P2	0,007 ± 0,000	ND	0,002 ± 0,000	0,004 ± 0,001	0,021 ± 0,001	0,008 ± 0,001	1,892 ± 0,027	0,044 ± 0,001	0,008 ± 0,002	ND	0,007 ± 0,001	
P3	0,008 ± 0,001	ND	0,002 ± 0,000	0,017 ± 0,002	0,025 ± 0,002	0,007 ± 0,001	1,602 ± 0,011	0,053 ± 0,001	0,007 ± 0,001	ND	0,007 ± 0,001	
P4	0,010 ± 0,001	ND	0,002 ± 0,000	0,019 ± 0,002	0,023 ± 0,001	0,006 ± 0,001	1,575 ± 0,013	0,061 ± 0,011	0,007 ± 0,001	ND	0,004 ± 0,001	
Média Geral	0,009 ± 0,002	ND	0,002 ± 0,000	0,014 ± 0,007	0,024 ± 0,002	0,006 ± 0,002	1,902 ± 0,449	0,048 ± 0,012	0,007 ± 0,001	ND	0,007 ± 0,002	
CONAMA ^a	máx. 0,01	máx. 0,100	máx. 0,001	máx. 0,050	máx. 0,050	máx. 0,009	máx. 0,300	máx. 0,100	máx. 0,025	máx. 0,010	máx. 0,180	
Sedimento												
P1	PT	4,08 ± 0,32	76,39 ± 2,06*	2,14 ± 0,07	27,03 ± 1,53	33,48 ± 0,90	29,20 ± 0,67	44,57 ± 2,31*	340,85 ± 9,99	27,69 ± 1,21	27,51 ± 1,38	81,13 ± 2,30
	BIO	0,48 ± 0,06	0,32 ± 0,01*	0,03 ± 0,002	1,22 ± 0,22	2,46 ± 0,16	6,12 ± 0,48	3,69 ± 0,30*	186,05 ± 6,55	0,84 ± 0,08	2,36 ± 0,17	12,84 ± 0,74
P2	PT	4,55 ± 0,11	72,11 ± 6,52*	2,39 ± 0,23	27,34 ± 0,70	39,24 ± 0,73	43,77 ± 0,57	43,59 ± 3,75*	277,95 ± 3,38	27,80 ± 1,93	33,49 ± 0,96	71,44 ± 2,50
	BIO	0,77 ± 0,12	0,87 ± 0,03*	0,02 ± 0,006	0,33 ± 0,06	2,82 ± 0,20	8,61 ± 0,46	3,71 ± 0,17*	154,36 ± 4,21	0,83 ± 0,07	3,08 ± 0,17	7,94 ± 0,37
P3	PT	5,66 ± 0,16	79,01 ± 1,66*	2,38 ± 0,26	28,21 ± 0,93	43,33 ± 2,06	44,87 ± 1,52	62,05 ± 6,65*	318,50 ± 0,38	24,21 ± 1,42	34,90 ± 1,14	58,51 ± 1,80
	BIO	0,73 ± 0,09	1,11 ± 0,07*	0,03 ± 0,004	0,34 ± 0,19	2,83 ± 0,31	8,86 ± 0,42	6,7 ± 0,68*	193,27 ± 8,00	0,83 ± 0,11	2,33 ± 0,16	6,65 ± 0,16
P4	PT	5,17 ± 0,32	74,23 ± 2,08*	4,07 ± 0,31	29,43 ± 0,69	44,66 ± 2,51	43,46 ± 1,03	62,09 ± 1,90*	408,27 ± 7,81	30,88 ± 2,77	31,96 ± 0,55	52,62 ± 1,57
	BIO	0,32 ± 0,02	0,70 ± 0,02*	0,007 ± 0,002	0,26 ± 0,06	2,50 ± 0,24	7,15 ± 0,02	6,43 ± 0,51*	209,65 ± 11,87	0,76 ± 0,04	1,86 ± 0,07	5,19 ± 0,17
Média Geral	PT	4,86 ± 0,69	75,44 ± 2,96*	2,74 ± 0,89	28,00 ± 1,07	40,18 ± 5,02	40,32 ± 7,44	53,08 ± 1,04*	336,39 ± 54,53	27,65 ± 2,72	31,96 ± 3,20	65,93 ± 12,82
	BIO	0,57 ± 0,21	0,75 ± 0,33*	0,02 ± 0,01	0,54 ± 0,45	2,65 ± 0,20	7,68 ± 1,28	5,15 ± 1,67*	185,83 ± 23,19	0,81 ± 0,03	2,40 ± 0,50	8,15 ± 3,32
CONAMA ^b	Nível 1	–	–	0,60	–	37,30	35,70	–	–	18,00	35,00	123,00
	Nível 2	–	–	3,50	–	90,00	197,00	–	–	35,90	91,30	315,00

*Resultados de sedimento expressos em mg g⁻¹, demais resultados de sedimento expressos em µg g⁻¹; resultados de água expressos em µg mL⁻¹; média ± DP (n=3); ND: Não Detectado. ^aResolução 430/2011; ^bResolução 454/2012; (-): não existe critério para este parâmetro; PT: metais pseudo-totais; BIO: metais biodisponíveis; P1, P2, P3, P4: pontos de coleta 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Nível 1: Nível Limiar de efeitos adversos à comunidade biológica (efeitos possíveis); Nível 2: Nível de efeitos adversos prováveis à comunidade biológica (efeitos prováveis).

concentrações abaixo do limite de detecção da técnica empregada neste trabalho.

A média das concentrações dos metais analisados em amostras de água dos quatro pontos de coleta do Reservatório de Alagados possuem tendência geral global que segue a seguinte ordem: Fe > Mn > Cr > Co > Ag > Ni > Zn > Cu > Cd. Numa comparação geral com a concentração de metais na água da Represa Billings,³¹ considerada contaminada, o Reservatório de Alagados possui baixas concentrações de metais.

Para sedimento, o Zn está abaixo dos limites estabelecidos, apresentando concentrações médias abaixo do Nível 1 nos quatro pontos amostrados. Segundo legislação,³² Pb apresentou concentração inferior ao Nível 1, entretanto, os valores encontrados no sedimento nos quatro pontos ficaram muito próximos ao valor limite, sugerindo uma possível associação com os efeitos biológicos adversos. Cu, Cr e Ni apresentaram concentrações superiores ao Nível 1 na maioria dos pontos amostrados e podem estar associados a possíveis efeitos biológicos adversos, entretanto, estão abaixo do Nível 2, ou seja, abaixo do nível de efeitos adversos prováveis à comunidade biológica. Cd apresentou concentrações acima do Nível 1 em P1, P2 e P3, entretanto, estas concentrações ficaram abaixo do Nível 2, o que não ocorreu em P4 que apresentou concentração de Cd acima deste nível, indicando que podem estar ocorrendo efeitos adversos à comunidade biológica através deste metal que está mais concentrado no fim do reservatório, próximo à barragem.

A média das concentrações dos metais pseudo-totais analisados em amostras de sedimento dos quatro pontos de coleta do reservatório possuem tendência geral global que segue a seguinte ordem: Al > Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Pb > Co > Ni > Ag > Cd.

Nos sedimentos a concentração de metais pode variar de acordo com a razão de deposição dos metais, razão de sedimentação das partículas, natureza e tamanho das partículas e a presença e ausência de matéria orgânica e espécies complexantes. A biodisponibilidade dos metais nos sedimentos depende de diversos fatores como processos de resuspensão de origem física (correnteza), biológica (atividade dos organismos que vivem nos sedimentos) e humana (dragagem e

navegação) e também depende de reação redox, considerando a força da interação ligante/suporte. Importantes suportes geoquímicos são: óxidos de ferro, de manganês, matéria orgânica (ácidos húmicos) e sulfetos metálicos.^{33,34}

Assim é possível observar, em geral, que a concentração dos metais biodisponíveis no sedimento é bem menor que a concentração dos metais totais, entretanto, mostram que altas concentrações são disponíveis para o meio, podendo afetar os organismos do reservatório, incluindo *C. carpio*. A média das concentrações dos metais biodisponíveis analisados em amostras de sedimento dos quatro pontos de coleta do reservatório possuem tendência geral global que segue a seguinte ordem: Fe > Al > Mn > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > Ag > Co > Cd

Os níveis de metais em sedimento do Reservatório de Alagados são bem mais baixos em comparação com os níveis encontrados no Reservatório de Itá,³⁵ considerado como um sistema contaminado por metais, relacionado com possíveis efeitos tóxicos para a biota aquática, com níveis muito superiores aos recomendados pela legislação.³²

Apesar dos pontos amostrados apresentarem diferenças nas concentrações de metais, observado na Tabela 2, a análise estatística indicou não normalidade da distribuição dos dados, sendo $P > 0,05$, portanto não identificou diferenças substanciais nos níveis de concentração de metais entre os pontos de coleta do Reservatório de Alagados, tanto para água quanto para o sedimento.

Metais em *Cyprinus carpio*

Devido grande variação de peso e tamanho dos indivíduos capturados no Reservatório de Alagados, os espécimes de *Cyprinus carpio* foram divididos em 4 grupos conforme Tabela 3. As médias das concentrações de metais nos órgãos de *C. carpio* são apresentadas na Tabela 4.

A tendência geral global da concentração de metais em *C. carpio*, tomando-se a média entre os Grupos, nas brânquias segue a seguinte ordem Zn > Fe > Al > Mn > Cr > Co > Cu > Pb > Cd > Ag > Ni, e

Tabela 3. Grupos de *Cyprinus carpio* coletadas no Reservatório de Alagados

Grupos	Espécimes	Peso Corporal (kg)	Tamanho (cm)
1	5	4,87 - 6,67	66 - 78
2	6	7,15 - 8,74	82 - 87
3	5	9,14 - 14,5	75 - 82
4	2	31,00 - 32,00	126 - 130

no fígado segue a seguinte ordem Fe > Zn > Al > Cu > Co > Pb > Cd > Mn > Ag > Ni > Cr.

O metal Al foi o único a mostrar mesma relação nas tendências entre brânquias e fígado de *Cyprinus carpio*. Os metais Zn, Fe e Al foram os que tiveram maiores concentrações encontradas nas amostras de fígado e brânquias. Fe também teve maiores concentrações na água e juntamente com Al atingiu maiores concentrações no sedimento do Reservatório de Alagados, assim, é possível afirmar que uma das formas de contaminação, mais intensa, nas brânquias e fígado de *Cyprinus carpio* por estes metais é devida sua interação com estes compartimentos ambientais. Estudo¹³ mostrou que fígado de *C. carpio* mostram tendência similar na ordem dos metais, sendo Zn > Fe > Cu > Mn, entretanto, as concentrações são inferiores das encontradas no presente trabalho (Zn: 76,46±21,12; Fe: 60,96±13,73; Cu: 9,52±5,69 e Mn: 0,69±0,60) e os metais Cd, Co, Ni e Pb não foram detectados. Além da água e do sedimento deste estudo apresentarem concentrações de metais inferiores, os espécimes de *C. carpio* possuíam peso corporal de 1042g±953,52g (268 g a 2288 g). Assim, pode-se atribuir relação existente na concentração de metais na água e sedimento do reservatório tanto como no tamanho dos espécimes.

Relação entre as variáveis

Observando a Tabela 4 percebe-se que o Grupo 4, no qual os espécimes de *C. carpio* têm maior tamanho e peso corporal, possui maiores concentrações na maioria dos metais analisados, isto ocorre, provavelmente, devido ao fato de os espécimes maiores estarem por mais tempo neste habitat, em contato com o sedimento e água, por períodos mais longos que os espécimes menores, portanto acumulando maior quantidade de alguns metais.

Para verificar a significância desta relação de peso/tamanho dos espécimes com os metais analisados, realizou-se Análise de Variância (ANOVA One-Way) com teste de Tukey. ANOVA mostrou que não há significância para o Fe ($P > 0,05$), entretanto, suas concentrações no Grupo 4 podem ser maiores devido exposição a este metal, pois é previsto que altas acumulações ocorram em condições de contaminações ambientais³⁶ e a água do Reservatório de Alagados excede o limite estipulado pela CONAMA para Fe em quase dez vezes, da mesma forma o Fe biodisponível no sedimento apresentou a maior concentração nas tendências avaliadas, podendo ser responsável por este acúmulo em *C. carpio* do Grupo 4 devido maior tempo de interação destes espécimes com o meio em que vivem.

Para o Al ($P < 0,05$), encontrou-se significância com o aumento do peso. Apesar da não detecção deste metal na água, o Al possui maior concentração pseudo-total no sedimento do Reservatório de Alagados, conforme visto na Tabela 2, além disto, é o segundo metal com maior concentração biodisponível. Assim como o Al, o Cd tem sua concentração aumentada nas brânquias em função do aumento de peso corporal/tamanho de *C. carpio*. Este metal apresentou o dobro da concentração permitida pela legislação na água do reservatório, impactando diretamente na contaminação deste órgão.

Os metais Ni, Pb, Ag e Mn não apresentaram variação significativa

Tabela 4. Médias das concentrações de metais em brânquias e fígado nos grupos de *Cyprinus carpio* do Reservatório de Alagados

Metais	Órgão	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Média dos Grupos
Ag	B	2,02 ± 0,22	1,83 ± 0,33	2,06 ± 0,31	1,81 ± 0,03	1,93 ± 0,13
	F	2,38 ± 0,52	2,33 ± 0,42	2,03 ± 0,31	2,56 ± 0,67	2,32 ± 0,21
Al	B	156,79 ± 105,22	167,81 ± 44,20	286,54 ± 254,09	755,72 ± 114,25	341,71 ± 282,18
	F	181,53 ± 85,42	261,87 ± 26,12	209,29 ± 70,73	386,68 ± 81,50	259,84 ± 90,88
Cd	B	2,56 ± 0,58	3,47 ± 3,02	5,08 ± 4,13	8,65 ± 0,25	4,94 ± 2,68
	F	4,34 ± 0,72	3,33 ± 1,03	4,30 ± 0,94	2,32 ± 0,09	3,57 ± 0,95
Co	B	13,63 ± 1,41	12,65 ± 2,18	14,79 ± 3,78	18,88 ± 0,95	14,99 ± 2,73
	F	10,51 ± 0,71	9,75 ± 0,98	11,43 ± 0,66	9,46 ± 0,14	10,29 ± 0,87
Cr	B	14,19 ± 1,26	10,56 ± 5,44	16,10 ± 11,64	50,68 ± 22,30	22,88 ± 18,67
	F	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	B	11,77 ± 4,87	8,70 ± 4,48	9,20 ± 2,62	6,41 ± 0,37	9,02 ± 2,19
	F	21,97 ± 7,41	27,57 ± 10,46	27,49 ± 6,85	72,23 ± 5,94	37,32 ± 23,42
Fe	B	572,10 ± 118,32	526,32 ± 74,75	564,87 ± 235,26	1313,12 ± 51,47	744,10 ± 379,87
	F	2154,79 ± 654,65	1666,18 ± 558,18	2078,80 ± 350,85	3065,47 ± 164,77	2241,31 ± 589,88
Mn	B	57,16 ± 21,02	44,51 ± 5,90	36,47 ± 13,27	53,33 ± 0,99	47,87 ± 9,26
	F	1,72 ± 0,26	2,34 ± 0,65	2,38 ± 1,36	5,46 ± 0,12	2,98 ± 1,68
Ni	B	0,95 ± 0,20	0,86 ± 0,43	1,04 ± 0,20	1,34 ± 0,20	1,05 ± 0,20
	F	1,16 ± 0,13	1,13 ± 0,14	1,22 ± 0,23	1,70 ± 0,08	1,30 ± 0,26
Pb	B	4,63 ± 0,39	5,33 ± 0,26	4,84 ± 0,61	5,04 ± 0,10	4,96 ± 0,29
	F	4,80 ± 0,62	4,34 ± 0,44	4,48 ± 0,43	5,22 ± 0,17	4,71 ± 0,39
Zn	B	1648,91 ± 442,76	2475,36 ± 1174,89	2370,05 ± 1042,95	85,35 ± 0,16	1644,92 ± 1102,68
	F	398,76 ± 119,63	374,08 ± 156,16	406,84 ± 198,43	174,54 ± 0,33	338,56 ± 110,22

resultados expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$; média ± DP (n=3); ND: Não Detectado; B: brânquias; F: fígado.

($P > 0,05$) para o fígado e as brânquias de *Cyprinus carpio*. Da mesma forma, não há significância para o metal Zn. As concentrações médias de Zn nas brânquias e no fígado de *C. carpio* são semelhantes entre os Grupos 1 a 3, porém no Grupo 4 há grande diminuição da concentração em função do peso corporal/tamanho dos espécimes, conforme Tabela 4. Conforme estudo em *Cyprinus carpio*, a absorção de Zn diminui no organismo com complexação entre diferentes ligantes orgânicos.³⁷ Desta forma, possíveis ligantes orgânicos podem ter complexado o Zn ao longo dos anos nos órgãos de *C. carpio*, fazendo com que os espécimes maiores possuam menor concentração. Diferentes resultados foram encontrados²¹ para *C. carpio* em relação ao aumento do tamanho dos espécimes, que apresentaram aumento significativo das concentrações de Zn, Cd e Cr, entretanto, o tecido analisado foi o músculo, indicando que podem ocorrer variações no acúmulo destes metais entre os órgãos, já que músculo não realiza metabolismo.

Contudo, entre os metais analisados apenas o Al possui significância nas amostras de fígado e brânquias de *C. carpio*, para os demais metais não existe variância significativa quando se compara o peso corporal pela concentração de metal, $P > 0,05$, e também não existe significância do tamanho em relação às concentrações de metal, $P > 0,05$. Portanto, estatisticamente, os metais Ag, Pb e Ni apresentam concentrações médias iguais no fígado e nas brânquias. Os metais Mn, Zn, Co, Cd, Cr e Al tiveram maiores concentrações médias nas brânquias e os metais Cu e Fe tiveram maiores concentrações médias no fígado de *Cyprinus carpio* do Reservatório de Alagados. Da mesma maneira, Cu apresentou concentrações mais elevadas em fígado de *C. carpio* em outro estudo.¹³

Para verificar a correlação geral entre todas as variáveis analisadas em *Cyprinus carpio* utilizou-se a Correlação de Pearson (Tabela 5).

Os valores sublinhados na Tabela 5 possuem moderada correlação ($P < 0,05$), os valores em negrito possuem forte correlação ($P < 0,01$). As principais correlações são verificadas para os metais que tiveram maiores concentrações no fígado e nas brânquias de *C. carpio*, conforme observado na Tabela 4.

Com aumento do peso e tamanho dos espécimes, fortes correlações existem com Fe, Ni e Al e moderada correlação ocorre para Cr, que tendem a aumentar suas concentrações à medida que *C. carpio* cresce. Fe também se correlaciona fortemente com Cu e Ni de forma positiva, por outro lado, as concentrações de Mn, Zn e Co tendem a diminuir em *C. carpio* quando concentrações de Fe aumentam. Para Al há fortes correlações positivas com Cd e Cr e correlação moderada negativa com o Zn, ou seja, quando aumentam as concentrações de Al, juntamente aumentam para Cd e Cr e moderadamente diminui a concentração de Zn.

O metal Pb não apresentou correlação significativa com as demais variáveis analisadas em *Cyprinus carpio*, assim como verificado pela ANOVA. Isto pode ter ocorrido devido a absorção do chumbo, assim como alguns outros metais, além de depender de seu estado físico e químico, depende da quantidade de metal nas vias de introdução do animal.³⁸ O Reservatório de Alagados apresentou baixas concentrações deste metal no sedimento e não teve detecção na água, indicando baixo acúmulo em *C. carpio*.

Relação entre os órgãos

Realizou-se análise de variância (ANOVA) com experimento inteiramente casualizado (DIC) através do teste de Tukey para avaliar a relação existente das concentrações de metais entre o fígado e as brânquias de *Cyprinus carpio*. Para isto utilizou-se as médias dos quatro grupos apresentados na Tabela 4.

Tabela 5. Matriz de Correlação de Pearson para os metais analisados nas brânquias e no fígado, tamanho e peso corporal dos espécimes de *Cyprinus carpio*

	Cu	Mn	Zn	Fe	Ag	Pb	Ni	Al	Co	Cd	Cr	Tam	Peso
Cu	1,000	0,563	-0,446	0,723	0,521	-0,150	0,589	0,062	-0,549	-0,229	-0,468	0,376	0,420
*	1,000	0,000	0,006	0,000	0,001	0,383	0,000	0,719	0,001	0,178	0,004	<u>0,024</u>	<u>0,011</u>
Mn		1,000	0,531	-0,732	-0,344	0,326	-0,343	0,139	0,668	0,074	0,675	0,005	0,029
*		1,000	0,001	0,000	<u>0,040</u>	0,052	<u>0,040</u>	0,417	0,000	0,669	0,000	0,975	0,867
Zn			1,000	-0,673	-0,208	0,217	-0,282	-0,345	0,295	-0,154	0,210	-0,237	-0,297
*			1,000	0,000	0,223	0,203	0,096	<u>0,039</u>	0,081	0,368	0,219	0,164	0,078
Fe				1,000	0,323	-0,173	0,577	0,153	-0,455	0,073	-0,419	0,324	0,339
*				1,000	0,055	0,314	0,000	0,373	0,005	0,672	<u>0,011</u>	0,054	<u>0,043</u>
Ag					1,000	0,114	0,222	0,049	-0,409	-0,102	-0,337	0,009	0,018
*					1,000	0,507	0,193	0,776	<u>0,013</u>	0,554	<u>0,044</u>	0,957	0,917
Pb						1,000	-0,101	0,189	0,040	0,182	0,192	0,241	0,228
*						1,000	0,556	0,270	0,816	0,288	0,262	0,157	0,181
Ni							1,000	0,343	-0,150	0,192	0,005	0,479	0,495
*							1,000	<u>0,041</u>	0,383	0,263	0,976	0,003	0,002
Al								1,000	0,301	0,597	0,581	0,672	0,727
*								1,000	0,075	0,000	0,000	0,000	0,000
Co									1,000	0,240	0,841	0,218	0,252
*									1,000	0,158	0,000	0,201	0,138
Cd										1,000	0,369	0,214	0,311
*										1,000	<u>0,027</u>	0,209	0,065
Cr											1,000	0,401	0,428
*											1,000	<u>0,015</u>	0,009
Tam												1,000	0,960
*												1,000	0,000
Peso													1,000
*													1,000

Tam: Tamanho * P -valores

Observou-se que os metais Cu, Mn, Zn, Fe e Co apresentaram significância, $P = 0,0001$, ou seja, $P < 0,01$ diferindo fortemente entre as concentrações encontradas no fígado das concentrações encontradas nas brânquias de *C. carpio*. Entre estes metais o Cu e o Fe tiveram maiores concentrações no fígado em relação às brânquias. Da mesma forma que se verificou neste trabalho, estudos mostraram que Cu teve maiores concentrações no fígado de *Cyprinus carpio* em relação a outros órgãos e a outras espécies de peixes, sugerindo que a dieta é a mais importante via de acúmulo de cobre em animais aquáticos, e a escolha alimentar influencia na carga corporal de cobre.^{14,39} Cu teve altas concentrações no sedimento do reservatório. As brânquias são órgãos multifuncionais, que participam do transporte de íons, trocas gasosas, regulação ácido-base e excreção. Também são consideradas importantes órgãos-alvo da intoxicação aguda por metais em peixes, constituem órgãos dominantes na depuração de alguns metais, em especial o Zn e Cu, pela atuação das bombas proteicas de membrana, como as Ca^{2+} , Na^+ e K^+ ATPases e anidrases carbônicas.⁴⁰ Sendo assim, as menores concentrações de Cu observadas indicam possível habilidade desse órgão em metabolizar tal metal.

Com os metais Mn e Zn ocorreu o inverso, tiveram maiores concentrações nas brânquias em relação ao fígado. Os metais Ag ($P = 0,0167$), Pb ($P = 0,0381$) e Ni ($P = 0,0158$) apresentaram significância diferindo moderadamente entre os dois órgãos $P < 0,05$, ou seja, suas concentrações no fígado e nas brânquias de *Cyprinus carpio* foram próximas, no entanto as concentrações de Ag e Ni foram maiores no fígado em relação às brânquias e as concentrações de Pb maiores nas brânquias em relação ao fígado, apesar da não detecção do Pb na água do reservatório.

Os metais Al ($P = 0,6817$) e Cd ($P = 0,5568$) não diferem estatisticamente entre as concentrações nos dois órgãos, pois apresentaram $P > 0,05$. Não se realizou a ANOVA para o Cr devido ao fato das concentrações no fígado estarem abaixo do limite de quantificação da técnica, sendo detectado este metal apenas nas brânquias, mostrando que este órgão é o que mais acumula Cr.

As altas concentrações de alguns metais nas brânquias podem ser devido à complexação com o muco, sendo impossível removê-los completamente entre as lamelas, antes do preparo da amostra

para análise. Assim, alta concentração de vários metais pode ser observada nas brânquias.⁴¹ Por outro lado, sabe-se que mais altas atividades metabólicas ocorrem no fígado, sendo este o principal órgão envolvido em metabolismo de xenobióticos em peixes⁴² e, por estar envolvido em atividades de armazenamento e excreção, este órgão age como um repositório final de metais que são transportados para o fígado a partir de outros tecidos para eliminação subsequente.⁴³ Assim, é possível que alguns metais tenham maiores concentrações neste órgão em *C. carpio*.

Bioacumulação de metais em *Cyprinus carpio*

Cada espécie de peixe apresenta um caráter de absorção e acumulação diferenciado, de acordo com fatores biológicos específicos: tamanho do organismo, hábito alimentar, idade (estágio de desenvolvimento), taxa de excreção, teor lipídico (organismos com alto teor lipídico tendem a acumular mais substâncias lipossolúveis), comportamento (territorialista, migratório) e o metabolismo (biotransformação dos compostos, tentando gerar produtos hidrossolúveis, mais fáceis de serem excretados).³⁸ Assim, para avaliar a acumulação dos metais em *C. carpio* calculou-se o fator de bioacumulação (FBA), utilizando-se a razão entre a concentração do metal encontrado em cada órgão do peixe pela concentração do metal encontrado no meio, conforme via de entrada de metais. Portanto, relacionou-se as brânquias com a água e o fígado com a via trófica, o sedimento.⁴⁴ Os FBAs nos órgãos de *Cyprinus carpio* são apresentados na Tabela 6.

A bioacumulação é mais elevada quando se analisa o metal biodisponível no sedimento em relação ao metal pseudo-total no mesmo, pois a biodisponibilidade do metal em sedimento gira em torno de 10% do valor total, aumentando o FBA no fígado de *Cyprinus carpio*. Maiores fatores são relacionados com a água e as brânquias, mostrando que a bioacumulação ocorre de forma mais intensa neste órgão devido contato direto com a água.

A tendência geral global do F/S_{PT} dos metais no fígado de *Cyprinus carpio* segue a seguinte ordem $Zn > Cd > Cu > Ag > Co > Pb > Ni > Fe > Mn > Al > Cr$ e para F/S_B segue a seguinte ordem $Cd > Zn > Co > Cu > Ag > Pb > Ni > Fe > Al > Mn > Cr$. A tendência

Tabela 6. Fatores de bioacumulação de metais no fígado e nas brânquias de *Cyprinus carpio*

	FBA	Ag	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Grupo 1	F/S_{PT}	0,49	0,002	1,59	0,38	-	0,55	0,04	0,005	0,04	0,15	6,05
	F/S_B	4,18	0,241	217,30	19,47	-	2,86	0,42	0,009	1,44	2,00	48,93
	B/A	231,75	-	1294,70	977,28	604,96	1943,27	300,82	1195,81	137,14	-	248032,57
Grupo 2	F/S_{PT}	0,48	0,003	1,22	0,35	-	0,68	0,03	0,007	0,04	0,14	5,67
	F/S_B	4,09	0,348	166,56	18,07	-	3,59	0,32	0,013	1,40	1,81	45,90
	B/A	209,41	-	1752,51	906,80	450,21	1435,60	276,75	931,11	124,08	-	372349,75
Grupo 3	F/S_{PT}	0,42	0,003	1,57	0,41	-	0,68	0,04	0,007	0,04	0,14	6,17
	F/S_B	3,57	0,278	215,41	21,17	-	3,58	0,40	0,013	1,51	1,87	49,92
	B/A	236,86	-	2564,00	1060,02	686,75	1519,02	297,02	763,00	149,02	-	356509,25
Grupo 4	F/S_{PT}	0,53	0,005	0,85	0,34	-	1,79	0,06	0,016	0,06	0,16	2,65
	F/S_B	4,50	0,514	116,16	17,53	-	9,41	0,59	0,029	2,11	2,18	21,42
	B/A	207,97	-	4365,28	1353,06	2160,64	1059,15	690,47	1115,58	192,88	-	12839,63
Média Geral	F/S_{PT}	0,48	0,003	1,31	0,37	-	0,93	0,04	0,01	0,05	0,15	5,14
	F/S_B	4,09	0,35	178,86	19,06	-	4,86	0,44	0,02	1,61	1,97	41,54
	B/A	221,50	-	2494,12	1074,29	975,64	1489,26	391,27	1001,38	150,78	-	247432,80

FBA: fator de bioacumulação; F/S_{PT} : Fígado/Sedimento pseudo-total; F/S_B : Fígado/Sedimento biodisponível; B/A: Brânquias/Água.

Pb e Al não foram detectados na água do Reservatório de Alagados e Cr não foi detectado em fígado de *C. carpio*, portanto o FBA não foi calculado para estes metais.

geral global do B/A dos metais nas brânquias de *Cyprinus carpio* segue a seguinte ordem: Zn >> Cd > Cu > Co > Mn > Cr > Fe > Ag > Ni. Com base nos resultados obtidos dos FBA é possível verificar que o fígado tem menor afinidade para bioacumulação de Cr e as brânquias possuem menor afinidade na bioacumulação de Ni.

Os metais Zn e Cd tiveram mesma tendência do FBA para o fígado e as brânquias, tanto para avaliação em relação ao sedimento total e biodisponível quanto para relação com a água, ou seja, estes dados mostram que estes dois metais foram os que mais bioacumularam nos órgãos de *Cyprinus carpio*. O zinco é um dos mais importantes elementos traço essenciais envolvidos no crescimento dos animais, sendo o metal mais amplamente utilizado como cofator de enzimas, proteína, ácido nucleico, carboidratos e metabolismo lipídico, assim como no controle da transcrição de genes e outros processos biológicos fundamentais que dão suporte à vida. No entanto, o zinco se torna tóxico quando as concentrações elevadas são presentes no ambiente.⁴⁵⁻⁴⁷

Quando se comparam os grupos de *C. carpio* é possível verificar que a bioacumulação tem algumas variações em relação ao tamanho e peso corporal dos indivíduos, assim, o Cu teve maior bioacumulação nas brânquias no Grupo 1, em peixes menores, tendo diminuição da concentração nos demais grupos, com aumento dos peixes. O inverso ocorreu no fígado, sendo maior bioacumulação de Cu no Grupo 4. O Zn teve menor bioacumulação no Grupo 4, tanto em brânquias quanto no fígado.

Nas brânquias a bioacumulação do Cd foi maior no Grupo 4, nos animais maiores, associando esta maior bioacumulação pelo direto contato com a água que apresentou níveis acima da legislação no Reservatório de Alagados. Da mesma forma, o fígado apresentou alta bioacumulação de Al nos espécimes do Grupo 4, que pode ser relacionada com a maior concentração deste metal encontrada no sedimento do reservatório. Com isso é possível verificar que, em geral, as maiores concentrações de metais ocorreram no Grupo 4, com os maiores espécimes analisados, refletindo na bioacumulação dos metais relacionada com o tempo de vida destes animais, pois quanto maiores os peixes, mais tempo de vida estes possuem e mais contato com os metais no ambiente, água e sedimento estes tiveram.

CONCLUSÃO

As águas do Reservatório de Alagados apresentaram concentrações de Fe e Cd acima do limite máximo do CONAMA,³⁰ sendo Fe o metal com maior concentração entre os demais metais. Da mesma forma ocorre maior concentração de Fe no sedimento, seguido da concentração de Al. O sedimento do reservatório apresentou concentrações de metais abaixo do Nível 2 do CONAMA,³² ou seja, abaixo do nível de efeitos adversos prováveis à comunidade biológica. A análise estatística não identificou diferenças substanciais nos níveis de concentração de metais entre os pontos de coleta do Reservatório de Alagados, tanto para água quanto para o sedimento. Os metais Zn, Fe e Al foram os que tiveram maiores concentrações encontradas nas amostras de fígado e brânquias de *C. carpio*, sendo o Al o único metal que apresentou significância ($P > 0,05$) para os dois órgãos quando se comparou o aumento do peso corporal e tamanho dos espécimes pela concentração de metal. Fe também teve maiores concentrações na água e juntamente com Al atingiu maiores concentrações no sedimento do Reservatório de Alagados, assim, é possível afirmar que uma das formas de contaminação mais intensas em *Cyprinus carpio* por estes metais pode ser atribuída a sua interação com estes compartimentos ambientais. Estatisticamente, os metais Mn, Zn, Co, Cd, Cr e Al tiveram maiores concentrações médias nas brânquias e os metais Cu e Fe tiveram maiores concentrações médias no fígado. Na relação entre órgãos, observou-se que os metais Cu, Mn, Zn, Fe e Co

apresentaram significância ($P < 0,01$) diferindo fortemente entre as concentrações encontradas no fígado das concentrações encontradas nas brânquias de *C. carpio*. O FBA no fígado de *C. carpio* é mais elevado quando se analisa o metal biodisponível no sedimento em relação ao metal pseudo-total. Maiores fatores são relacionados com a interação entre a água e as brânquias, mostrando que a bioacumulação ocorre de forma mais intensa neste órgão devido contato direto com a água. O Reservatório de Alagados apresenta baixa contaminação por metais em seus compartimentos ambientais, sendo a espécie *Cyprinus carpio* boa indicadora de bioacumulação de metais pela interação com sedimento e água de reservatório de abastecimento de água.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- Baird, C.; *Química Ambiental*, 2ª ed., Bookman: Porto Alegre, 2002.
- Chapman, P. M.; *Sci. Total Environ.* **1990**, 97/98, 815.
- Tam, N. F. Y.; Wong, Y. S.; *Mar. Pollut. Bull.* **1995**, 31, 254.
- Förstner U.; Wittmann, G. T. W.; *Metal pollution in the aquatic environment*, 2ª ed., Springer Verlag: Berlin, 1983.
- Salomons, W.; Förstner, U.; *Metals in the hydrocycle*, 1ª ed., Springer-Verlag: Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo, 1984.
- Laws, E. A.; *Aquatic pollution: an introductory text*, 2ª ed., Wiley: New York, 1993.
- Lasheen, M. R.; Abdel-Gawad, F. K.; Alaneny, A.; Abd El bary, H. M. H.; *World Appl. Sci. J.* **2012**, 19, 265.
- Jesus, I. S.; Medeiros, R. L. S.; Cestari, M. M.; Bezerra, M. A.; Affonso, P. R. A. M.; *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **2014**, 92, 551.
- Voigt, C. L.; Silva, C. P. da; Doria, H. B.; Randi, M. A. F.; Ribeiro, C. A. O.; de Campos, S. X.; *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2014**, 22, 8242.
- Castagnolli, N.; *Piscicultura de Água Doce*, 1ª ed., Funep: Jaboticabal, **1992**.
- Cyrino, E.; Urbinati, E.; Fracalossi, D.; Castagnolli, N.; *Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva*, 1ª ed., TecArt: São Paulo, **2004**.
- Abedi, Z.; Khalesi, M.; Eskandari, S. K.; Rahmani, H.; *Iran. J. Toxicol.* **2012**, 6, 672.
- Karadede, H.; Unlü, E.; *Chemosphere* **2000**, 41, 1371.
- Papagiannis, I.; Kagalou, I.; Leonardos, J.; Petridis, D.; Kalfakakou, V.; *Environ. Int.* **2004**, 30, 357.
- Mendil, D.; Uluözlü, O. D.; *Food Chem.* **2007**, 101, 739.
- Mendil, D.; Ünal, O. F.; Tüzen, M.; Soylak, M.; *Food Chem. Toxicol.* **2010**, 48, 1383.
- Zeng, J.; Yang, L. Y.; Chuai, X. M.; Chen, X. F.; Zhao, H. Y.; Wu, Q. L.; *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **2013**, 10, 1209.
- Chi, Q. Q.; Zhu, G. W.; Langdon, A.; *J. Environ. Sci.* **2007**, 19, 1500.
- Yi, Y.; Yang, Z.; Zhang, S.; *Environ. Pollut.* **2011**, 159, 2575.
- Saravi, S. S. S.; Shokrzadeh, M.; *Environ. Monit. Assess.* **2013**, 185, 10333.
- Yi, Y. J.; Zhang, S. H.; *Procedia Environ. Sci.* **2012**, 13, 1699.
- Clemente Z.; Busato, R. H.; de Oliveira Ribeiro, C. A.; Cestari, M. M.; Ramsdorf, W. A.; Magalhães, V. F.; Wosiack, A. C.; de Assis, H. C. S.; *Toxicol.* **2010**, 55, 396.
- Núcleo de Estudos em Meio Ambiente (NUCLEAM). *Bacia hidrográfica do manancial Alagados*. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa: 2002 (Relatório).
- Henares, M. N. P.; da Cruz, C.; Gomes, G. R.; Pitelli, R. A.; Machado, M. R. F.; *Acta Sci. Biol. Sci.* **2008**, 30, 77.
- Miron, D. dos S.; Moraes, B.; Becker, A. G.; Crestani, M.; Spanevello, R.; Loro, V. L.; Baldisserotto, B.; *Aquaculture* **2008**, 277, 192.

26. <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3005a.pdf>, acessada em Janeiro 2016.
27. <http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>, acessada em Janeiro 2016.
28. Mozeto, A. A.; *Caracterização do estoque de metais pesados, compostos orgânicos voláteis e nutrientes dos sedimentos e dos particulados das represas do Guarapiranga e Billings, RMSP*, Universidade Federal de São Carlos: Brasil, 1997. (Relatório final contrato FAI-UFSCAR/SABESPNo012/97).
29. <http://www.portalaction.com.br/>, acessada em Janeiro 2016.
30. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>, acessada em Janeiro 2016.
31. Oliveira, T. A.; *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Brasil, 2012.
32. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>, acessada em Janeiro 2016.
33. Cotta, J. A. O.; Rezende, M. O. O.; Piovani, M. R.; *Quim. Nova* **2006**, 29, 40.
34. Jesus, H. C. de; Costa, E. A.; Mendonça, A. S. F.; Zandonade, E.; *Quim. Nova* **2004**, 27, 378.
35. Bonai, N. C.; Souza-Franco, G. M.; Fogolari, O.; Mocelin, D. J. C.; Dal Magro, J.; *Acta Limnol. Bras.* **2009**, 21, 245.
36. Jarić, I.; Višnjić-Jeftić, Ž.; Cvijanović, G.; Gačić, Z.; Jovanović, Lj.; Skorić, S.; Lenhardt, M.; *Microchem. J.* **2011**, 98, 77.
37. Ginneken, L. V.; Chowdhury, M. J.; *Environ. Toxicol. Chem.* **1999**, 18, 2295.
38. Azevedo, F. A.; Chasin, A. A. M.; *Metais: gerenciamento da toxicidade*. Atheneu: São Paulo, 2003.
39. Yaramaz, Ö.; *VII Turkish Biology Congress*, Izmir, Turkey, 1986.
40. Alvarado, N.E.; Quesada, I.; Hylland, K.; Marigómez, I.; Soto, M.; *Aquat. Toxicol.* **2006**, 77, 64.
41. Heath, A. G.; *Water Pollution and Fish Physiology*, 2ª ed., CRP press: Florida, 1987.
42. Romeo, M.; Mathieu, A.; Gnassia-Barelli, M.; Romana, A.; Lafaurie, M.; *Mar. Ecol.: Prog. Ser.* **1994**, 107, 15.
43. Malik, R. N.; Hashmi, M. Z.; Huma, Y.; *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2014**, 21, 1188.
44. Lau, S.; Mohammed, M. A.; Yen, T. C.; Su'ut, S.; *Sci. Total Environ.* **1998**, 214, 113.
45. Sun, J. Y.; Jing, M. Y.; Wang, J. F.; Zi, N. T.; Fu, L. J.; Lu, M. Q.; Pan, L.; *Nutrition* **2005**, 22, 187.
46. Carpena, E.; Andreani, G.; Monari, M.; Kindt, M.; Isani, G.; *Vet. Res. Commun.* **2003**, 27, 215.
47. Eisler, R.; *Zinc Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review, Biological Report Fish and Wildlife Service*, vol. 10, US Department of Interior: Washington DC, 1993.