

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo
desta dissertação será
disponibilizado somente
a partir de 26/06/2020.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

NATHALIA DOS SANTOS FERREIRA

**BIOACUMULAÇÃO DE As EM TILÁPIAS (*OREOCHROMIS
NILOTICUS*): FRACIONAMENTO DAS ESPÉCIES DE ARSÊNIO
INORGÂNICO**

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP

2018

NATHALIA DOS SANTOS FERREIRA

**BIOACUMULAÇÃO DE As EM TILÁPIAS (*OREOCHROMIS
NILOTICUS*): FRACIONAMENTO DAS ESPÉCIES DE ARSÊNIO
INORGÂNICO**

Dissertação apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto como parte dos requisitos para obtenção do título em Mestra em Química.

Financiadora: FAPESP – Processo 2016/05079-2

Orientador: Prof. Dr. Mario Henrique Gonzalez

Co-Orientadora: Profa. Dra. Andrea P. de Oliveira

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP

2018

Ferreira , Nathalia dos Santos.

Bioacumulação de As em tilápias (*Oreochromis niloticus*): fracionamento das espécies de arsênio inorgânico / Nathalia dos Santos Ferreira . -- São José do Rio Preto, 2018

80 f. : il., tabs.

Orientador: Mario Henrique Gonzalez

Coorientador: Andrea P. de Oliveira

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Química ambiental. 2. Tilápia (Peixe) 3. Bioacumulação. 4. Arsênio. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. II. Título.

CDU – 597

NATHALIA DOS SANTOS FERREIRA

**BIOACUMULAÇÃO DE As EM TILÁPIAS (*OREOCHROMIS
NILOTICUS*): FRACIONAMENTO DAS ESPÉCIES DE ARSÊNIO
INORGÂNICO**

Dissertação apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto como parte dos requisitos para obtenção do título em Mestra em Química.

Financiadora: FAPESP – Processo 2016/05079-2

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Mario Henrique Gonzalez (Orientador – UNESP/São José do Rio Preto - SP)

Prof^a. Dr^a. Roberta Cerasi Urban (Universidade Federal de São Carlos – São Carlos - SP)

Prof^a. Dr^a. Regina Vicenzi Oliveira (Universidade Federal de São Carlos – São Carlos - SP)

São José do Rio Preto - SP

26 de junho de 2018

*Dedico esse trabalho à minha mãe Dorcelina,
por todo incentivo, carinho e amor incondicional.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter iluminado meu caminho e me dado força e sabedoria para superar todas as dificuldades encontradas.

A minha mãe Dorcelina e minha avó Luzia, por todo amor, sacrifício e apoio incondicional, pois sem vocês eu jamais teria me tornado a pessoa que tornei hoje. Agradeço por sempre estarem ao meu lado, confiando e me incentivando.

Ao meu pai Jurandir, que de onde estiver, sei que sempre estará guiando meus passos e me protegendo de todo mal.

Ao Pedro, por todo amor, carinho, paciência e por sempre acreditar em mim.

A todos meus familiares, pelo carinho e compreensão.

Ao Prof. Mario Henrique Gonzalez pela orientação, amizade, incentivo e apoio para que fosse possível realizar esse trabalho. Obrigada por sempre acreditar em mim e foi um prazer trabalhar contigo mais uma vez.

A Profa. Andrea P. de Oliveira pela co-orientação, apoio na escrita do nosso manuscrito e total disponibilidade em contribuir com o trabalho.

A Embrapa Pecuária Sudeste pela infraestrutura concedida para que fosse possível realizar todas as digestões das amostras dos ensaios de bioacumulação, em especial a Profa. Ana Rita de Araújo Nogueira e Aline Fernandes de Oliveira.

A todos do Grupo de Inovação em Química Analítica Verde (GIQAV) pela troca de experiências, ajuda e conhecimentos, em especial à Jéssica, Ana e Josi, pela amizade e momentos de descontração.

Ao programa de Pós Graduação em Química da UNESP São José do Rio Preto pela oportunidade e à todos professores que compartilharam seus conhecimentos, e que dessa forma contribuíram para a minha formação acadêmica.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa (Processo 2016/05079-2).

A vocês, meus sinceros agradecimentos.

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis."

(José de Alencar)

RESUMO

Um mercado que está em expansão é o de pescados, devido à busca por alimentos mais saudáveis e por conta do aumento do poder de compra da população. Entretanto, apesar dos inúmeros benefícios à saúde, os pescados podem estar expostos a diversos contaminantes inorgânicos, como é o caso do arsênio (As) que pode desencadear processos de bioacumulação nas espécies aquáticas por meio da cadeia alimentar. A determinação de As em amostras de pescado é de grande interesse analítico devido principalmente ao seu potencial de toxicidade, uma vez que seus efeitos estão intimamente relacionados às suas formas químicas e seus estados de oxidação, sendo que as formas inorgânicas de As (III) e (V) são mais tóxicas que as suas formas orgânicas. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e realizar ensaios de bioacumulação com As (III) e (V) em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sob condições controladas em laboratório, a fim de verificar a distribuição de As nos tecidos (fígado, estômago, brânquias e filé) e assim determinar parâmetros toxicocinéticos para avaliar a capacidade de absorção e depuração deste elemento nas tilápias. As determinações de As foram realizadas pela técnica de espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) no modo padrão, e a exatidão do método foi confirmada pelas análises dos materiais de referência certificados (NIST 1640a, SRM 1566a, DORM-3 e DOLT-4), com recuperações na faixa de 80 a 110%. As concentrações de arsênio total determinadas nas tilápias expostas ao As (III) e (V) pelos ensaios de bioacumulação variaram entre 0,06 – 8,79 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos fígados, 0,05 – 0,78 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos estômagos, 0,10 – 0,41 $\mu\text{g g}^{-1}$ nas brânquias e 0,11 – 0,36 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos filés, evidenciando que o fígado e o estômago apresentaram maiores capacidades em absorver e acumular o contaminante. Também foi realizado um estudo de fracionamento de arsênio em tecidos de peixes e frutos do mar para avaliar a distribuição do arsênio nas fases lipídicas e proteicas, uma vez que existe uma correlação positiva entre o acúmulo de contaminantes e o conteúdo lipídico dos tecidos. No entanto, estudos adicionais precisam ser realizados para a otimização das metodologias de extrações lipídicas e proteicas, visto que os tecidos dos ensaios de bioacumulação apresentavam baixa concentração de arsênio, não apresentando as recuperações esperadas.

Palavras-chaves: Bioacumulação; arsênio; tilápia; fracionamento; ICP-MS.

ABSTRACT

The fish market is expanding due to the search for healthier foods and because of the increase in the purchasing power of the population. However, despite the numerous health benefits, fish may be exposed to several inorganic contaminants, such as arsenic (As), which can trigger bioaccumulation processes in the aquatic species through the food chain. Thus, the determination of As in fish samples is of great analytical interest mainly due to its toxicity potential, since its effects are closely related to its chemical forms and their oxidation states, whereas the inorganic forms of As (III) and (V) are more toxic than organic forms. The aim of the present work was to develop and perform bioaccumulation assays with As (III) and (V) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under laboratory conditions, in order to verify the distribution of As in tissues (liver, stomach, gills and fillet) and thus determine toxicokinetic parameters to evaluate the absorption and depuration capacity of this element in tilapia. The analyzes were performed using the inductively coupled plasma mass spectrometry technique (ICP-MS) in standard mode, and the accuracy of the method was confirmed by analyzes of the certified reference materials (NIST 1640a, SRM 1566a, DORM-3 and DOLT-4) which presented recoveries in the range of 80 to 110%. The concentrations of total arsenic determined in the tilapia exposed to As (III) and (V) by the bioaccumulation assays ranged from 0.06 - 8.79 $\mu\text{g g}^{-1}$ in the livers, 0.05 - 0.78 $\mu\text{g g}^{-1}$ in the stomachs, 0.10 - 0.41 $\mu\text{g g}^{-1}$ on the gills and 0.11 - 0.36 $\mu\text{g g}^{-1}$ in the fillets, evidencing that the liver and stomach present the greatest capacities to absorb and accumulate the contaminant. A study of arsenic fractionation in fish and seafood tissues was also carried out to evaluate the distribution of arsenic in the lipid and protein phases, since there is a positive correlation between the accumulation of contaminants and the lipid content of the tissues. However, additional studies must be carried out to optimize the methodologies for lipid and protein extractions, since the tissues of the bioaccumulation assays presented low arsenic concentration and did not present the expected recoveries.

Keywords: Bioaccumulation; arsenic; tilapia; fractionation; ICP-MS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais espécies de arsênio	21
Figura 2 - Esquema dos ensaios de bioacumulação	42
Figura 3 - Esquema da extração lipídica	48
Figura 4 - Esquema da extração proteica.....	49
Figura 5 - Curva analítica utilizada para a determinação de As total.....	50
Figura 6 - Tanque utilizado para a aclimatação das tilápias.....	51
Figura 7 - Montagem dos aquários para os ensaios de bioacumulação.....	52
Figura 8 - Coleta dos tecidos de interesse	53
Figura 9 - Distribuição de As total nos diferentes tecidos das tilápias durante os períodos de exposição e depuração do ensaio de bioacumulação com As (III).....	55
Figura 10 - Distribuição de As total nos diferentes tecidos das tilápias durante os períodos de exposição e depuração do ensaio de bioacumulação com As (V).....	56
Figura 11 - Modelo de bioacumulação “unicompartimental” de primeira ordem obtido por regressão não-linear para período de exposição de 7 dias ao As (III).....	58
Figura 12 - Modelo de bioacumulação “unicompartimental” de primeira ordem obtido por regressão não-linear para período de exposição de 7 dias ao As (V).....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Programa de aquecimento do micro-ondas para digestão das amostras de tecidos dos ensaios de bioacumulação	44
Tabela 2 - Parâmetros operacionais e instrumentais do ICP-MS	45
Tabela 3 - Peso e tamanho das tilápias utilizadas nos ensaios de bioacumulação	52
Tabela 4 – Concentrações de As total ($\mu\text{g g}^{-1}$) nos diferentes tecidos das tilápias durante os períodos de exposição e depuração do ensaio de bioacumulação com As (III) ($n = 5, \pm \text{SD}$).....	54
Tabela 5 - Concentrações de As total ($\mu\text{g g}^{-1}$) nos diferentes tecidos das tilápias durante os períodos de exposição e depuração do ensaio de bioacumulação com As (V) ($n = 5, \pm \text{SD}$).....	55
Tabela 6 - Estimativas das constantes de absorção (k_a) e depuração (k_d) e fator de bioconcentração (BCF) para os tecidos de interesse durante 7 dias de exposição ao As (III) e (V)	60
Tabela 7 - Concentração de As total nas amostras de peixes ($n=2, \pm \text{SD}$).....	62
Tabela 8 - Concentração de As no resíduo da extração lipídica e na fração lipídica ($n=2, \pm \text{SD}$).....	63
Tabela 9 – Porcentagem de extrato etéreo (gordura) e proteína bruta para as amostras de filé de Pangasius e Camarão vermelho	64
Tabela 10 - Concentração de As no resíduo da extração proteica e na fração proteica ($n=2, \pm \text{SD}$).....	64
Tabela 11 - Concentração de As total nos tecidos de filé determinado pelos ensaios de bioacumulação e a na nova digestão realizada	66
Tabela 12 - Concentração de As no resíduo da extração lipídica e na fração lipídica dos tecidos de filé do ensaio da bioacumulação.....	66

LISTA DE ABREVIACÕES

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

As - Arsênio

AsB - Arsenobetaina

AsC - Arsenocolina

ATP - Trifosfato de adenosina

BCF - Fator de bioconcentração

CEUA - Comissão de Ética no Uso dos Animais

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONCEA - Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal

DMA - Ácido dimetilarsínico

DNOCS - Departamento Nacional de Obras contra a Seca

DRC - Célula de reação dinâmica

EFSA - Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar

EU-RL-HM - Laboratório de Referência para Metais Pesados em Alimentos e Suplementos da União Europeia

F AAS - Espectrometria de absorção atômica por chama

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura

G FAAS - Espectrometria de absorção atômica por forno de grafite

H₂O₂ - Peróxido de hidrogênio

HNO₃ - Ácido nítrico

IARC - Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer

iAs - Arsênio inorgânico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICP OES - Espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente

ICP-MS - Espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IUPAC – União Internacional de Química Pura e Aplicada

K_a - constante de absorção

K_d – constante de depuração

KED - Discriminação por energia cinética

LANAGRO - Laboratórios Nacionais Agropecuários

LOD - Limite de detecção

LOQ - Limite de quantificação

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MMA - Ácido monometilarsônico

MPA - Ministério da Pesca e Agricultura

MRC - Material de referência certificado

MW-AD - Digestão ácida assistida por radiação micro-ondas

OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OMS - Organização Mundial da Saúde

PNCRC - Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes

SD - Desvio padrão

US EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

v/v – volume/volume

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. IMPORTÂNCIA DOS PESCADOS	17
2.2. TILÁPIA DO NILO (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	18
2.3. ARSÊNIO	20
2.4. BIOACUMULAÇÃO.....	23
2.5. LEGISLAÇÃO	27
2.6. DETERMINAÇÃO TOTAL DE As EM PEIXES.....	29
2.7. ESPECTROMETRIA DE MASSAS COM PLASMA ACOPLADO INDUTIVAMENTE (ICP-MS).....	30
2.8. FRACIONAMENTO.....	32
2.8.1 Extração lipídica.....	34
2.8.2 Extração proteica.....	36
3. OBJETIVOS.....	38
3.1. OBJETIVOS GERAIS.....	38
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
4.1. LIMPEZA DOS MATERIAIS	40
4.2. REAGENTES E SOLUÇÕES.....	40
4.3. ENSAIOS DE BIOACUMULAÇÃO.....	41
4.4. PREPARO DAS AMOSTRAS.....	44
4.5. INSTRUMENTAÇÃO	44
4.6. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO.....	45
4.7. FRACIONAMENTO DAS ESPÉCIES INORGÂNICAS DE ARSÊNIO: EXTRAÇÃO LIPÍDICA E PROTEICA	47

4.7.1	Concentração de As total	47
4.7.2	Fracionamento lipídico e proteico	47
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1.	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO DA METODOLOGIA	50
5.2.	ENSAIOS DE BIOACUMULAÇÃO	51
5.2.1	Determinação da concentração de As nas águas dos aquários	53
5.2.2	Determinação da concentração de As total nos tecidos de tilápias dos ensaios de bioacumulação	54
5.2.3	Determinação dos parâmetros toxicocinéticos	58
5.3.	EXTRAÇÃO E FRACIONAMENTO DAS ESPÉCIES INORGÂNICAS	62
5.3.1	Determinação do As total	62
5.3.2	Fracionamento lipídico e proteico em amostras de peixe e frutos do mar	63
5.3.3	Fracionamento lipídico e proteico nos tecidos dos ensaios da bioacumulação ..	65
6.	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	70

1. INTRODUÇÃO

Uma questão que vem sendo discutida atualmente no âmbito de segurança alimentar são as práticas comerciais adotadas pelos países para a importação e exportação de alimentos, pois cada vez mais tem se buscado alimentos seguros, que atendam a padrões mais rigorosos, livres de contaminantes e que ofereçam menores riscos à saúde dos indivíduos que os consomem. Sendo assim, trabalhos científicos que abordem esse tema agregam e trazem contribuições e informações relevantes na área econômica, ambiental e nas áreas de pesquisa e sustentabilidade.

Os pescados são alimentos mais saudáveis quando comparados a outros tipos de carnes, por serem fontes de vitaminas, proteínas e inúmeros nutrientes, além de possuir baixo teor de gordura saturada que contribuem para o bem-estar e saúde dos indivíduos (ERSOY; ÖZEREN, 2009). Segundo a Associação Brasileira de Piscicultura, o consumo de pescados aumentou no Brasil devido à consciência da população de que os pescados são fontes proteicas mais saudáveis para alimentação, além da melhora significativa no valor do preço dos peixes para os consumidores (CAMPOS, 2018).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda que o consumo per capita anual de pescado seja de 12 kg, entretanto segundo relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) divulgado em 2016, aponta que o consumo mundial anual per capita foi de 19,6 kg, bem acima do recomendado pela OMS (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2016). No Brasil no ano de 2015 o consumo médio per capita de pescados foi de 14,4 kg por habitante, segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2017).

Apesar dos inúmeros benefícios, os pescados podem estar expostos a inúmeros contaminantes inorgânicos, como por exemplo, cobre cádmio, chumbo, arsênio e mercúrio, o que pode provocar riscos adversos a diferentes organismos. O desenvolvimento de procedimentos para avaliar a presença desses contaminantes nas águas e em outros compartimentos ambientais é de grande interesse analítico, pois através de metodologias confiáveis, rápidas e eficientes é possível realizar o seu monitoramento, verificando áreas contaminadas e possíveis ações corretivas (VICENTE-MARTORELL et al., 2009).

Dentre os diversos contaminantes que podem estar presentes nas águas o arsênio (As) pode ser encontrado naturalmente em solos e sedimentos, ou também advindo de atividades antropogênicas. Os pescados, por serem consumidores que estão no topo da cadeia alimentar aquática possuem a tendência em bioacumular As, tanto nas formas inorgânicas, mais tóxicas, quanto nas formas metiladas, de menor toxicidade (BARRA et al., 2000).

Para a determinação de elementos inorgânicos em baixas concentrações em amostras biológicas o emprego técnicas espectroanalíticas que apresentem boa sensibilidade e precisão, baixos limites de detecção, ampla faixa linear e caráter multielementar são desejadas. Dentre as técnicas mais utilizadas estão a espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS), juntamente com a digestão da amostra por radiação micro-ondas em frascos fechados, que garantem resultados mais precisos e exatos nas análises (PÉTURSDÓTTIR et al., 2012; WU et. al., 2014), além de minimizar os problemas de contaminação e manutenção dos elementos voláteis.

Entretanto, as maiorias das técnicas analíticas fazem a determinação da concentração total do elemento, e muitas vezes essa informação não é suficiente. As análises toxicológicas e bioquímicas mostram que a forma química de um elemento e seu estado de oxidação são de grande importância para entender os mecanismos de contaminação nos seres vivos (FRANCESCONI; KUEHNELT, 2004). Muitas vezes, a toxicidade de um determinado elemento está relacionada à forma química ou estado de oxidação, como é o caso do arsênio, que apresenta estados de oxidação +3 e +5, e, portanto possuem diferentes níveis de toxicidade (MARTINEZ et al., 2011). O fato da maioria das técnicas determinarem a concentração total de um elemento evidencia a necessidade de se realizar o monitoramento das diferentes formas químicas de um elemento, que podem ser realizado por estudos de fracionamento e/ou especiação química.

No Brasil, a legislação atual estabelece um limite máximo de arsênio total em pescados de $1000 \mu\text{g kg}^{-1}$, segundo a RDC nº42 de 29 de agosto de 2013. Nesse contexto, devido aos limites restritivos da legislação brasileira, juntamente com a preocupação advinda do aumento do consumo de peixes pela população e possíveis riscos associados a contaminações por arsênio, é de extrema importância conhecer e monitorar as espécies presentes na amostra e não somente seus valores totais. Sendo

assim, o objetivo deste trabalho foi realizar estudos de bioacumulação de As (III e V) em tilápia (*Oreochromis niloticus*), avaliando os processos de absorção e depuração do elemento e em seguida realizar o estudo de fracionamento lipídico e proteico das espécies de As, para verificar em quais das frações o arsênio inorgânico (iAs) se bioacumula em maior quantidade, bem como a determinação dos teores totais do As por espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS). A escolha da espécie estudada (tilápia) tem extrema importância visto que a região Noroeste Paulista é a maior produtora de tilápia de todo o estado de São Paulo.

6. CONCLUSÃO

A espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) mostrou-se eficiente na determinação de arsênio em tecidos biológicos e água, apresentando boa exatidão e precisão. A exatidão do método foi confirmada por meio da análise dos materiais de referência certificados, que apresentaram valores de recuperação na faixa de 80 a 110%. O uso do ICP-MS foi uma boa ferramenta analítica para a determinação de arsênio total nas amostras de tecido de peixe, não apresentando problemas de interferência espectral na razão massa/carga 75, possibilitando o seu uso no modo padrão de funcionamento sem a necessidade de utilizar a célula de colisão (KED).

As concentrações de arsênio total determinadas nas tilápias expostas ao As (III) pelo ensaio de bioacumulação variaram na faixa de 0,06 – 5,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos fígados, 0,15 – 0,75 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos estômagos, 0,10 – 0,41 $\mu\text{g g}^{-1}$ nas brânquias e 0,11 – 0,36 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos filés, enquanto que para as tilápias expostas ao As (V), as concentrações variaram na faixa de 0,15 – 8,79 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos fígados, 0,05 – 0,78 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos estômagos, 0,16 – 0,29 $\mu\text{g g}^{-1}$ nas brânquias e 0,13 – 0,27 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos filés.

Apesar dos valores diferentes de concentrações, o mesmo padrão de bioacumulação nos tecidos foi observado em ambos os ensaios, sendo a ordem fígado > estômago > brânquias > filé. A partir desses resultados pode-se concluir que o fígado e o estômago apresentam um papel importante na absorção e acúmulo do contaminante. Além disso, os ensaios de bioacumulação comprovaram que o filé apresenta grande habilidade em reduzir o contaminante no tecido, quando comparado aos outros órgãos.

A partir dos ensaios de bioacumulação foi possível realizar a determinação dos parâmetros toxicocinéticos (k_a , k_d e BCF) que avaliam a capacidade que os tecidos possuem em absorver e depurar o As.

Por meio dos estudos de fracionamento lipídico e proteico nas amostras de peixes e frutos do mar, foi possível verificar que o arsênio inorgânico encontra-se em maior concentração na fração lipídica nos tecidos de filé de Abrótea e tilápia. No entanto, a mesma tendência não foi observada nos tecidos de Pangasius e Camarão vermelho. A extração proteica se mostrou eficiente somente para a amostra de filé de Pangasius, uma vez que o somatório das concentrações de As na fração proteica e no

resíduo da extração foram muito próximas da concentração determinada no resíduo da extração lipídica.

A mesma metodologia estudada foi aplicada aos tecidos de filé provenientes dos ensaios de bioacumulação, no entanto os resultados são inconclusivos. Assim, torna-se necessário realizar novos estudos de otimização das metodologias para que seja possível aplicar em diferentes tecidos e avaliar a forma com o arsênio se distribui nas frações lipídicas e proteicas.

REFERÊNCIAS

AGAH, H. et al. Concentrations of some trace metals in the tissues of two commercial fishes from Tonekabon. **Journal of the Persian Gulf**, Tehran, v. 1, n. 2, p. 55-64, 2010.

AGAZZI, A.; PIROLA, C. Fundamentals, methods and future trends of environmental microwave sample preparation. **Microchemical Journal**, New York, v. 67, n. 1, p. 337-341, 2000.

ALAM, M. G. M. et al. A comparison of trace element concentrations in cultured and wild carp (*Cyprinus carpio*) of lake Kasumigaura, Japan. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 53, n. 3, p. 348–354, 2002.

ATTAR, K. M. et al. Levels of arsenic in fish from the Arabian Gulf. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 24, n. 2, p. 94–97, 1992.

AUSTRALIA NEW ZEALAND FOOD AUTHORITY (ANZFA). **Australia New Zealand food standards code**: – schedule 19: – maximum levels of contaminants and natural toxicants. 2017.

AYROZA, L. M. S. **Criação de tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus*, em tanques-rede, na Usina Hidrelétrica de Chavantes, Rio Paranapanema, SP/PR**. 2009. 92 folhas. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

BARRA, C. M. et al. Especificação de arsênio: - uma revisão. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 58–70, 2000.

BERVOETS, L.; BLUST, R. Metal concentrations in water, sediment and gudgeon (*Gobio gobio*) from a pollution gradient: relationship with fish condition factor. **Environmental Pollution**, Barking, v. 126, n. 1, p. 9–19, 2003.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, Ottawa, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Amostragem do Plano nacional de controle de resíduos e contaminantes para o ano 2016**. Brasília, 2016. Disponível: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos->

animal/plano-de-nacional-de-controle-de-residuos-e-contaminantes/documentos-da-pnrc/pnrc-2016.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento (MAPA). **Plano nacional de controle de resíduos e contaminantes**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-animais/plano-de-nacional-de-controle-de-residuos-e-contaminantes>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

BRASIL. Portal Brasil. **Produção de peixes no Brasil cresce com apoio de pesquisas da Embrapa**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/01/producao-de-peixes-no-brasil-cresce-com-apoio-de-pesquisas-da-embrapa>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

BRASIL. Resolução nº 166, de 2017. Dispõe sobre a validação de métodos analíticos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 jul 2017. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2721567/RDC_166_2017_COMP.pdf/d5fb92b3-6c6b-4130-8670-4e3263763401>. Acesso em: 5 jun 2018.

BRASIL. Resolução nº 357, de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar 2005. Seção 53, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 22 jul 2017.

BRASIL. Resolução nº 42, de 2013. Dispõe sobre o regulamento técnico Mercosul sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 set. 2013. v. 2, n. 2200, Seção 1, p. 33-35. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0042_29_08_2013.html>. Acesso em: 22 jul. 2017.

BRUM, A. A. S.; ARRUDA, L. F.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 849–854, 2009.

CAMPOS, E. **Consumo de peixes nunca foi tão alto no Brasil**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/jornal-da-pecuaria/consumo-peixes-nunca-foi-tao-alto-brasil-71704>>. Acesso em: 3 mai. 2018.

CHEN, B. C.; LIAO, C. M. Farmed tilapia *Oreochromis mossambicus* involved in transport and biouptake of arsenic in aquacultural ecosystems. **Aquaculture: an international journal devoted to fundamental aquatic food resource**, Amsterdam, v. 242, n. 1/4, p. 365-380, 2004.

CHEN, L. et al. Effects of acclimation on arsenic bioaccumulation and biotransformation in freshwater medaka *Oryzias mekongensis* after chronic arsenic exposure. **Environmental Pollution**, Barking, v. 238, p. 17–25, 2018.

CHEN, W.; LIAO, C, M. Toxicokinetics/toxicodynamics links bioavailability for assessing arsenic uptake and toxicity in three aquaculture species. **Environmental Science and Pollution Research**, New York, v. 19, n. 9, p.3868-3878, 2012.

DE CAMPOS, C, M. et al. Avaliação econômica da criação de tilápias em tanque-rede, município de Zacarias, SP. **Boletim do Instituto da Pesca**, São Paulo, v. 33, n.2, p. 265-271, 2007.

DE LA CALLE, M. B. et al. Is it possible to agree on a value for inorganic arsenic in food?: the outcome of IMEP-112. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, Heidelberg, v. 404, n. 8, p. 2475-2488, 2012.

EL-SAYED, A. M. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp. **Aquaculture: an international journal devoted to fundamental aquatic food resource**, Amsterdam, v. 179, n. 1, p. 149-168, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Pesca e aquicultura: perguntas e respostas**. Brasília, s.d. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/tema-pesca-e-aquicultura/perguntas-e-respostas>>. Acesso em: 17 mar. 2016.

ERSOY, B.; ÖZEREN, A. The effect of cooking methods on mineral and vitamin contents of African catfish. **Food Chemistry**, London, v. 115, n. 2, p. 419-422, 2009.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). Scientific opinion on arsenic in food. EFSA panel on contaminants in the food chain (CONTAM). **EFSA Journal**, Hoboken, 7, 1351-1550, 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Manual sobre manejo de reservatórios para a produção de peixes**. 1988.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The state of world fisheries and aquaculture 2016**: contributing to food security and nutrition for all. 2016.

FIGUEIREDO JUNIOR, C. A.; VALENTE JÚNIOR, A. S. Cultivo de tilápias no Brasil: origens e cenário atual. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, n. 46, 2008, Rio Branco, Acre, Brasil. [**Anais...**] Rio Branco, Acre: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural - SOBER, 2008. p. 1-19.

FIORI, M.; SCINTU, M. F.; ADDIS, M. Characterization of the lipid fraction in lamb meat: comparison of different lipid extraction methods. **Food Analytical Methods**, New York, v. 6, n. 6, p. 1648–1656, 2013.

FOLCH, J. et al. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 226, n. 1, p. 497-509, 1957.

FONG, B. A.; WU, W.-Y.; WOOD, D. W. Optimization of ELP-intein mediated protein purification by salt substitution. **Protein Expression and Purification**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 198–202, 2009.

FONTCUBERTA, M. et al. Total and inorganic arsenic in marketed food and associated health risks for the catalan (Spain) population. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton v. 59, n. 18, p. 10013-10022, 2011.

FOSTER, S. et al. A microwave-assisted sequential extraction of water and dilute acid soluble arsenic species from marine plant and animal tissues. **Talanta: an international journal of analytical chemistry**, London, v. 71, n. 2, p. 537–549, 2007.

FOWLER, B. A. et al. Arsenic. In: NORDBERG, G. F. **Handbook on the toxicology of metals**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 367–406.

FRANCESCONI, K. A.; KUEHNELT, D. Determination of arsenic species: a critical review of methods and applications, 2000–2003. **Analyst**, London, v. 129, n. 5, p. 373-395, 2004.

GARG, S.; GUPTA, R. K.; JAIN, K. L. Sublethal effects of heavy metals on biochemical composition and their recovery in indian major carps. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 163, n. 2–3, p. 1369–1384, 2009.

GONZALEZ, M. H. et al. Microwave-assisted digestion procedures for biological samples with diluted nitric acid: Identification of reaction products. **Talanta: an international journal of analytical chemistry**, London v. 79, n. 2, p. 396–401, 2009.

GRECH, A. et al. Toxicokinetic models and related tools in environmental risk assessment of chemicals. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 578, p. 1–15, 2017.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in biology and medicine**. Oxford: Oxford University Press, 2015.

HERMES, C. A.; TAKAMATSU, A. A.; SEEFELD, M. Cultivo de peixes em biosistema integrado. **Varia Scientia**, Cascavel, v. 7, n. 13, p. 11-24, 2009.

ICH, I. C. H. Q2 (R1): Validation of analytical procedures: text and methodology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONIZATION, Geneva. 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Orientação sobre validação de métodos analíticos: documento de caráter orientativo DOQ-CGCRE-008 revisão 04. Rio de Janeiro, 2011.

IVERSON, S. J.; LANG, S. L. C.; COOPER, M. H. Comparison of the bligh and dyer and folch methods for total lipid determination in a broad range of marine tissue. **Lipids**, Champaign, v. 36, n. 11, p. 1283–1287, 2001.

JARDIM, A. N. O.; CALDAS, E. D. Exposição humana a substâncias químicas potencialmente tóxicas na dieta e os riscos para saúde. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1898–1909, 2009.

JIANG, L.; HE, L.; FOUNTOULAKIS, M. Comparison of protein precipitation methods for sample preparation prior to proteomic analysis. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1023, n. 2, p. 317–320, 2004.

KALANTZI, I. et al. Arsenic speciation in fish from greek coastal areas. **Journal of Environmental Sciences**, Los Angeles, v. 56, p. 300–312, 2017.

KANNAMKUMARATH, S. S. et al. HPLC-ICP-MS determination of selenium distribution and speciation in different types of nut. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, Heidelberg, v. 373, n. 6, p. 454-460, 2002.

KRIS-ETHERTON, P. M. et al. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. **Circulation**, Baltimore, v. 106, n. 21, p. 2747-2757, 2002.

KRUG, F. J. (Ed.). **Métodos de preparo de amostras: fundamentos sobre preparo de amostras orgânicas e inorgânicas para análise elementar**. Piracicaba: FJ Krug, 2008.

KUBITZA, F.; KUBITZA, L. M. M. Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 59, p. 44-53, 2000.

KUREISHY, T. W.; DESILVA, C. Uptake and loss of mercury, cadmium and lead in marine organisms. **Indian Journal of Experimental Biology**, New Delhi, v. 1, n. 31, p. 373-379, 1993.

LIANG, Y.; CHEUNG, R. Y. H.; WONG, M. H. Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: bioaccumulation of trace metals in fish. **Water Research**, New York, v. 33, n. 11, p. 2690–2700, 1999.

LIAO, C. M. et al. Acute toxicity and bioaccumulation of arsenic in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) from a blackfoot disease area in Taiwan. **Environmental Toxicology**, New York, v. 18, n. 4, p. 252–259, 2003.

LICATA, P. et al. Heavy metals in liver and muscle of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) caught in the straits of Messina (Sicily, Italy). **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 107, n. 1–3, p. 239–248, 2005.

LIM, C.; YILDIRIM-AKSOY, M.; KLESZIUS, P. Lipid and fatty acid requirements of tilapias. **North American Journal of Aquaculture**, Bethesda, v. 73, n. 2, p. 188–193, 2011.

MANSOUR, S. A.; SIDKY, M. M. Ecotoxicological studies: 3: heavy metals contaminating water and fish from Fayoum Governorate, Egypt. **Food Chemistry**, Easton, v. 78, n. 1, p. 15–22, 2002.

MARTINEZ, V. D. et al. Arsenic exposure and the induction of human cancers. **Journal of Toxicology**, New York, v. 2011, 2011.

MATOS, W. O. **Desenvolvimento de procedimentos de digestão e especificação para amostras biológicas**. 2011. 111 folhas. Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

MATULIS, D. Selective precipitation of proteins. **Current Protocols in Protein Science**, Hoboken, v. 2016, p. 4.5.1-4.5.37, 2016.

MDEGELA, R. et al. Evaluation of the gill filament-based EROD assay in african sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) as a monitoring tool for waterborne PAH-type contaminants. **Ecotoxicology**, Dordrech, v. 15, n. 1, p. 51–59, 2006

MENDIL, D. et al. Determination of trace metal levels in seven fish species in lakes in Tokat, Turkey. **Food Chemistry**, London, v. 90, n. 1–2, p. 175–179, 2005.

MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R. Influência do processamento da ração no desempenho e sobrevivência da tilápia do nilo durante a reversão sexual. **Revista Brasileira de Zootecnia = Brazilian Journal of Animal Science**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 262-267, 2003.

MOLIN, M. et al. Arsenic in the human food chain, biotransformation and toxicology–review focusing on seafood arsenic. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Stuttgart, v. 31, p. 249-259, 2015.

NANDI, D.; PATRA, R. C.; SWARUP, D. Effect of cysteine, methionine, ascorbic acid and thiamine on arsenic-induced oxidative stress and biochemical alterations in rats. **Toxicology**, Limerick, v. 211, n. 1/2, p. 26–35, 2005.

NARUKAWA, T. et al. Effect of the chemical species of arsenic on sensitivity in graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Analytical Sciences: the international journal of the Japan Society for Analytical Chemistry**, Tokyo, v. 24, n. 3, p. 355–360, 2008.

NOVÁK, P.; HAVLÍČEK, V. Protein extraction and precipitation. In: **Proteomic profiling and analytical chemistry**, Amsterdam, Elsevier, p. 51–62, 2016.

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). **OECD guidelines for the testing of chemicals**. 1994.

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). **Test 203: fish**,

acute toxicity test. In: **OECD guidelines for the testing of chemicals**: section 2, 1992.

OHKI, A. et al. Studies on the accumulation and transformation of arsenic in freshwater organisms II: accumulation and transformation of arsenic compounds by *Tilapia mossambica*. **Chemosphere**: chemistry, physics and biology as focused on environmental problems, Oxford, v. 46, n. 2, p. 325-331, 2002.

OLIVEIRA, L. H. B. **Avaliação dos teores de arsênio em tecidos de tilápias (*Oreochromis niloticus*) e estudo da bioacumulação de As (III)**. 2017. 81 folhas. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2017.

OLIVEIRA, L. H. B. et al. Evaluation of distribution and bioaccumulation of arsenic by ICP-MS in tilapia (*oreochromis niloticus*) cultivated in different environments. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 28, n. 12, p. 2455–2463, 2017.

PAZHANISAMY, K.; VASANTHY, M.; INDRA, N. Bioaccumulation of arsenic in the freshwater fish *Labeo Rohita* (HAM.). **Group**, [S.1], v. 7, n. 14, p. 21, 2006.

PEREIRA, P. et al. Looking at the aquatic contamination through fish eyes: – a faithful picture based on metals burden. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 77, n. 1/2, p. 375–379, 2013.

PÉTURSDÓTTIR, A. H. et al. HPLC-HG-ICP-MS: a sensitive and selective method for inorganic arsenic in seafood. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, Heidelberg, v. 404, n. 8, p. 2185-2191, 2012.

PLANELLO, D. R. F. et al. Mercado da tilápia no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 46, n. 5. 2016

Produção da Pecuária Municipal. Rio de Janeiro: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, v. 44, 2016. Disponível em:
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2016_v44_br.pdf>.
Acesso em: 16 maio 2018.

PRÖFROCK, D.; PRANGE, A. Inductively coupled plasma–mass spectrometry (ICP-MS) for quantitative analysis in environmental and life sciences: a review of challenges, solutions, and trends. **Applied Spectroscopy**, Baltimore, v. 66, n. 8, p. 843-868, 2012.

QUEIROZ, M. A.; LINS, E. S. The national agricultural laboratories of Brazil and the control of residues and contaminants in food. **Food Additives & Contaminants: Part A: chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment**, Abingdon, v. 29, n. 4, p. 482-489, 2012.

ROCHA, D. L. et al. Greening sample preparation in inorganic analysis. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 45, p. 79-92, 2013.

ROSTOM, H.; SHINE, B. Basic metabolism: proteins. **Surgery**, Oxford, v. 36, n. 4, p. 153-158, 2018.

SCHENONE, N. F.; VACKOVA, L.; FERNANDEZ CIRELLI, A. Differential tissue accumulation of arsenic and heavy metals from diets in three edible fish species. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 20, n. 4, p. 364-371, 2014.

SCHLECHTRIEM, C.; FLIEDNER, A.; SCHÄFERS, C. **Determination of lipid content in fish samples from bioaccumulation studies: contributions to the revision of guideline OECD 305. Environmental Sciences Europe**, Heidelberg, v. 24, n. 1, p. 13, 2012.

SIMPSON, D. M.; BEYNON, R. J. Acetone precipitation of proteins and the modification of peptides. **Journal of Proteome Research**, Washington, v. 9, n. 1, p. 444-450, 2010.

SMITH, A. H. et al. Arsenic epidemiology and drinking water standards. **Science**, Washington, v. 296, n. 5576, p. 2145-2146, 2002.

SQUADRONE, S. et al. Heavy metals distribution in muscle, liver, kidney and gill of European catfish (*Silurus glanis*) from Italian Rivers. **Chemosphere: chemistry, physics and biology as focused on environmental problems**, Oxford, v. 90, n. 2, p. 358-365, 2013.

SUSSEL, F. R. Tilapicultura no estado de São Paulo. **Pesquisa e Tecnologia**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 4, 2011.

TAWHEEL, A.; SHUHAIMI-OTHMAN, M.; AHMAD, A. K. Assessment of heavy metals in tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) from the Langat River and Engineering lake in Bangi, Malaysia, and evaluation of the health risk from tilapia consumption. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 93, p. 45-51, 2013.

TEMPLETON, D. M. et al. Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements: definitions, structural aspects, and methodological approaches (IUPAC recommendations 2000). **Pure and Applied Chemistry**, Oxford, v. 72, n. 8, p. 1453-1470, 2000.

THOMAS, R. **Practical guide to ICP-MS: a tutorial for beginners**. Boca Raton: CRC Press, 2013.

TSAI, J. W. et al. Toxicokinetics of tilapia following high exposure to waterborne and dietary copper and implications for coping mechanisms. **Environmental Science and Pollution Research**, New York, v. 20, n. 6, p. 3771-3780, 2012.

TSAI, J. W.; LIAO, C. M. A dose-based modeling approach for accumulation and toxicity of arsenic in tilapia *Oreochromis mossambicus*. **Environmental Toxicology**, New York, v. 21, n. 1, p. 8–21, 2006

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Ecological effects test guidelines**. OPPTS 850.1075: fish acute toxicity test, freshwater and marine. Washington, 1996.

VAN DER OOST, R.; BEYER, J.; VERMEULEN, N. P. . Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, Amsterdam, v. 13, n. 2, p. 57–149, 2003.

VENTURA-LIMA, J. et al. Effects of different inorganic arsenic species in *Cyprinus carpio* (Cyprinidae) tissues after short-time exposure: bioaccumulation, biotransformation and biological responses. **Environmental Pollution**, Barking, v. 157, n. 12, p. 3479–3484, 2009.

VENTURA-LIMA, J.; BOGO, M. R.; MONSERRAT, J. M. Arsenic toxicity in mammals and aquatic animals: A comparative biochemical approach. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 74, n. 3, p. 211–218, 2011.

VICENTE-MARTORELL, J. J. et al. Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 162, n. 2–3, p. 823–836, 2009.

WU, X. et al. The arsenic content in marketed seafood and associated health risks for the residents of Shandong, China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 102, p. 168-173, 2014.

YOSIM, A.; BAILEY, K.; FRY, R. C. Arsenic, the "king of poisons," in food and water. **American Scientist**, New Haven, v. 103, n. 1, p. 34, 2015.

ZHANG, W.; HUANG, L.; WANG, W. X. Arsenic bioaccumulation in a marine juvenile fish *Terapon jarbua*. **Aquatic Toxicology**, Amsterdam, v. 105, n. 3/4, p. 582-588, 2011.