

Avaliação da bioacumulação de metais em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas na região de Londrina

Ana Clara Longhi Pavanello

Raísa Moreira Dardaque

Mucinhato

Margarida Masami Yamaguchi

Janksyn Bertozzi

Mariana Gomes Germano Silva

Joviano Jacson Kleinert

Adilson de Oliveira Junior

1 Introdução

A produção mundial de pescado em 2012 foi de 158 milhões de toneladas, sendo que 136,2 milhões de toneladas foram utilizados para o consumo humano. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) estima que em 2030 a aquicultura seja responsável por mais de 60% da produção mundial de pescado para o consumo humano (FAO, 2016a). O consumo brasileiro de pescado tem aumentado, conquistando 14,5 Kg/habitante/ano, valor superior ao consumo mínimo recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) de 12 Kg/habitante/ano e inferior à média de consumo mundial de 18,8 Kg/habitante/ano (MAPA, 2016).

No comércio mundial, além da qualidade, é crescente a demanda por atributos como segurança alimentar, respeito ao ambiente e produção com responsabilidade social. A cadeia produtiva do pescado tem sido questionada por problemas de falta de qualidade de seus produtos, muito inerentes à qualidade da água de cultivo ou de captura. A água em que os peixes são criados é considerada um ponto crítico de controle, pois atua diretamente na qualidade e inocuidade do produto; além disso, o cultivo deve ser feito de maneira ambientalmente sustentável (GALVÃO; OETTERER; MATTHIENSEN, 2014).

O consumo de pescado é importante, haja vista os vários benefícios fornecidos pelo seu consumo, dentre eles a prevenção de doenças cardiovasculares, funções imunológicas e processos inflamatórios, além de ser fonte de ácidos

graxos poli-insaturados ômega-3 (CONTRERAS-GUZMÁN, 1994). Contudo, todos esses benefícios podem ser afetados por meio de diversos fatores, entre eles, a contaminação por compostos químicos inorgânicos, como os metais pesados. A contaminação de metais em peixes pode apresentar potencial risco à saúde do homem devido à capacidade de bioacumulação e bioconcentração.

Como a cadeia produtiva do pescado no Brasil ainda não apresenta uma estrutura consolidada, os cuidados com a criação são interferentes principais na qualidade do produto, sendo assim, a água utilizada no abastecimento de diferentes tipos de tanques pode influenciar diretamente nos níveis de contaminação por metais. Em geral, concentrações de metais pesados acima dos limites recomendados pelas agências reguladoras é um risco à saúde humana e, dessa forma, pesquisas visando à determinação dos níveis desses elementos em peixes podem auxiliar na decisão de melhores práticas de cultivo, bem como gerar dados indicando a qualidade do produto consumido.

Segundo Pascalicchio (2002), os metais podem ser encontrados em todos os lugares. Eles distinguem-se de outras substâncias tóxicas por sua perenidade. Devido à sua presença no ar, na água, no solo e nos alimentos, estes podem produzir efeitos na saúde. No início, os casos descritos eram agudos de intoxicação, como por chumbo, ou ingestão de mercúrio. Os esforços seguintes concentraram-se em diagnosticar os efeitos crônicos e de longo prazo. A maior preocupação está voltada aos metais com poder bioacumulativo no organismo, como o chumbo, o cádmio, o níquel, o mercúrio, o alumínio, entre outros.

Dentre as várias espécies de peixe cultivadas no Brasil, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi selecionada para estudo, por se destacar em termos de produção no estado do Paraná, além de ser responsável por mais de 50% da produção brasileira. A tilapicultura foi introduzida no Brasil em 1953, em São Paulo. Atualmente, existe grande demanda por essa espécie, tanto para o mercado interno, quanto externo, sendo no cenário internacional os EUA e a Espanha os principais focos da exportação (OLIVEIRA et al., 2007). Os benefícios quanto à ingestão de pescado estão relacionados à saúde humana, porém há riscos decorrentes da contaminação por elementos químicos, como metais tóxicos (SARTORI; AMANCIO, 2012).

Este trabalho avaliou a qualidade do filé de pescado da espécie tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), coletados em propriedades na região de Londrina-PR, em relação à contaminação dos metais pesados chumbo (Pb), cádmio (Cd), zinco (Zn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), cromo (Cr) e cobre (Cu).

2 Importância do consumo de pescado

O Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária dos Produtos de Origem Animal (RIISPOA) define pescado como sendo peixes, crustáceos, moluscos, anfí-

bios e quelônios, habitantes dos meios aquáticos, de água doce ou salgada, os quais são destinados à alimentação humana (BRASIL, 1952). A carne é considerada a porção comestível de maior importância do pescado, a qual é constituída de tecido muscular, conectivo e gordura. Após a extração do filé, em alguns peixes a exemplo da tilápia, as demais partes apresentam outras utilidades. O couro é utilizado na fabricação de bolsas, sapatos, entre outras vestimentas, enquanto o restante, para elaboração de farinha de peixe e/ou a extração do óleo, o qual tem seu principal uso na indústria de cosméticos.

O consumo per capita de carne de pescado no Brasil, quando comparado aos demais tipos (bovina, suína e frango), é extremamente baixo (KUBITZA, 2007). Comparando o consumo de pescado entre as regiões e estados brasileiros, pode-se observar o maior consumo nas regiões com maior disponibilidade, como a costa litorânea e a região norte do país (EMBRAPA, 2016).

A possível causa para o baixo consumo de pescado no Brasil deve-se, provavelmente, à falta de conhecimento sobre a importância da introdução do pescado para a alimentação, o custo do produto, dificuldade do preparo e da perecibilidade da matéria-prima (SIMÕES et al., 1998). Outro empecilho encontrado pela população é quanto à deficiência na distribuição e comercialização do pescado, além da qualidade final do produto (RODRIGUES; TOBINAGA, 2000).

Porém, conforme observado na Figura 1, a produção brasileira de pescado em cativeiro tem como destaque a região Centro-Oeste do país, diferentemente de onde ocorre o maior consumo desse tipo de produto. É possível verificar que o estado do Paraná, no ano de 2015, foi o segundo maior produtor de peixes do Brasil.

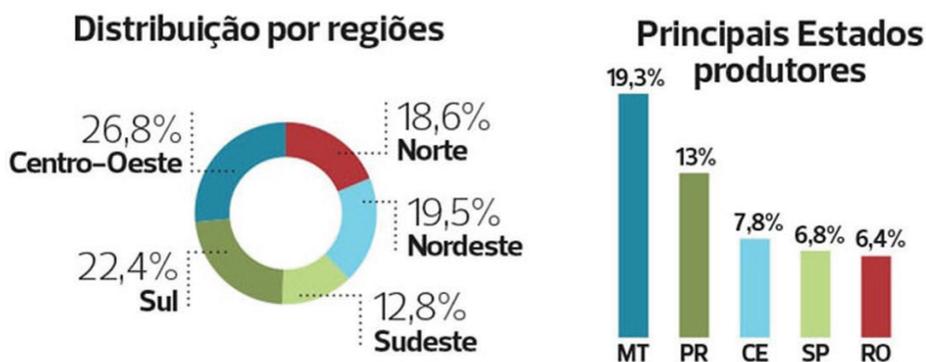


Figura 1 – Produção brasileira de peixes em cativeiro

Fonte: Revista Globo Rural (2015)

Os peixes, de maneira geral, são de grande benefício à saúde humana e, no que diz respeito a sua composição química, é possível encontrar vitaminas

do tipo hidrossolúvel do complexo B e lipossolúveis, como a A e a D, fósforo e cálcio, além de ácidos graxos poli-insaturados (BURGUESS, 1965; SIKORSKI, 1990). Quanto à umidade, esta representa mais da metade de sua composição, variando entre 60-85% e, quando comparado a outros parâmetros, como proteínas, é capaz de variar de forma expressiva ao decorrer do ano.

O valor nutritivo, assim como as propriedades relacionadas com textura e qualidade sensorial, podem variar de acordo com a espécie e demais características relacionadas à mesma (SIKORSKI, 1990; CONTRERAS-GUZMÁN, 1994; ZAITSEV et al., 2004; ORDÓÑEZ et al., 2005). Outro quesito variável é a digestibilidade, porém esta encontra-se sempre acima de 95%, o que é comparativamente superior aos demais tipos de carne e ao leite, sendo justificada pela quantidade de tecido conjuntivo ser baixíssima (OETTERER; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2006).

De acordo com o Instituto de Pesca (2009), a ingestão de pescado dentro dos padrões de qualidade, duas vezes por semana, auxilia na regulação do nível de colesterol, aumentando o HDL-colesterol e diminuindo o LDL-colesterol, popularmente conhecido como colesterol bom e ruim, respectivamente. Além disso, pode auxiliar na perda de peso. Esse alimento é rico em proteínas de alto valor biológico, apresenta todos os aminoácidos essenciais e alto teor de lisina, sendo esta responsável pelo início do processo digestivo. É composto de gorduras e considerado fonte de ômega-3, o qual previne ataques cardíacos, hipertensão arterial, mal de Alzheimer, entre outras doenças.

Estudos realizados com intuito de verificar benefícios do consumo regular de pescado com relação a epidemiologias têm demonstrado efeitos em: regulação dos níveis de triglicerídeos, da pressão arterial, dos mecanismos de coagulação e do ritmo cardíaco; prevenção de câncer, minimizando a incidência de arteriosclerose e AVC isquêmico; prevenção de declínio cognitivo; diminuição dos riscos de depressão, ansiedade e doenças inflamatórias; integridade das membranas celulares e tecidos nervosos (SOUZA et al., 2003). Com relação às grávidas, estudos corroboram com a ideia de que a ingestão frequente faz com que o aparecimento de problemas neuronais nas crianças seja reduzido (SOCCOL; OETTERER, 2003; TACON; METIAN, 2013).

2.1 Tilápia (*Oreochromis niloticus*)

Identificado por ser um peixe de escamas, a tilápia do Nilo, demonstrada na Figura 2, pertence à ordem dos Perciformes (CASTAGNOLLI, 1992; PADUA, 2001), sendo esta a classificação de maior diversidade, inclusive em quantidade de espécies de vertebrados. Pertence à *Cichlidae*, caracterizada pela variedade de ambientes que ocupa, compreendendo águas salobras e doces, com hábitos diur-

nos e preferindo ambientes de água parada ou de pouca correnteza (OYAKAWA et al., 2006; BRITSKI et al., 2007; NELSON, 2006).



Figura 2 – Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Fonte: Brasil (2016)

Essa espécie, considerada a mais cultivada dentre as existentes, possui hábito alimentar fitoplanctóforo. Entretanto, apresenta alto índice de aceitabilidade quanto às rações comerciais e até mesmo as artesanais, elaboradas à base de subprodutos da agropecuária (OLIVEIRA et al., 2007).

Segundo Meurer, Hayashi e Boscolo (2003), em virtude de ótimo desempenho e facilidade na obtenção de alevinos, fácil adaptação aos diversos sistemas de criação e grande aceitação no mercado, a tilapicultura vem sendo considerada uma alternativa ótima para a piscicultura de água doce.

Além das características citadas, os autores Kubitzka e Kubitzka (2000) afirmam que a tilápia dispõe da possibilidade de manipulação hormonal do sexo, a fim de obter populações masculinas, que possuem grande capacidade de aproveitar alimentos naturais em viveiros, bom crescimento em cultivo intensivo (5 g a 500 g em 4 a 5 meses). Apresenta grande rusticidade, suportando bem o manuseio intenso e os baixos níveis de oxigênio dissolvido na produção e, sobretudo, pela alta resistência às doenças, além de possuir a carne branca, de textura firme, de sabor pouco acentuado e de boa aceitação.

A composição físico-química do pescado pode variar de acordo com a espécie, estado nutricional do indivíduo, sazonalidade, idade, parte do corpo, segundo afirma Beirão et al. (2000). No que está relacionado à umidade da tilápia, é possível observar que os valores encontrados em outros estudos por diferentes autores são bem similares, com exceção de Finne et al (1980), cujo valor está acima dos demais, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química (%) do filé de tilápia do Nilo, obtida por diversos autores

Composição química (%) Umidade	Referência
81,80	FINNE et al., 1980
75,20	MACHADO, 1984
75,00	SALES e SALES, 1990
77,50	MARCHI, 1997
79,10	GARDUÑO-LUGO et al., 2003
78,43	GRYSCHKE; OETTERER; GALLO, 2003
76,80	MINOZZO, 2005
76,80	MOREIRA, 2005

Fonte: Filho (2009).

Kubitza (2003) afirma ainda que, em médio prazo, o Brasil poderá se tornar um dos maiores produtores de tilápia no mundo. A maior parte da produção comercial desse tipo de pescado está concentrada nos estados do Paraná, São Paulo, Santa Catarina e Minas Gerais. Juntos, os estados da região Sul citados anteriormente produzem, aproximadamente, 18 mil toneladas por ano.

Apesar de o Paraná ser o maior produtor de tilápia, deve-se observar que no inverno, quando as temperaturas são mais baixas, sua produtividade é prejudicada, colocando em risco os estoques, de forma a sobrecarregar a produção, assegura Kubitza (2000).

No Brasil, o sistema de produção da tilápia tem apresentado avanços tecnológicos e é formado por pequenos e médios produtores. A partir do ano 2000, o cultivo passou a ser realizado mais frequentemente em tanques-rede, sendo que até a década de 1990 o sistema semi-intensivo visava ao uso de viveiros escavados e/ou de barragens (FILHO et al., 2010; SUSSEL, 2011).

Considerando os meios de produção animal, a aquicultura apresenta alta expansão. A partir da década de 1970, esse setor tem manifestado crescimento médio anual de aproximadamente 9%, sendo este superior à pesca extrativa, a qual apresenta aumento em torno de 1,4%, enquanto a criação de animais voltada apenas à produção de carne é de 2,8% (NEIVA, 2008).

A aquicultura é definida pelo cultivo de organismos, cujo ciclo de vida em condições naturais é total ou parcialmente em meio aquático, sendo esta dividida em duas categorias: continental, que é o cultivo em água doce, e a marinha, onde

o cultivo se dá em água salgada. Dentro dessa atividade, existem algumas especialidades, dentre elas a piscicultura, a qual é a criação de peixes nos diferentes tipos de água.

No decorrer das últimas décadas, a tilapicultura passa por um processo de profissionalização, onde o produtor tem voltado sua atenção tanto para o manejo quanto aos insumos utilizados para o cultivo, conforme explica Filho et al. (2010).

Segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura (2015) e dados obtidos pela ANUALPEC (2005), o Brasil possui 12% de toda a água doce do planeta, com 55.457 km² de rios e 35.803 km² de águas represadas, além de ser banhado por uma costa marítima de 8,5 mil quilômetros. Possui ainda condições ambientais e climáticas favoráveis, e, por esse motivo, possui grande potencial para tornar-se um dos maiores produtores de pescado no mundo.

A produção brasileira de pescados tem a sua especialidade diferenciada em cada região do país. No Paraná, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, estados que compõem a região Sul, predominam o cultivo de carpas, tilápias, ostras e mexilhões (BRASIL, 2015).

Dados de Araújo (2015), no que diz respeito à produção de tilápia, mostram que em 2013 o estado do Paraná produziu pouco mais de 44 mil toneladas. Nesse estado, a piscicultura tem sua produção majoritariamente em viveiros escavados, onde o ciclo é de 210 a 250 dias, no qual o peixe é capaz de atingir uma média de 750 g. A tilápia produzida no Paraná tem seu processamento em indústrias locais e é revendida para todo o país.

2.2 Metais pesados

Metais pesados são encontrados no solo, no ar ou na água, provenientes de fontes naturais ou por ação antrópica. Capazes de adentrar na cadeia alimentar, em concentrações elevadas geram problemas de toxicidade e, em humanos, acarretam doenças que podem culminar em morte.

Os metais pesados constituem um grupo importante de contaminantes ambientais que se encontram presentes nos meios hídricos e, ao incorporá-los na cadeia alimentar marinha, de modo a atingir os diferentes níveis tróficos, induzem efeitos deletérios aos organismos vivos expostos, haja vista esse poluente apresentar potencial bioacumulativo tóxico comprovado (LOPES, 2009; VIARENGO, 1989).

Estes metais, conforme Uluozlu et al. (2007), são classificados como essenciais e não essenciais ou potencialmente tóxicos. Aqueles imprescindíveis ao metabolismo biológico, porém em pequenas quantidades, são denominados essenciais, e, de acordo com o ICRP (1974), são exemplificados pelos elementos químicos Ca, K, Fe, Mg, Cu, Li, entre outros. Em contrapartida, os não essenciais são des-

necessários, em quaisquer quantidades, e acima de determinadas concentrações são tóxicos, como Hg, Pb, As e Cd (OGA et al., 2008).

Os autores Celik e Oehlschlager (2007) afirmam que, independente da concentração, os metais tóxicos são altamente prejudiciais à saúde dos animais. Em contrapartida, os metais essenciais apresentam esse malefício apenas quando em excesso. Vale ressaltar que os limites de concentração para ambos os tipos de metais serem causadores de efeitos tóxicos são bem próximos (LIMA; PEDROZO, 2001).

O descarte de metais pesados no meio ambiente tem aumentado progressivamente, assim como seu uso na agricultura e atividades industriais e os problemas ambientais causados por esse motivo, muitas vezes, não são conhecidos (OLIVEIRA, 2007).

Segundo Pascalicchio (2002), os primeiros casos descritos eram de intoxicações agudas, como por chumbo ou ingestão de mercúrio. Os esforços seguintes concentraram-se em diagnosticar os efeitos sutis e de longo prazo. A maior preocupação é voltada aos metais com poder cumulativo no organismo, como o chumbo, cádmio, níquel, mercúrio, alumínio, entre outros.

Russel (2008) afirma que o chumbo (Pb) é um elemento que se apresenta em uma única variedade alotrópica, com baixo ponto de fusão. É classificado como um metal pesado que, em grande concentração, é capaz de causar sérios distúrbios a todo o organismo humano. O sistema nervoso central, rins e sangue são os órgãos mais afetados pela sua toxicidade (WHO, 2000). Em grande parte dos organismos, esse metal não é bioacumulável, contudo, em relação à base da cadeia alimentar aquática, pode haver contaminação de modo a comprometer toda a cadeia (MARTINS, 2004).

O mercúrio (Hg) em sua forma metálica, quando em temperatura ambiente, apresenta-se no estado líquido com baixa pressão de vapor. Porém, quando oxidado, apresenta solubilidade suficiente para gerar toxicidade. Sendo assim, é extremamente perigoso e com poder cumulativo.

O zinco (Zn) é um metal moderadamente maleável à temperatura ambiente, o qual apresenta ponto de fusão moderado. Tem como principal característica o fato de ser razoavelmente reativo. Duarte e Pasqual (2000) afirmam que este elemento é encontrado naturalmente na crosta terrestre. Além disso, esse metal tem grande importância em diversas funções bioquímicas do organismo. Por isso, é o mais encontrado em todos os tecidos corpóreos. Seu acúmulo dá-se em maior quantidade no pâncreas, onde produz metalotioneínas, as quais são capazes de reduzir a toxicidade de outros metais, como Cd, Cu e Hg (ONOSAKA et al., 2002).

O cádmio (Cd), elemento localizado na segunda série de metais de transição, quando comparado ao Zn, tem suas propriedades químicas e físicas semelhantes. Assim como o zinco, sua principal função é o revestimento do ferro. Este elemento pode ter sua ocorrência em águas por meio de fontes de poluição antro-

pogênicas, porém, por vezes, pode ser encontrado naturalmente em águas doces a níveis traços. É considerado um metal de alta toxicidade e sua entrada na cadeia alimentar dá-se por organismos aquáticos (CETESB, 2007).

De acordo com Seibert (2002), o cromo (Cr) encontra-se naturalmente no ambiente aquático na forma de cromato (CrO_4), onde desta maneira pode ser absorvido por fitoplâncton. Quando em seu estado oxidado (Cr^{6+}), apresenta característica carcinogênica e mutagênica. Quando em condições reduzidas de oxigênio, o cromato recebe elétrons, transformando em Cr^{3+} , entretanto, apesar de ser possível observar esse metal na forma tri e hexavalente, o Cr^{6+} é o de maior predominância em espécies aquáticas, sendo acumulado passivamente pelos mesmos. Esse elemento é de fundamental importância no que diz respeito ao metabolismo dos componentes alimentares (carboidratos, proteínas e lipídios), além disso, intensifica a ação da insulina. Contudo, Franco (1999) e Silva (2003) afirmam que em altas concentrações, a toxicidade do cromato é excessiva, haja vista sua capacidade de afetar o material genético, afetar a formação fetal, causar problemas reprodutivos, sendo até mesmo cancerígeno.

O elemento cobre (Cu), segundo Gunther (1998), é amplamente encontrado na natureza no estado elementar. É utilizado como matéria-prima para fabricação de tubulações, inseticidas, fungicidas, algicidas, entre outros. Quando encontrado na água, pode estar na forma dissolvida ou associado aos colóides ou a matérias orgânicas, haja vista sua afinidade pela mesma (LIMA; PEDROZO, 2001). À medida que a concentração desse metal traço aumenta, torna-se tóxico para os peixes, alterando sua estrutura celular e dificultando sua capacidade de locomoção (SIMÃO, 1985; MARTÍNEZ-LÓPEZ et al., 2007). Considerando que o fígado é o órgão mais susceptível à toxicidade, é nele onde há maior concentração e cerca de 1/3 está na musculatura (BRITO, 1988).

2.2.1 Metal pesado em pescado

A piscicultura, de acordo com dados da FAO (2016b), quando manejada de forma inadequada, pode acarretar em danos ao meio ambiente. A descarga orgânica, o uso de antibióticos, entre outros fatores, podem contribuir com o risco de eutrofização e alteração das águas, além da poluição orgânica, afetando o consumo humano.

A ingestão de pescado e seus derivados contaminados é a maior via de intoxicação por poluentes orgânicos e inorgânicos, afirmam Mackay e Clark (1991). Os riscos relacionados ao consumo do pescado contaminado são mais elevados do que apenas a ingestão da água contaminada (FORAN, 1990). Isso ocorre devido ao fato de os peixes serem capazes de concentrar elementos traços em até 10^5 vezes os valores observados no meio ambiente (GUIMARÃES et al., 1982).

Há três formas de intercorrer o processo de acúmulo de metais pesados nos organismos, cada qual com sua peculiaridade. A bioconcentração é o resultado da absorção por meio da superfície respiratória e dérmica da substância presente no ambiente aquático. Esta difere da bioacumulação pelo fato de incluir a dieta alimentar como meio de absorção de metais, conforme observado na Figura 3. Em contrapartida, o processo de biomagnificação dá-se pela transferência através dos níveis tróficos por ingestão direta dos alimentos. Dessa forma, as concentrações mais altas são observadas no organismo e não no alimento (COSTA et al., 2008).

A capacidade de bioacumulação nos tecidos é influenciada por vários fatores, sejam o habitat biológico da espécie, a forma em que os poluentes são encontrados, pH, teor de oxigênio dissolvido em água, dentre outros. Peixes mais velhos são normalmente maiores e, conseqüentemente, sua alimentação ocorre em maior quantidade. Sendo assim, tendem a acumular maiores quantidades de contaminantes em um período maior que os peixes menores dentro da população (LOPES, 2009; INÁCIO, 2006).

Em estudos realizados por Eisenberg e Topping (1984) e Barak e Mason (1990), foi possível concluir que o acúmulo de metal pesado ocorre de maneira diferenciada nos órgãos dos peixes. Além disso, Khaled (2004) afirma que o nível de metal encontrado pode ser variado. A fim de verificar as concentrações de metais, em diferentes regiões do pescado, Staniskiene et al. (2006) verificou que na espinha há maior quantidade quando comparada ao filé. Em contrapartida, ao confrontar os valores encontrados na musculatura com o verificado nos órgãos internos, foi encontrada uma quantidade 12 vezes maior. Vale ressaltar que dentre os órgãos, o fígado foi aquele que apresentou 4 vezes maiores concentrações de Pb, Cu, Cr; já as de Cd, Zn e Ni foram de 9 vezes e, em relação ao Mg, esta foi superior a 100 vezes em relação à carne.

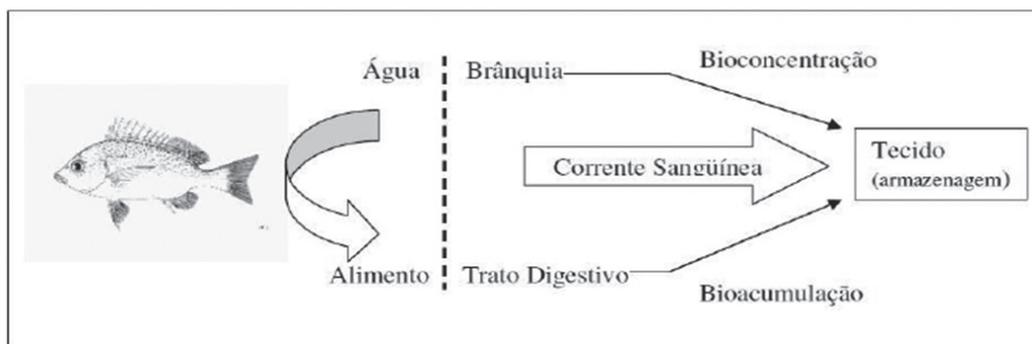


Figura 3 – Modelo de bioacumulação em peixe

Fonte: Baseada em Manahan (1991)

O autor afirma ainda que, com os limites de toxicidade excedidos, devido à alta concentração dos poluentes nos tecidos, há possibilidade de desencadear distúrbios bioquímicos e fisiológicos. Caso esse seja destinado à alimentação humana, a saúde do indivíduo pode estar comprometida. Por esse motivo, a determinação da qualidade química de organismos aquáticos, particularmente o nível de metais de traço no pescado, é extremamente importante (DURAL; GÖKSU; OZAK, 2007).

Os limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos em pescado podem ser observados na Tabela 2. Caso um ou mais dos limites sejam ultrapassados, os produtos cultivados não poderão ser comercializados (BRASIL, 1965).

Tabela 2 – Limite de tolerância de contaminantes inorgânicos em pescado (mg.kg-1)

Contaminante Inorgânico	Limite máximo de Tolerância LTM
Antimônio	2,0
Arsênio	1,0
Cádmio	1,0
Chumbo	2,0
Cobre	30,0
Estanho	250,0
Cromo	0,1
Merúrio	0,5
Níquel	5,0
Zinco	50

Fonte: Brasil (1965).

2.3 Possíveis causas de contaminação de metais

As fontes de contaminação de metais pesados são diversas, que vão desde o descarte exagerado em ambientes aquáticos sem o devido tratamento, até mesmo a alimentação do pescado.

2.3.1 Ambiente aquático

Conforme a Resolução CONAMA n. 20, de 18 de junho de 1986, os diversos tipos de águas (doces, salobras e salinas) devem ser avaliados de acordo com

parâmetros e indicadores específicos. Considerando o tipo de corpo d'água, a fim de assegurar sua utilização, esses parâmetros devem garantir níveis de qualidade para atender às necessidades da população. De forma mais abrangente, o equilíbrio ecológico aquático visa assegurar a saúde e o bem-estar do ser humano.

O manejo da qualidade da água nos viveiros é de fundamental importância no que diz respeito à aquicultura, haja vista a necessidade de mantê-la em condições adequadas para o melhor desenvolvimento do pescado. Quando a água encontra-se em condições inadequadas, pode prejudicar a produção e aumentar a mortalidade dos animais (KONNERUP et al., 2011; BACCARIN; CAMARGO, 2005).

Durante o desenvolvimento da tilapicultura, a qualidade da água é de extrema importância, de modo a ser avaliada antes, durante e depois das atividades. A frequência dessa análise para os sistemas semi-intensivo e intensivo é diária, quando devem ser analisados os parâmetros de temperatura, transparência, pH, oxigênio dissolvido e amônia (FARIA et al., 2013).

A disseminação de efluentes industriais, os quais estão presentes em rios e oceanos, está diretamente associada à presença de metais observada em pescado. Fatores como a idade e os hábitos alimentares desses animais são de extrema importância quanto à capacidade de bioacumular, que ocorre por meio da dieta ou da exposição das brânquias e pele à água. Porém, além disso, deve-se considerar a quantidade e biodisponibilidade dos contaminantes metálicos na água, apesar de o pescado ter a possibilidade de acumular quantidades superiores àquelas encontradas em seu hábitat (ALMEIDA et al., 2000; INÁCIO, 2006; PTASHYNSKI et al., 2002). Devido a essa característica, os organismos aquáticos tendem a ser utilizados como bioindicadores e em estudos de segurança alimentar (TÜRKMEN et al., 2009).

Galvão, Oetterer e Matthiensen (2014) afirmam que, quando o pescado tem seu cultivo em sistema intensivo, ou seja, em tanque-rede, a ocorrência de problemas relacionados à qualidade sanitária é de rara aparição, caso a água utilizada seja de boa procedência. Além disso, segundo as autoras, a aquicultura, principalmente aquela que faz o uso de água doce, tem como vantagem o possível monitoramento da água e, devido a isso, o cultivo poderá estar livre de contaminação. Nota-se que a água é um obstáculo para o cultivo de pescados, já que esta reflete diretamente da qualidade final do produto.

De acordo com dados obtidos em estudos realizados na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé, em Londrina-PR, quanto a metais pesados, observou-se a presença de elementos Pb, Ni, Cd, Cr e Cu. Esses têm sua origem, provavelmente, de atividades antrópicas. Detectou-se, também, a existência de Fe, Al, Mn, Ca e Mg, sendo sua fonte de águas de escoamento (YABE; OLIVEIRA, 1998). Outro estudo executado em Londrina por Bisinote, Yabe e Gimenez (2004), porém desta

vez utilizando-se de oito pontos da rede hidrográfica da cidade, a fim de avaliar a influência dos metais pesados no sistema aquático, foi possível encontrar concentrações de metais como Mn, Ca, Mg, Ni, Cu, Pb, Zn e Cd, sendo os quatro últimos em maiores concentrações. A origem da detecção desses metais pode ser tanto de fontes pontuais e/ou difusas, como a urbanização e industrialização.

2.3.2 Rações

De acordo com Furuya (2010), peixes confinados demandam rações comerciais com adequado balanço de nutrientes e energia para o crescimento e reprodução, já que os peixes não dispõem de alimento natural em quantidade e qualidade que atendam às exigências nutricionais para desempenho produtivo e reprodutivo ótimos.

Mantovani (2005) afirma que as fontes de contaminação predominantes para animais terrestres são: pastagem, ração e águas contaminadas devido a resíduos de pesticidas. Para sistemas aquáticos, a assimilação do metilmercúrio acontece pelo contato direto com a água e pela ingestão de alimentos contaminados.

A formação de mercúrio orgânico (o metilmercúrio – forma bioassimilável do mercúrio) está fortemente ligada ao binômio disponibilidade do mercúrio metálico – atividade metabólica de micro-organismos. Em diferentes ecossistemas aquáticos, mesmo sob idênticas condições de poluição, os teores de mercúrio são muito variados, por interferência de diferentes fatores ambientais, sendo o principal deles o pH. A ingestão de alimentos de origem animal preparados com matéria-prima alimentada com ração contaminada pode causar danos aos humanos (MANTOVANI, 2005).

2.4 Tipos de viveiros

Para alcançar o desenvolvimento sustentável, os produtores precisam encontrar um equilíbrio entre os aspectos ambientais, econômicos e sociais. A aquicultura se mostra como uma atividade economicamente emergente, tentando alojar-se no conceito de sustentabilidade. A pesca extrativista descontrolada comprometeu o estoque pesqueiro dos rios e mares, causando uma diminuição da produção, logo, o aumento dos preços. Assim, a tendência é de que esta atividade diminua e que haja o crescimento da produção de peixes em cativeiro (MILANI, 2015).

Os dois tipos de sistemas comumente utilizados são denominados de semi-intensivo (viveiros escavados) e o sistema intensivo (tanque-rede). O primeiro é mais empregado por produtores técnicos das regiões Sul e Sudeste, os quais utilizam fertilizantes químicos e adubos em grandes quantidades. Essa adubação promove o desenvolvimento dos organismos do plâncton, que auxilia na pro-

dução do oxigênio na água e servem como alimento para a maioria dos peixes cultivados no Brasil. Além do mais, promove a turbidez da água, impossibilitando a penetração dos raios solares, evitando a proliferação de plantas aquáticas e dificultando a predação por aves (ZIMMERMANN; FITZSIMMONS, 2004; MATHIAS, 1998).

Segundo Batista (2012), o viveiro de tanque escavado consiste em uma criação em ambientes controlados, praticados em barreiros, tanques de terra e açudes. O produtor tem a necessidade de se preocupar com adubação, renovação de água e complemento alimentar. Sousa (2005) afirma que, em sistemas de criação semi-intensivo (escavado), os peixes ficam soltos.

Oliveira et al. (2007) descrevem a construção de tanque escavado como sendo caracterizado pelo formato retangular. A área alagada deve ser delimitada entre 2.000 m² a 15.000 m², apresentar largura de no máximo 30,0 m, entrada e saída de água com profundidade, respectivamente, de 1,0 m e de 1,5 m a 2,0 m, com declive no fundo variando de 0,2% a 1%. O tipo de solo influencia na declividade da parede do tanque: o argiloso é de 1:1 e, para tanques construídos em solos com características tendendo a arenoso, a declividade deve ser de até 3:1.

A fim de evitar o transbordamento, deve haver uma parte do viveiro que fique acima do nível da água e esta deve de, no mínimo, 0,30 m e, no máximo, de 0,60 m. Outro fator importante quanto à construção do viveiro é quanto ao espaço para circulação das pessoas, localizado acima das paredes, sendo denominada de crista; deve ter de 1,0 m a 3,0 m. Como regra geral, quanto mais arenoso o solo, mais larga a crista, em razão do seu potencial de solubilidade.

A fim de inundar a área do viveiro, a água pode ser proveniente de açudes, rios, poços e até mesmo de nascentes. Os canais pelos quais a água passar devem estar a céu aberto, haja vista que este fato melhora a oxigenação da mesma. Porém, vale frisar que os canais podem ser revestidos, entretanto o uso de material galvanizado deve ser evitado, já que este pode liberar substâncias tóxicas.

Para os viveiros de sistema intensivo, os autores Rotta e Queiroz (2003) afirmam que a piscicultura em tanques-rede é uma técnica relativamente barata e simples, quando se compara à piscicultura tradicional em viveiros de terra, considerando que esta possibilita a utilização de diversas variedades de ambientes aquáticos, sem a necessidade de alagar novos locais, diminuindo o custo com a construção. Contudo, a produção comercial em tanques-rede está menos difundida quando comparada à produção em tanque escavado.

O tanque rede é uma estrutura de contenção, onde ocorre a troca contínua da água entre o reservatório e seu interior (Figura 4). Com o avanço da implantação da exploração de piscicultura deste tipo, o Brasil pode se tornar um dos maiores produtores mundiais de peixes de água doce.

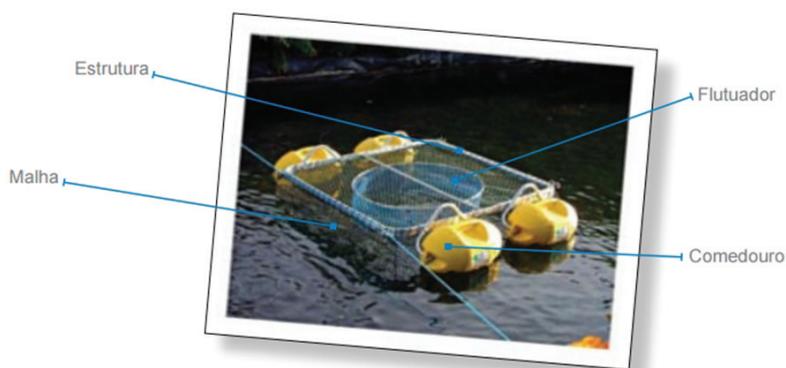


Figura 4 – Imagem de estrutura utilizada em produção em tanque-rede

Fonte: Nogueira (2007)

Segundo a Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) (2016), o tanque-rede permite confinar os peixes até que eles atinjam o peso ideal para seu consumo e em quantidade adequada. Sousa (2005) afirma que em sistemas intensivos (rede), os peixes ficam adensados, com renovação contínua de água e aeração.

De posse das informações anteriores, outro quesito de suma importância para construção e instalação de tanque escavado e rede é quanto ao sistema de abastecimento. Em relação ao tanque escavado, este visa levar água de rio, riacho, lago, açude, nascente, represas, reservatórios ou poços, desde que em boas condições sanitárias, livre de esgotos e produtos como herbicidas, até o viveiro. O processo é composto de três etapas, podendo variar conforme a fonte fornecedora de água: tomada de água da fonte para o canal, canal de abastecimento e tomada de água do canal para o viveiro (SILVA, 1998).

Os corpos d'água mais adequados para instalação da piscicultura de tanque-rede são lagos, represas e barragens, entretanto a qualidade da água desses locais é primordial, a julgar pela impossibilidade de correção da qualidade e características físicas e químicas nesses ambientes aquáticos, diferentemente do que ocorre no tanque escavado. Outro fator que se deve considerar para esse tipo de cultivo é quanto ao uso múltiplo das águas, sendo este estabelecido de acordo com a Lei n. 9433, de 8 de janeiro de 1997, pela Política Nacional de Recursos Hídricos, na qual as águas devem atender a diversas necessidades.

3 Metodologia

Trata-se de uma pesquisa experimental, com dados quantitativos, tendo como objeto de estudo o pescado, considerando o poder cumulativo de metais pesados.

Foi realizada em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Soja, auxiliando quanto à digestão e quantificação dos metais.

3.1 Coleta e preparo das amostras

A coleta das tilápias ocorreu no período de 14 a 18 de dezembro de 2015, em pesqueiros da região de Londrina-PR. A fim de atingir um maior número de amostras provenientes de diferentes bacias hidrográficas e tipos de cultivos, o pescado foi coletado em diferentes municípios, de acordo com a importância econômica de cada local, as quais foram nomeadas pelas letras A, B, C, D, E e F, conforme pode ser observado no mapa (Figura 5) e classificadas de acordo com o tipo de viveiro (Tabela 3). Em cada coleta, foram adquiridas diversas unidades de peixes da espécie *Oreochromis niloticus* (tilápia do Nilo), de modo a serem representativas do lote produzido em cada localidade. Destaca-se que, em todas as coletas realizadas, os peixes estavam em idades próximas.

Tabela 3 – Bacia hidrográfica e tipo de cativeiro

Local de coleta	Bacia hidrográfica	Tipo de viveiro
A	Paranapanema III	Tanque escavado
B	Tibagi	Tanque escavado
C	Tibagi	Tanque escavado
D	Pirapó	Tanque escavado
E	Pirapó	Tanque escavado
F	Tibagi	Tanque-rede

Fonte: Autoria própria.

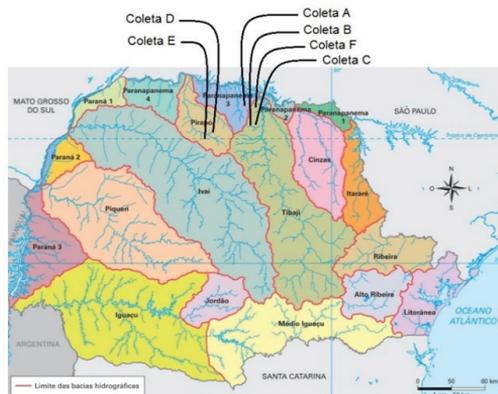


Figura 5 – Locais de coleta e unidades hidrográficas do Paraná

Fonte: Autoria própria

Cada local apresenta determinado atributo. As Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11 são representativas dos locais de coleta A, B, C, D, E e F, onde o tipo de cultivo é caracterizado pelo tanque escavado. A peculiaridade ocorreu quanto à coleta D, devido ao pescado já estar no processo de depuração, etapa pré-abate, definida pela permanência do lote em tanque de alvenaria, sem alimentação e com água corrente, por período variável, de acordo com a incidência de *off flavor*. É de grande importância que a água de depuração seja segura, de forma a evitar a presença de contaminantes químicos e até mesmo microbiológicos.



Figura 6 – Local de coleta A, pertencente à bacia do Paranapanema III: amostras de tanque escavado

Fonte: Autoria própria



Figura 7 – Local de coleta B, pertencente à bacia do Tibagi: amostras de tanque escavado

Fonte: Autoria própria



Figura 8 – Local de coleta C, pertencente à bacia do Tibagi: amostras de tanque escavado

Fonte: Autoria própria



Figura 9 – Coleta proveniente do local D, onde os peixes foram transferidos para tanque de alvenaria para depuração: amostras de tanque escavado da bacia do Pirapó

Fonte: Autoria própria



Figura 10 – Local de coleta E, proveniente da bacia do Pirapó: amostras de tanque escavado

Fonte: Autoria própria



Figura 11 – Local de Coleta F, pertencente à bacia do Tibagi: amostras de tanque-rede

Fonte: Autoria própria

A insensibilização das amostras ocorreu por meio de hipotermia em caixa isotérmica e posteriormente acondicionamento em freezer a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. As amostras passaram por um processo de filetagem, realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Londrina, e, em seguida foram submetidas à trituração com o auxílio do *cutter* (MAINCA CM-14 VERSION). Após esse procedimento, os filés foram homogeneizados, a partir dos quais coletou-se três alíquotas de cada ponto de coleta. Vale ressaltar que, em todas as etapas, o pescado foi preservado em saco plástico, previamente descontaminado com ácido nítrico 5%, congelado a vácuo até o momento da análise.

3.2 Preparo de curva analítica

As curvas de calibração dos metais Zn, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg e Ni foram construídas nas concentrações de 20, 10, 3, 0,5, 0,02, 0,003, 0,0001 e 0 mg.L^{-1} , a partir da diluição do padrão multielementar (SpecSol) de concentração 1000 mg.L^{-1} em água mili-Q. Inicialmente, preparou-se uma solução intermediária por meio da diluição 1:10 da solução de padrão certificada. A partir da diluição da solução estoque, foram elaborados 4 pontos da curva, e para os 4 restantes a partir de solução concentrada, de forma que as concentrações dos analitos estivessem dentro da faixa de linearidade da metodologia, conforme demonstrado nos gráficos abaixo, para cada elemento.

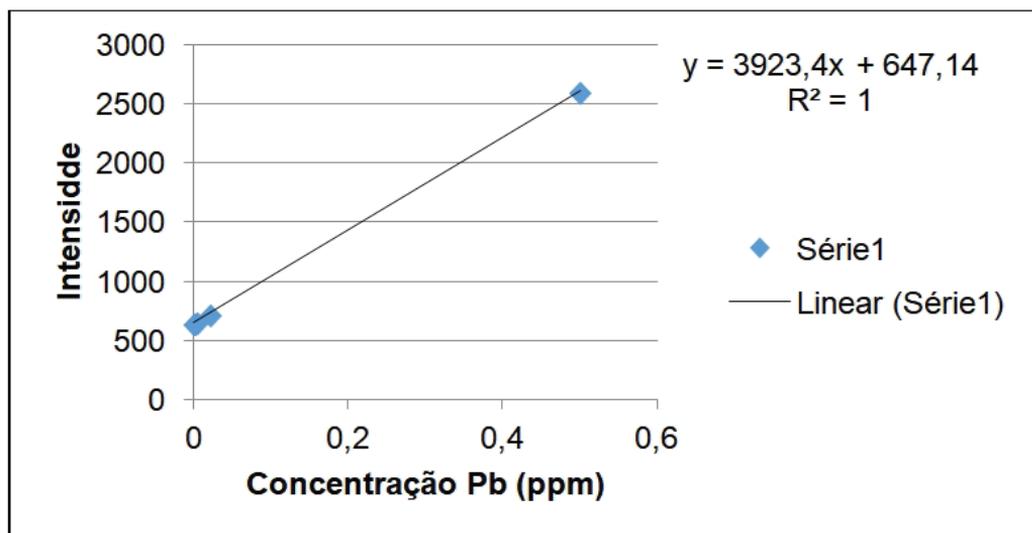
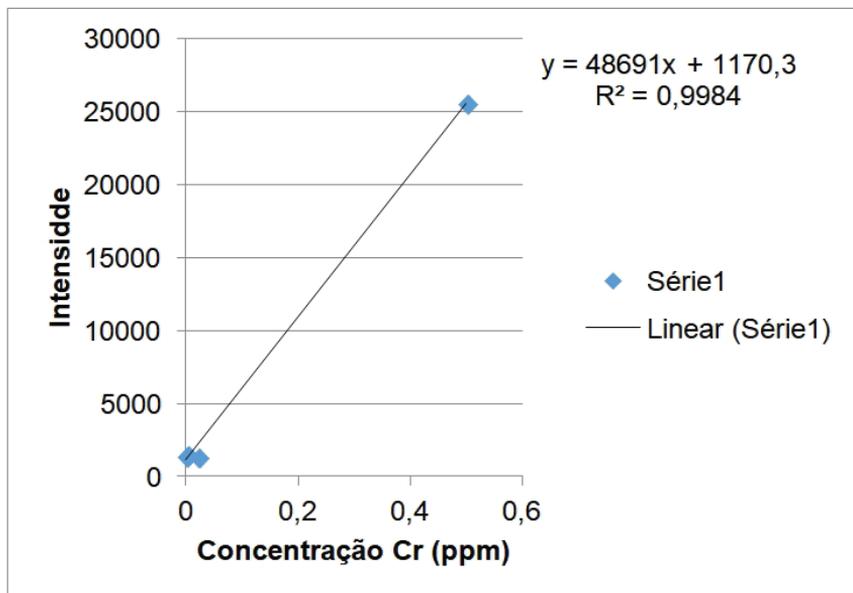
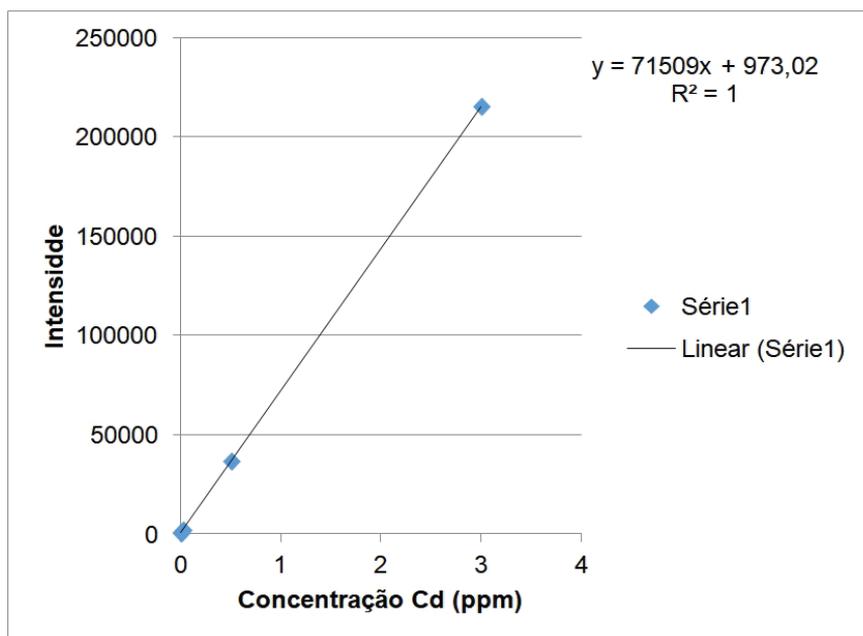
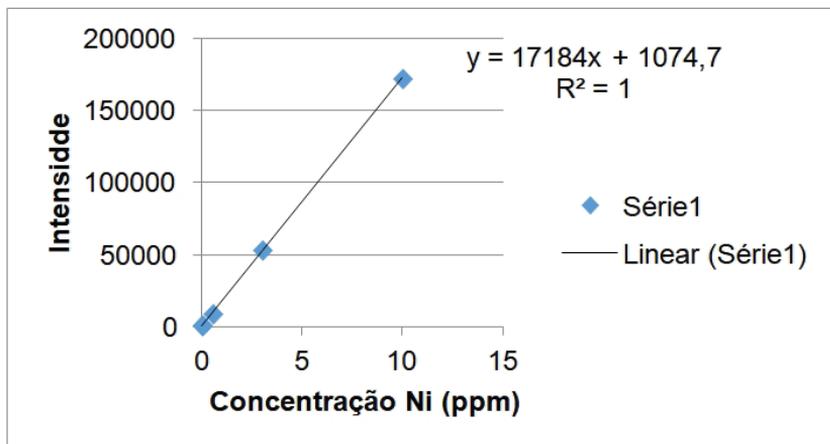
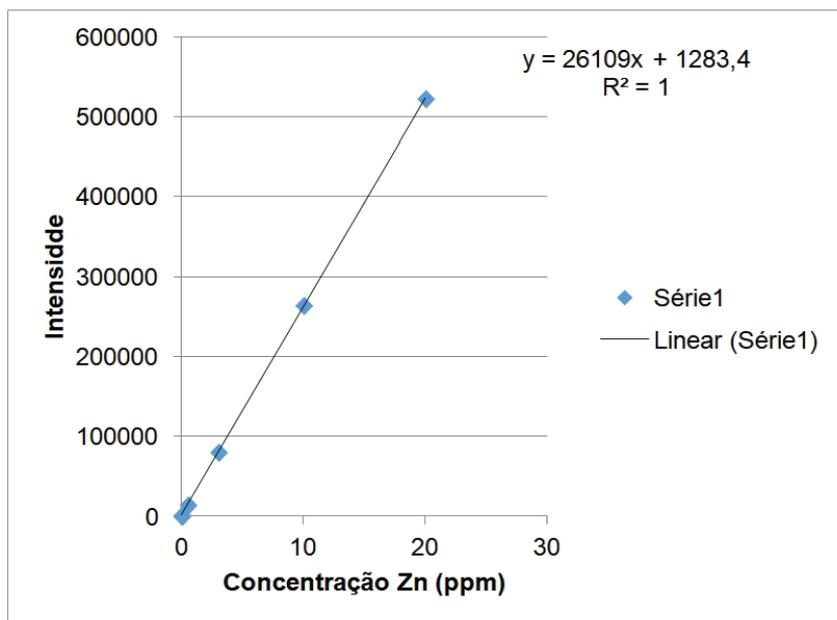
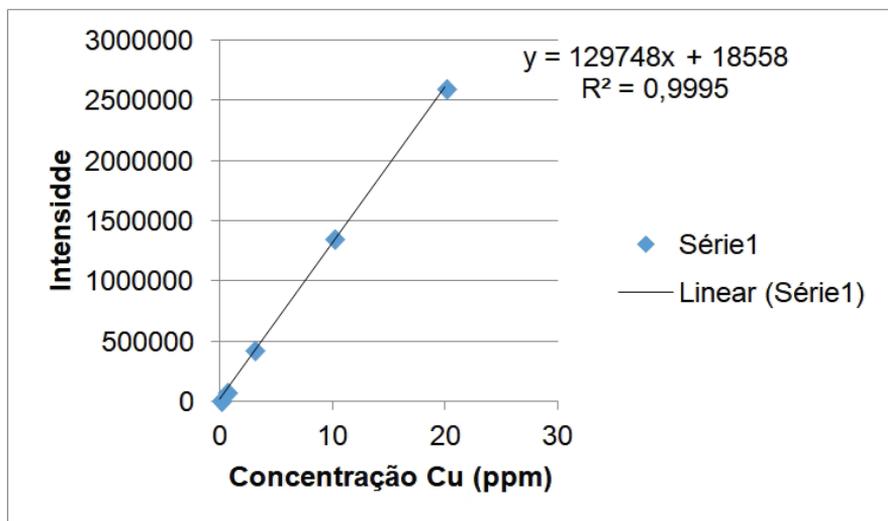
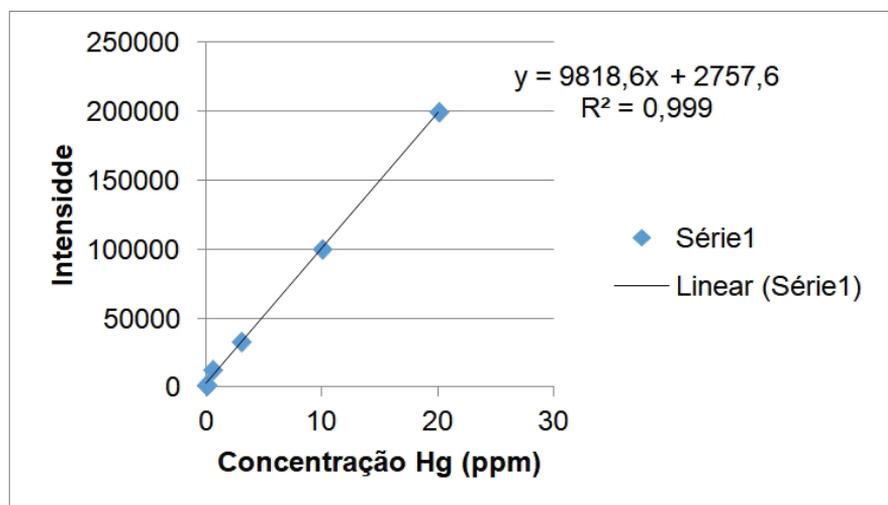


Figura 12 – Curva de calibração Pb

**Figura 13** – Curva de calibração Cr**Figura 14** – Curva de calibração Cd

**Figura 15** – Curva de calibração Ni**Figura 16** – Curva de calibração Zn

**Figura 17** – Curva de Calibração Cu**Figura 18** – Curva de calibração Hg

3.3 Digestão e leitura em ICP-oes

Para decomposição da matéria orgânica realizada em amostras de tilápia do Nilo, foi utilizado o método de digestão úmida feito em forno de micro-ondas de 1600 w de potência (marca CEM, modelo MarsXpress), seguido de determinação analítica em ICP-OES (SILVA, 2009). Iniciou-se o procedimento com a pesagem de 0,5000 g da amostra seca em balança analítica, em tubo de teflon. Inicialmente realizou uma etapa de pré-digestão; para cada amostra adicionou-se

6,0 mL de ácido nítrico (HNO_3), após aguardar 30 minutos em capela, os frascos foram fechados. O procedimento de digestão inicia-se com um pré-aquecimento por meio da aplicação de uma rampa de aquecimento por 10 minutos até 170 °C. Após o pré-aquecimento, a temperatura é mantida constante por 15 minutos, seguido do término da digestão, com 15 minutos de resfriamento. O mesmo procedimento foi realizado para o branco que continha apenas 6,0 mL de ácido nítrico e para a amostra padrão certificada.

Após o término da digestão, a amostra já digerida foi diluída 30 vezes e preparada para análise por técnica de espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES, marca PerkinElmer, modelo Optima 8300 Dual View). Esse método tem como princípio a análise dos metais dissolvidos na solução (extrato ácido) (GINÉ-ROSIAS, 1998).

Inicialmente foi realizada a leitura das soluções padrão para a construção das curvas de calibração, em seguida das amostras, sendo que, a cada triplicata, o equipamento passava por limpeza em água deionizada. O ICP-OES apresenta potência da rádio frequência de 1300 W, sendo a configuração utilizada para leitura das amostras a axial, haja vista sua maior sensibilidade e ser indicada para a determinação de analitos presentes em menor concentração. Outra especificidade de importante relevância diz respeito às condições de vazão do plasma, gás auxiliar e nebulizador, sendo, respectivamente, 8,0 L min^{-1} , 0,2 L min^{-1} e 0,55 L min^{-1} .

3.4 Tratamento estatístico

Os resultados das análises de metais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando o software estatístico *Statistica* 10.0 (STATSOFT, 2011).

4 Resultados e discussão

No total, foram analisados 6 pontos de coleta, sendo amostrados exemplares de peixe tilápia do Nilo com a principal finalidade de avaliar a bioacumulação dos metais cobre (Cu), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn) e mercúrio (Hg) em amostras de pescado (Tabela 4). Fez-se a leitura da amostra certificada de tecido vegetal no intuito de encontrar a melhor maneira de abertura de amostra para assim obter melhores resultados. Essa consistia em analisar amostras certificadas para quantificar o quanto foi extraído e, assim, confirmar o método.

Tabela 4 – Concentração de metais em filé de tilápia do Nilo em base seca (mg.kg⁻¹)

Amostra	Metais pesados (mg.kg ⁻¹)						Pb
	Zn	Cu	Cd	Cr	Hg	Ni	
A	10,52 ± 0,44 ^b	0,44 ± 0,06 ^a	ND	0,08 ± 0,02 ^b	ND	ND	0,48 ± 0,01 ^a
B	12,68 ± 0,04 ^a	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C	8,47 ± 0,38 ^c	0,29 ± 0,04 ^a	ND	0,08 ± 0,01 ^b	ND	ND	0,5 ± 0,09 ^a
D	11,52 ± 0,46 ^{ab}	0,39 ± 0,09 ^a	ND	0,12 ± 0,02^{ab}	ND	ND	0,37 ± 0,06 ^a
E	11,47 ± 0,35 ^{ab}	0,38 ± 0,06 ^a	ND	0,10 ± 0,02^{ab}	0,55 ± 0,01^a	ND	0,50 ± 0,01 ^a
F	12,42 ± 0,75 ^a	0,28 ± 0,01 ^a	ND	0,14 ± 0,01^a	0,20 ± 0,06 ^b	ND	0,51 ± 0,06 ^a

Média de três repetições ± desvio padrão. Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferiram entre si pelo teste de Tukey, ($p \leq 0,05$). Em negrito estão destacados os valores acima do limite permitido pela legislação brasileira. * ND: não detectado.

Fonte: Autoria própria.

Os valores de Zn encontrado nas amostras B e F não diferiram estatisticamente entre si; quanto às amostras D e E, foram estatisticamente iguais às amostras B, F e A, e a amostra C foi estatisticamente inferior às outras amostras. Os níveis dos elementos Cu e o Pb não apresentaram diferenças estatísticas entre as localidades.

Para o elemento Hg, a amostra E apresentou-se significativamente superior à amostra F. Nas demais amostras, as concentrações estão abaixo do limite de detecção da metodologia utilizada. Para o elemento Cr, a amostra B apresentou valor inferior ao limite de detecção; as amostras A e C não obtiveram diferença estatística entre si; as amostras D e E apresentaram valores intermediários, não apresentando diferenças estatísticas quanto às amostras A, C e F; contudo, a amostra F apresentou maiores valores, sendo significativamente superior às amostras A e C.

Para os elementos cádmio (Cd) e níquel (Ni), os valores apresentaram-se inferiores aos limites de detecção da metodologia analítica em todas as amostras avaliadas.

Os limites máximos de tolerância para os metais em estudo, estabelecidos pela legislação brasileira, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Limites máximos de tolerância dos metais em estudo pela legislação brasileira

Contaminante Inorgânico	Limite máximo de Tolerância LTM (mg.kg⁻¹)
Cádmio	1,0
Chumbo	2,0
Cobre	30,0
Cromo	0,1
Mercúrio	0,5
Níquel	5,0
Zinco	50

Fonte: Brasil (1965).

Para o elemento cromo (Cr), as amostras D, E e F apresentaram concentrações acima do limite máximo de tolerância (LMT) estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Tabela 5), indicando certo grau de contaminação. Já as amostras A e C apresentaram-se abaixo do LMT; para a amostra B, o valor é inferior ao limite de detecção (LD) da metodologia.

Diferente do ocorrido para o Cr, nenhuma amostra apresentou concentração de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) acima do limite estipulado pela ANVISA (Tabelas 4 e 5). As concentrações de chumbo (Pb) nos peixes avaliados apresentaram-se em níveis abaixo dos LTM.

Para o mercúrio (Hg), as concentrações observadas na maioria das amostras (A, B, C e D) foram inferiores ao LD. Em contrapartida, na amostra E foram apresentados valores acima do estabelecido, apontando sinais de contaminação (Tabelas 4 e 5).

Concentrações de Cr acima de 0,1 mg.kg⁻¹ em peixes são consideradas prejudiciais, portanto, o fato de 3 amostras terem apresentado níveis de Cr acima do permitido (Tabela 5) indica possível contaminação ambiental por esse metal. A metodologia empregada não permite a especiação do estado de oxidação em que o Cr se encontra na amostra; na sua forma química hexavalente, ele é carcinogênico. Esta forma, que ocorre devido à poluição de origem antrópica, é a forma predominante em águas marinhas (SILVA, 2009).

Quando comparados os valores de concentração de Cr com Silva (2009), em metais pesados em peixes (*Micropogonias furnieri* e *Cynoscion acoupa*) e ostras (*Crassostrea brasiliiana*), oriundos da baía de Sepetiba, de acordo com a técnica de SR-TXRF por meio de Fluorescência de Raios X, foram obtidas médias para a parte comestível de 0,52 mg.kg⁻¹ e 0,46 mg.kg⁻¹ para espécies de peixes e 4,79

mg.kg⁻¹ para espécie de ostra, as quais foram mais elevadas que as alcançadas no presente estudo, com 0,11 mg.kg⁻¹.

Já quando comparado com Souza et al. (2009) em quantificação de metais pesados em peixes de um pesqueiro localizado na cidade de Umuarama-PR, pelo método de absorção atômica, os autores não detectaram Cr para nenhuma de suas amostras, ao contrário deste estudo, o qual os valores encontrados estavam acima do LTM.

As concentrações de Cu e de Zn encontradas nas amostras não ameaçam a saúde dos peixes e não representam risco de contaminação, pois ficaram bem abaixo do LTM. Assim como Lima et al. (2015), analisando a contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, estado do Amapá, por meio de espectrofotômetro de absorção atômica, obtiveram valores abaixo do preconizado pelas agências de fiscalização. Souza et al. (2009) constataram concentração em musculatura de tilápia para Cu de 4,8 mg.kg⁻¹, sendo que a ANVISA preconiza um limite de 30 mg.kg⁻¹, portanto dentro do estabelecido pela legislação. Segundo Kalay e Canli (2000) e Pereira et al. (2010), os metais Cu e Zn são elementos essenciais para o organismo e são facilmente regulados pelo metabolismo, sendo um possível motivo da baixa concentração observada.

Os valores determinados para o elemento Ni apresentaram-se inferiores ao LD em todas as amostras analisadas. Carvalho et al. (2000), estudando a distribuição de metais pesados em peixes costeiros bentônicos da região de Macaé-RJ, empregando espectrofotômetro de emissão atômica de plasma induzido (ICP-AES), apresentaram valores abaixo dos limites máximos de tolerância.

O mesmo comportamento foi observado para o elemento Cd com valores inferiores ao LD. Carvalho et al. (2000) não apontaram concentrações detectáveis em nenhuma das espécies amostradas, do mesmo modo como verificado neste estudo.

As concentrações obtidas para Pb nesse trabalho para todas as amostras foram menores do que o LTM, o qual define valor máximo de 2,00 mg.kg⁻¹, sendo que a média desse foi de 0,47 mg.kg⁻¹. Lima et al. (2015), em seu estudo, observaram baixas concentrações de Pb nos peixes, exceto em uma única amostra, que pode ser em decorrência de abundância de matéria orgânica no local de captura.

Com relação ao Hg, a legislação brasileira estabelece limite máximo de 0,5 mg.kg⁻¹. Neste estudo, as concentrações de Hg encontraram-se abaixo deste valor para as amostras A, B, C D e F; já a amostra E apresentou valores acima do LTM. Silva (2009) encontrou valores abaixo do permitido em todos os exemplares analisados, obtendo valores médios de 0,027 mg.kg⁻¹ na musculatura dos peixes. Em outro trabalho realizado por Kitahara et al. (2000), a fim de verificar o mercúrio total em pescado de água-doce, utilizando como objeto de estudo a tilápia proveniente de diferentes localidades, depararam com concentrações variando de 0,01 mg.kg⁻¹ a 0,02 mg.kg⁻¹.

As amostras com valores acima do LTM podem ter a contaminação decorrente de dois fatores: a alimentação e a água de cultivo. Apesar de no estudo citado anteriormente de Silva (2009) os níveis de metais na ração e na água não terem sido avaliados, é possível descartar a contaminação decorrente da alimentação, tendo em vista que todos os viveiros participantes do presente estudo utilizam ração proveniente de mesmo fornecedor e as amostras encontrava-se em idade de abate, ou seja, com tempo de vida muito semelhante.

Em relação ao elemento Cr₆, verificou-se que ambas as amostras coletadas na bacia do rio Pirapó apresentaram valores superiores ao LTM, possivelmente decorrente de contaminação natural ou antrópica da água nessa região. Valores superiores foram observados em amostras provenientes de tanque-rede no rio Tibagi. Estudos de metais pesados em água, sedimento e peixes demonstraram contaminação por metais no rio Tibagi e seus efluentes, decorrente do transporte desses contaminantes ao longo do rio, proveniente de práticas agrícolas, atividades de mineração, curtume, entre outras fontes antropogênicas (GALUNIN et al., 2014; BARRETO et al., 2010; BISINOTI; YABE; GIMINEZ, 2004).

Com relação ao elemento mercúrio, os valores acima dos limites do LTM foram observados nas amostras de tanque-rede e em um ponto de amostragem da bacia do rio Pirapó de cultivo em tanque escavado. Como exposto anteriormente, contaminações observadas no cultivo em tanque-rede podem estar relacionadas a fontes de contaminação localizadas a grandes distâncias; já os valores de contaminações observadas no tanque escavado podem estar relacionados a alguma fonte poluidora próxima à região de cultivo, tendo em vista que nesse manejo de cultivo é utilizada água de pequenos riachos e nascentes.

O estado do Paraná possui, no total, 16 bacias hidrográficas, das quais o presente trabalho avaliou o uso de três: Tibagi, Pirapó e Paranapanema III. De forma abrangente, a bacia do Tibagi tem seu nome originado de seu principal rio de mesmo nome, Tibagi, o qual apresenta cerca de 24.712 km² de área, porém esta bacia pode ser dividida em três partes, sendo: alto, médio e baixo Tibagi. A água captada tem os mais diversos usos, como atividade agrícola, industrial e agropastoril, dependendo da concentração de cidades pertencentes ao local. O uso no meio rural expõe a água a um maior potencial de contaminação, dado o grande volume de agrotóxicos utilizados.

Informações da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA (2016) do governo do Paraná, a bacia do Pirapó apresenta área total de 5.067 km², enquanto a do Paranapanema III possui 3.776 km² de área total. Para ambas as regiões, vale ressaltar que, devido às características favoráveis do solo, seu uso é intenso de modo a comprometê-lo e, como consequência, tem-se o assoreamento dos cursos de água e a deterioração de mananciais, estando sujeito à poluição e contaminação de compostos químicos.

De acordo com Alves et al. (2008), em estudo realizado a fim de verificar a avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá-PR, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, no que diz respeito a metais pesados, foram analisados Al, Zn, Cu, Ni, Mg e Fe e nenhum desses encontravam-se acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n. 357/2005, a qual classifica como classe II o corpo de água doce que pode ser utilizada para aquicultura e atividade pesqueira.

A Tabela 6 representa o rendimento obtido das amostras, sendo que esse possui interferência direta no valor econômico. No que diz respeito à tilápia do Nilo, essa ainda apresenta como variável o método de retirada da pele, haja vista seu valor comercial e quanto ao tipo de corte para decapitação. Segundo Souza et al. (1999), o maior rendimento do filé (36,67%) é obtido por meio da retirada da pele com auxílio de um alicate e depois a filetagem.

Tabela 6 – Rendimento dos filés obtidos da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Local da coleta	Filé	Carcaça	Rendimento
A	1883,92g	3928,03g	32,00%
B	1371,02g	2861,10g	32,39%
C	1795,52g	3549,73g	33,58%
D	1221,87g	4278,70g	22,20%
E	1723,76g	1726,47g	49,95%
F	2528,43g	6280,59g	28,70%

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a literatura, o rendimento da parte útil do pescado, denominada corpo limpo, varia de 25,4% até, aproximadamente, 42%, conforme o peso do animal, método utilizado, tipo de corte da cabeça, além do tipo de remoção da pele e nadadeiras (MACEDO-VIEGAS et al., 1997; SOUZA; MACEDO-VIEGAS, 2001; SOUZA et al., 1999). Comparando esses valores com os obtidos no presente estudo, pode-se verificar que em todas as coletas, exceto para a D, o rendimento está de acordo com o previsto na bibliografia, ou até superior, como no caso da coleta realizada no local E.

Em estudos realizados com a tilápia do Nilo com peso de abate entre 400 g a 600 g, o rendimento de filé obtido foi superior a 32% (FREITAS et al., 1979), nessa mesma situação, Souza et al. (1997) apontam um rendimento de 35,8% a 37,2%. Quando o peso do pescado se encontra em torno de 250 g a 450 g,

Macedo-Viegas et al. (1997) atingiram rendimento de 32,15% a 40,39%. Em contrapartida, o menor rendimento, 25,4%, pode ser observado em peixes com peso médio de 585 g, segundo os autores Clement e Lovell (1994).

Conforme informações cedidas pelo proprietário do frigorífico, os peixes são abatidos com peso em torno de 700 g, entretanto, devido à necessidade do mercado, algumas propriedades estavam abatendo com peso de 450 g a 500 g, como no caso da coleta D, onde o pescado encontrava-se em depuração, o qual consiste em deixá-lo em um reservatório revestido de alvenaria com água corrente e alta vazão, e tem como função a limpeza do trato digestório. Esse processo dura cerca de 12 a 24 horas. Dessa forma, o abate precoce do peixe poder ser uma justificativa para seu baixo rendimento.

5 Conclusão

As concentrações de Zn, Cu, Ni, Ca e Pb nos exemplares de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) provenientes de diferentes localidades da região de Londrina-PR não implicam em riscos para a saúde humana. Já as concentrações de Cr e Hg apresentaram níveis de contaminação acima do tolerado pela legislação, sendo que seu consumo em longo prazo poderá afetar a saúde humana. Considerando este trabalho pioneiro no que diz respeito à coleta direta dos viveiros, trabalhos futuros podem estender as amostragens, assim como analisar a água dos viveiros, os sedimentos no caso dos escavados e a ração fornecida para os peixes, de modo a determinar a possível causa da contaminação.

Referências

- ALMEIDA, J. A.; NOVELLI, E. L. B.; SILVA, M. D. P. et al. Environmental cadmium exposure and metabolic responses of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Environmental Pollution*, v. 114, n. 2, p. 169-175, 2000.
- ALVES, E. C.; SILVA, C. F.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.; FILHO, E. E. S.; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. *Acta Sci. Technol*, Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.
- ANUALPEC. O desenvolvimento recente da aquicultura brasileira. In: FNP Consultoria e Agroinformativos. ANULPEC. São Paulo: Instituto FNP, 2005. p. 252-256.

- BACCARIN, A. E.; CAMARGO, A. F. M. Characterization and evaluation of the feed management on the effluents of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 1, p. 81- 90, 2005.
- BARAK, N. A. E.; MASON, C. F. Mercury, cadmium and lead concentrations in five species of freshwater fish from eastern England. **Science of the Total Environment**, v. 92, p. 257-263, 1990.
- BARRETO, W. J. et al. Study on the historical distribution of metals in aquatic sediments. **Clean – Soil, Air, Water**, v. 7, n. 38, p. 608-613, 2010.
- BATISTA, R. E. Empresa de pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Sistemas semi-intensivo e intensivo de peixes**, 2012. Disponível em: <<http://www.emparnaico.com/2012/03/sistemas-semi-intensivo-e-intensivo-de.html>>. Acesso em: 8 maio 2015.
- BEIRÃO, L. H. et al. Processamento e industrialização de moluscos. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP “TECNOLOGIA PARA APROVEITAMENTO INTEGRAL DO PESCADO”, Campinas. **Anais...** Campinas: ITAL/CTC, 2000. p. 38-84.
- BISINOTI, M. C. et al. Avaliação da influência de metais pesados no sistema aquático da bacia hidrográfica da cidade de Londrina-PR. **Revista Analytica**, n. 8, dez.-jan. 2004.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Decreto n. 691, de 13 de março de 1962. Normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**. Brasília, 1965.
- _____. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n. 20, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**. Brasília, 1986.
- _____. Decreto n. 30.691, de 29 de março de 1952. Aprova o novo regulamento de inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**. Brasília, 1952.
- _____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Manual de inspeção para identificação de espécies de peixes**

e valores indicativos de substituições em produtos da pesca e aquicultura. Brasília: MAPA, 2016.

_____. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Pescado**. 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/pescado>>. Acesso em: 7 maio 2016.

BRITO, F. D. **Toxicologia humana e geral**. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1988.

BRITSKI, H. A. et al. **Peixes do Pantanal: manual de identificação**. Vol. 1. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2007.

BURGUESS, G. H. O. **El pescado y las industrias derivadas de la pesca**. Zaragoza: Acribia, 1965.

CARVALHO, C. E. V. et al. Distribuição de metais pesados em peixes costeiros bentônicos da região de Macaé, RJ, Brasil. **Ecotoxicology and Environmental Restoration**, v. 3, n. 2, 2000.

CASTAGNOLLI, N. **Piscicultura de água doce**. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

CELIK, U.; OEHLENSCHLAGER, J. High contents of cadmium, lead, zinc and copper in popular fisher products sold in Turkish supermarkets. **Food Control**, v. 18, n. 1, p. 258-261, 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>. Acesso em: 3 abr. 2016.

CLEMENT, S., LOVELL, R. T. Comparison of processing yield and nutrient composition of culture Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, v. 119, p. 299-310, 1994.

CONTRERAS-GUZMÁN, E.S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: FUNEP, 1994.

COSTA, C. R. C.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

- DUARTE, R. S.; PASQUAL, A. Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energia na Agricultura**, v. 15, n. 1, p. 46-58, 2000.
- DURAL, M.; GÖKSU, M. Z. L.; OZAK, A. A. Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. **Food Chemistry**, v. 102, p. 415-421, 2007.
- EISENBERG, M.; TOPPING, J. J. Trace metal residues in shellfish from Maryland waters, 1976-1980. **Journal of Environmental Science and Health B**, v. 19, p. 649-671, 1984.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Aquicultura e a atividade pesqueira**. Disponível em: <<http://cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=aquic:::27>>. Acesso em: 12 mar. 2016.
- FARIA, R. H. S.; MORAIS, M.; SORANNA, M. R. G. S.; SALLUM, W. B. **Manual de criação de peixes em viveiros**. Brasília: Codevasp, 2013.
- FILHO, J. D. S.; FRASCÁ-SCORVO, C. M. D.; SOUZA, F. R. A. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **R. Bras. Zootec.**, v. 39, p. 112-118, 2010.
- FILHO, S. P. J.; FONSECA, V. K.; HOLBIG, L. Avaliação de metais em pescado da região do Pontal da Barra, Laguna dos Patos, Pelotas-RS. **Ecotoxicol. Environ. Contam.**, Pelotas, v. 8, n. 1, p. 105-111, nov. 2012.
- FILHO, P. R. C. O. **Elaboração de embutido cozido tipo salsicha com carne mecanicamente separada de resíduos de filetagem de tilápias do Nilo**. Jaboticabal, 2009. 115f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.
- FINNE, G. et al. Minced fish flesh from nontraditional gulf of Mexico finfish species: yield and composition. **Journal of Food Science**, v. 45, p. 1327-1329, 1980.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. Article 9: Aquaculture Development. In: **Code of conduct for responsible fisheries**. Disponível em: <[http://www.fao.org/docrep.005/v.878e/v.878e00.htm#9](http://www.fao.org/docrep/005/v.878e/v.878e00.htm#9)>. Acesso em: 3 maio 2016a.

- _____. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **The state of world fisheries and aquaculture (SOFIA)**. Disponível em: <<http://www.fao.org/documents/card/en/c/097d8007-49a4-4d65-88cdfcaf6a969776/>>. Acesso em: 7 maio 2016b.
- FORAN, J. A. Toxic substances in surface waters. **Environm. Sci. Technol.**, v. 24, p. 604-608, 1990.
- FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. São Paulo: Atheneu, p. 307, 1999.
- FREITAS, J. V. F. et al. Estudos de alguns parâmetros biométricos e da composição química, inclusive sua variação sazonal, da tilápia do Nilo, *Sarotherodon niloticus* (L.), do açude público “Paulo Sarasate” (Reriutaba, Ceará, Brasil), durante os anos de 1978 e 1979. **Bol. Tec. Dep. Nac. Obras Contra Secas**, Fortaleza, v. 37, n. 2, p. 135-151, 1979.
- FURUYA, W. M. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 2010.
- GALUNIN, E. et al. Cadmium mobility in sediments and soils from a coal mining area on Tibagi River watershed: Environmental risk assessment. **Journal of Hazardous Materials**, n. 265, p. 280-287, 2014.
- GALVÃO, J. A.; OETTERER, M.; MATTHIENSEN, A. Sustentabilidade na produção do pescado: qualidade da água. In: OETTERER, M.; GALVÃO, J. A. **Qualidade e processamento de pescado**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. p. 1-30.
- GARDUÑO-LUGO, M. et al. Comparison of growth, fillet yield and proximate composition between Stirling Nile tilapia (wild type) (*Oreochromis niloticus*, *Linnaeus*) and red hybrid tilapia (Florida red tilapia X Stirling red *O. Niloticus*) males. **Aquaculture Research**, v. 34, p. 1023-1028, 2003.
- GRYSCHKEK, S. F. B.; OETTERER, M.; GALLO, C. R. Characterization and frozen storage stability of minced Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and red tilapia (*Oreochromis spp.*) **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 12, n. 3, p. 57-69, 2003.
- GUIMARÃES, J. R. D. et al. Concentração de metais pesados em algas bentônicas da Baía da Ribeira, Angra dos Reis: Com sugestão de espécies monitoras. **Ver. Brasil. De Biol.**, v. 42, p. 553-557, 1982.

- GUNTHER, W. M. R. **Contaminação ambiental por disposição inadequada de resíduos industriais contendo metais pesados: estudo de caso**. 1998. 129f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- ICRP. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **The concept and use of reference animals, and plants for the purposes of environmental protection**: Publication. 23. Annals of the ICRP. 1974. Disponível em: <http://www.icrp.org/docs/Environm_ICRP_found_doc_for_web_cons.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2016
- INÁCIO, A. F. **Metalotioneína e metais em *Geophagus brasiliensis* – Acará**. 2006. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, RJ.
- INSTITUTO DE PESCA. **Importância do pescado na alimentação**. *Jornal Marítimo-Pescador*, Bertioga, n. 69, ano V, set. 2009. Disponível em: <http://www.pesca.sp.gov.br/noticia.php?id_not=5180>. Acesso em: 6 maio 2015.
- KHALED, A. Heavy metal concentrations in certain tissues of five commercially important fishes from El-Mex Bay. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, Cairo, v. 8, n. 1, p. 51-64, 2004.
- KALAY, M.; CANLI, M. Elimination of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) metals from tissues of a freshwater fish *Tilapia zilli*. *Turkish Journal of Zoology*, v. 24, p. 429-436, 2000.
- KITAHARA, S. E. et al. Mercúrio total em pescado de água doce. *Cienc Tecnol Aliment.*, v. 20, n. 2, p. 267-273, 2000.
- KONNERUP, D.; TRANG, N. T. D.; BRIX, H. 2011 Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics. *Aquaculture*, v. 313, p. 57-64, 2011.
- KUBITZA, F.; KUBITZA, L. M. M. Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade. *Panorama da Aquicultura*, v. 10, n. 59, p. 44-53, 2000. Disponível em: <<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/Revistas/59/Tilapias59.asp>>. Acesso em: 10 maio 2015.

KUBITZA, F. O mar está pra peixe... pra peixe cultivado. **Panorama da Aquicultura**, v. 17, n. 100, p. 14-23, 2007.

_____. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí: Acqua Supre, 2000.

_____. A evolução da piscicultura no Brasil: produção e mercados. **Panorama Aquicultura**, v. 13, 2003.

LIMA, et al. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **ACTA AMAZONICA**, v. 45 n. 4, p. 405-414, 2015.

LIMA, I.V.; PEDROZO, M. F.M. **Ecotoxicologia do cobre e seus compostos** (Série Cadernos de Referências Ambientais, Vol. 2). Salvador: Centro de Recursos Ambientais – CRA, 2001. Disponível em: <<http://web.cena.usp.br/apostilas>>. Acesso em: 11 jan. 2016.

LOPES, A. M. R. M. **Avaliação da contaminação em metais pesados no pescado: análise da situação do pescado comercializado em Portugal e dos alertas emitidos pelo sistema RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed)**. 2009. 173f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

MACEDO-VIEGAS, E. M.; SOUZA, M. L. R.; KRONKA, S. N. Estudo da carcaça de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), em quatro categorias de peso. **Rev. Unimar**, v. 19, p. 863-870, 1997.

MACHADO, Z. L. **Tecnologia de recursos pesqueiros: parâmetros, processos, produtos**. Recife: SUDENE-DRN-Div, 1984.

MACKAY, D.; CLARCK, K. E. Predicting the environmental partitioning of organic contaminants and their transfer to biota. In: JONES, K. C. (ed.). **Organic contaminants in the environment**. New York: Elsevier, 1991.

MANAHAN, S. E. **Toxicological Chemistry**. Michigan: Lewis Publishers, 1991.

MANTOVANI, D. M. B. Contaminantes inorgânicos na cadeia produtiva do pescado. In: **I Simpósio de Controle do Pescado: Qualidade e Sustentabilidade**. São Vicente, 2005.

- MARCHI, J. F. **Desenvolvimento e avaliação de produtos à base de polpa e surimi produzidos a partir de Tilápia Nilótica, *Oreochromis niloticus***. 1997. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MARTÍNEZ-LÓPEZ, B.; MONTES, C.; BENAYAS, J. The non-economic motives behind the willingness to pay for biodiversity conservation. **Biological Conservation**, v. 139, n. 3, p. 67-82, 2007.
- MARTINS, R. J. E. **Acumulação e liberação de metais pesados por briófitas aquáticas**. 2004. 650f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- MATHIAS, M. A. C. **Para os iniciantes**. 1998. Disponível em: <<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/revistas/49/parainiciantes49.asp>>. Acesso em: 13 maio 2016.
- 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**, v. 32, n. 2, p. 262-267, 2003.
- MILANI, T. J. **Introdução à piscicultura sustentável: viveiros escavados e tanques-rede**. Disponível em: <[http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/BB1E9E-3204309460832574D0006B4176/\\$File/cartilha%20piscicultura%20forum%20das%20aguas.pdf](http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/BB1E9E-3204309460832574D0006B4176/$File/cartilha%20piscicultura%20forum%20das%20aguas.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2015.
- MINOZZO, M. G. **Elaboração de patê cremoso a partir de filé de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e sua caracterização físico-química, microbiológica e sensorial**. 2005. 127f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- MOREIRA, R. T. **Desenvolvimento de embutido emulsionado de tilápia (*Oreochromis niloticus*) estabilizado com hidrocolóides**. 2005. 156f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- NEIVA, G. S. **Sumário sobre a pesca e aquicultura mundial e no Brasil (2000/2001), 2008**. Disponível em: <<http://www.pescabrasil.com.br/comercial/artigo9.asp>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

- NELSON, J. S. *Fishes of the world*. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.
- NOGUEIRA, A. *Criação de tilápias em tanques-rede*. Salvador: Sebrae Bahia, 2007. Disponível em: <<http://www.almanaquedocampo.com.br/imagens/files/Tilapia%20tanque%20.ed.%20sebrae.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2016.
- OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. *Fundamentos de toxicologia*. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.
- OLIVEIRA, E. G. et al. Produção de tilápia: mercado, espécie, biologia e cria. *Circular Técnica* 45, Teresina, 2007. Disponível em: <http://www.cpamn.embrapa.br/publicacoes/new/circular/circular_pdf/circular_45.PDF>. Acesso em: 12 abr. 2015.
- OLIVEIRA, M. R. *Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da Cemig, no município de Três Marias, Minas Gerais*. 2007. 150f. Dissertação (Doutorado em Geologia ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- ONOSAKA, S.; TETSUCHIKAHARA, N.; MIN, K. S. Paradigm shift in zinc: metal pathology. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, v. 196, n. 1, p. 1-7, 2002.
- ORDÓÑEZ, J. A. et al. *Tecnologia de alimentos: alimentos de origem animal* (Vol. 2). São Paulo: Artmed, 2005.
- OYAKAWA, O. T.; AKAMA, A.; MAUTARI, K. C.; NOLASCO, J. C. *Peixes de riachos da Mata Atlântica*. São Paulo: Neotrópica, 2006.
- PADUA, D. M. C. *Fundamentos de piscicultura*. 2. ed. Goiânia: UCG, 2001.
- PASCALICCHIO, A. A. E. *Contaminação por metais pesados, saúde pública e medicina ortomolecular*. São Paulo: Annablume, 2002.
- PEREIRA, P.; PABLO, H.; PACHECO, M. V. The relevance of temporal and organ specific factors on metals accumulation and biochemical effects in feral fish (*Liza aurata*) under a moderate contamination scenario. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 73, p. 805-816, 2010.

- PTASHYNSKI, M. D.; PEDLAR, R. M.; EVANS, R. E. et al. Toxicology of dietary nickel in lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*). *Aquatic Toxicology*, v. 58, n. 3, p. 229-247, 2002.
- R. DEVELOPMENT CORE TEAM. 2011. **R: Linguagem e ambiente para computação estatística**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <www.R-project.org/>. Acesso em: 27 abr. 2015.
- RODRIGUES, A. M. C.; TOBINAGA, S. **Obtenção da suspensão proteica de peixe e secagem em leito de jorro**. 2000. 148f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- ROTTA, M. A.; QUEIROZ, J. F. Boas práticas de manejo (BPMs) para produção de peixes em tanques-redes. *Documentos*, Corumbá, n. 47, dez. 2003.
- RUSSEL, J. B. *Química nova* (Vol. 1). 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2008.
- SALES, R. O.; SALES, A. M. Estudo da composição química e rendimento de dez espécies de pescado de água doce de interesse comercial nos açudes do nordeste brasileiro. *Ciências Agronômicas*, v. 21, p. 27-30, 1990.
- SARTORI, A. G. O.; AMANCIO, R. D. Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. *Segurança alimentar e nutricional*, Campinas, v. 19, n. 2, p. 83-93. 2012. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/arquivo_san/volume_19_2_2012/19-2_artigo-7.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2015.
- SEIBERT, E. L. **Determinação de elementos traço em amostras de água do mar, sedimento, mexilhões e ostras, da região costeira da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil, por Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado**. 2002. 166f. Tese (Doutorado em Química) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, SC.
- SIKORSKI, Z. **Tecnología de los productos del mar: recursos, composición nutritiva y conservación**. Zaragoza: Acribia, 1990.
- SILVA, C. **Metais pesados em peixes (*Micropogonias furnieri* e *Cynoscion acoupa*) e ostras (*Crassostrea brasiliiana*), oriundos da baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil**. 2009. 88f. Dissertação (Pós-Graduação em Medicina Veterinária) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.

- SILVA, J. W. B. Outros sistemas de cultivo em piscicultura. In: **Manual sobre manejo de reservatórios para a produção de peixes**. Brasília, 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/contents/a4b4c3e9-bac5-58f5-8fd0-e025f161ea27/AB486P00.htm>>. Acesso em: 27 maio 2016.
- SILVA, P. A. Avaliação de risco à saúde humana por metais pesados no município de Santo Amaro da Purificação, Bahia. **Caderno de Saúde Pública**, v. 2, p. 1725-1736, 2003. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/resumo_executivo_sto_amaro.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2016.
- SIMÃO, A. M. **Aditivos para alimentos sob o aspecto toxicológico**. São Paulo: Nobel, 1985.
- SIMÕES, D. R. S, PEDROSO, M. A.; RUIZ, W.A.; ALMEIDA, T. L. Hambúrgueres formulados com base proteica de pescado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 4, out.-dez. 1998.
- SOCCOL, M. C. H.; OETTERER, M. Seafood as functional food. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 3, p. 443-454, 2003.
- SOUSA, A. D. L. Efeito dos sistemas de criação semi-intensivo (viveiro escavado) e intensivo (tanque-rede) no desenvolvimento produtivo do pintado, *Pseudoplatystoma corruscans* (spix & agassiz, 1829) (Siluriformes: pimelodidae). 2005. 20f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura em Águas Continentais) – Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, SP.
- SOUZA, G. R. et al. Quantificação de metais pesados em peixes de um pesqueiro localizado na cidade de Umuarama. **Pr. Arq. Ciên. Vet. Zool. Unipar**, Umuarama, v. 12, n. 1, p. 61-66, jan.-jun. 2009.
- SOUZA, M. L. R.; MACEDO-VEIGAS, E. M.; KRONKA, S. N. Influência do método de filetagem e categorias de peso sobre rendimento de carcaça, filé e pele da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Rev. Bras. Zootec.**, v. 28, n. 1, p. 1-6, 1999.
- SOUZA, M. L. R.; CASTAGNOLLI, N.; KRONKA, S. N. Nile tilapia's carcass characteristics dependence on stocking density and aeration system. In: THE ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE. EXPOSITION OF THE WORLD AQUACULTURE SOCIETY, Seattle. **Abstracts...** Seattle: World Aquaculture Society, 1997. p. 398.

- SOUZA, M. L. R.; MACEDO-VIEGAS, E. M. Comparação de quatro métodos de filetagem utilizado para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sobre o rendimento do processamento. **Infopesca International**, Montevideo, v. 7, p. 26-31, 2001.
- SOUZA, P. H. M.; SOUZA NETO, M. H.; MAIA, G. A. Componentes funcionais nos alimentos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 37, n. 2, p. 127-135, 2003.
- SUSSEL, F. R. Criação de tilápias cresce vigorosamente no Brasil. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/Tilapia_2011.pdf>. Acesso em: 11 maio 2015.
- STANISKIENE, B. et al. Distribution of heavy metals in tissues of freshwater fish in Lithuania. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 15, n. 4, p. 585-591, 2006.
- STATSOFT, INC. **STATISTICA 10.0 Software**. Tucksa: Statsoft, 2011.
- TACON, A. G. J.; METIAN, M. Fish matters: importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. **Reviews in Fisheries Science**, v. 21, n. 1, p. 22-38, 2013.
- TASHYNSKI, M. D.; PEDLAR, R. M.; EVANS, R. E. et al. Toxicology of dietary nickel in lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*). **Aquatic Toxicology**, v. 58, n. 3, p. 229-247, 2002.
- TURKMEN, M.; TURKMEN, A.; TEPE, Y. et al. Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean Seas. **Food Chemistry**, v. 113, n. 1, p. 233-237, 2009.
- ULUOZLU, O. D.; TUZEN, M.; MENDIL, D. et al. Trace metal content in nine species of fish from the Black and Aegean Seas, Turkey. **Food Chemistry**, v. 104, n. 2, p. 835-840, 2007.
- VIARENGO, A. Heavy metals in marine invertebrates: mechanisms of regulation and toxicity at the cellular level. **Review of Aquatic Sciences**, v. 1, n. 5, p. 295-317, 1989.
- VILA-NOVA, C. M. V. M.; GODOY, H. T.; ALDRIGUE, M. L. Composição química, teor de colesterol e caracterização dos lipídeos totais de tilápia (*Oreo-*

chromis niloticus) e pargo (*Lutjanus purpureus*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 430-436, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Bulletin of the world health organization**, v. 78, n. 9, p. 1068-1077, 2000. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2560844/>>. Acesso em: 13 fev. 2016.

YABE, M. J. S.; OLIVEIRA, E. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**, v. 21, n. 5, jan. 1998.

ZAITSEV, V.; KIZEVETTER, I.; LAGUNOV, L.; MAKAROVA, T.; MINDER, L.; PODSEVALOV, V. **Fish curing and processing**. Honolulu: University Press of the Pacific, 2004.

ZIMMERMAM, S.; FITZSIMMONS, K. Tilapicultura intensiva. In: CYRINO, J. E. P. et al. (ed.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática; TecArt, 2004. p. 239-266.