

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

LUCIANE ALINE WEISS

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA E BIOACUMULAÇÃO DE METAIS
EM PEIXES DE TANQUES-REDE EM ENTRE RIOS DO OESTE-PR

Marechal Cândido Rondon

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

LUCIANE ALINE WEISS

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA E BIOACUMULAÇÃO DE METAIS
EM PEIXES DE TANQUES-REDE EM ENTRE RIOS DO OESTE-PR

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição Animal, para a obtenção do título de “Mestre em Zootecnia”.

Orientador: Prof. Ph.D. Nilton Garcia Marengoni

Marechal Cândido Rondon

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

LUCIANE ALINE WEISS

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA E BIOACUMULAÇÃO DE METAIS
EM PEIXES DE TANQUES-REDE EM ENTRE RIOS DO OESTE-PR

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração “Produção e Nutrição Animal”, para a obtenção do título de “Mestre em Zootecnia”.

Marechal Cândido Rondon, 26 de setembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ph.D. Nilton Garcia Marengoni
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profa. Dra. Lara Wichr Genovez
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Élcio Silvério Klosowski
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

“O Senhor é o meu rochedo, e o meu lugar forte, e o meu libertador; o meu Deus, a minha fortaleza, em quem confio; o meu escudo, a força da minha salvação, e o meu alto refúgio.”

Salmos 18:2

AGRADECIMENTOS

A Deus por me abençoar muito mais que mereço e por nunca desistir de mim.

Aos meus pais e irmãos pelo carinho, apoio e por compreenderem o caminho que decidi trilhar.

À Graciele Moraes Alfonso, por me oferecer abraço quando precisei desabafar, por estar sempre comigo para o sorrir e viver, nada seria igual sem você.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

À Instituição Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), por fornecer ensino superior de qualidade.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPZ), pelo apoio e dedicação ao decorrer da graduação.

À senhora Celita e ao senhor Valter, responsáveis pela colônia de pesca de Entre Rios do Oeste, pelo apoio durante o período de coletas.

Ao professor Nilton Garcia Marengoni, pela orientação e suporte.

Ao Grupo de Estudos em Tilapicultura (GET), pelo auxílio prestado durante as coletas de amostras.

Ao professor Edmar Soares de Vasconcelos, pelo suporte nas análises estatísticas.

Ao professor Odair José Kuhn e aos responsáveis pelo laboratório, pela utilização de equipamentos.

Aos coordenadores e colaboradores do Laboratório de Nutrição Animal, pela utilização de materiais e equipamentos.

Ao professor Affonso Celso Gonçalves Junior e ao Grupo de Estudos em Solos e Meio Ambiente (GESOMA-Unioeste), pela leitura das amostras.

Ao professor Paulo Levi de Oliveira Carvalho, pelo empréstimo de materiais no início do experimento.

Ao assistente do Programa de Pós-Graduação, Paulo Henrique Morsch, pelo auxílio prestado.

RESUMO

LUCIANE ALINE WEISS. Mestrado em Zootecnia. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Setembro, 2017. **Parâmetros físico-químicos da água e bioacumulação de metais em peixes de tanques-rede em Entre Rios do Oeste-PR.** Orientador: Ph.D. Nilton Garcia Marengoni.

O presente estudo teve como objetivo o monitoramento das variáveis físico-químicas da água e a bioacumulação de metais biologicamente essenciais, cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), e manganês (Mn), e metais pesados tóxicos, cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em pele, brânquias, filé e fígado de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em tanques-rede. O trabalho foi realizado no período de outubro de 2015 a setembro de 2016, na bacia do rio São Francisco Verdadeiro em Entre Rios do Oeste. Para monitoramento da qualidade de água foram delimitados e georreferenciados três locais no eixo longitudinal da tilapicultura a jusante, no ponto de referência dos tanques-rede e a montante da área aquícola. Na avaliação dos efeitos da dinâmica vertical da coluna de água foram utilizadas três profundidades: epilímnio, metalímnio e hipolímnio. Foi realizado o monitoramento das variáveis físico-químicas temperatura, transparência, oxigênio dissolvido, pH, condutividade, sólidos totais e turbidez da água. Mensalmente foram coletados 10 exemplares de tilápia do Nilo para avaliação da bioacumulação de metais. Os teores totais dos metais foram mensurados após digestão nitro-perclórica das amostras e leitura por espectrometria de absorção atômica, modalidade chama UV-VIS. Os valores médios das variáveis físico-químicas da água e dos metais nos diferentes órgãos de tilápia foram agrupados por estação do ano e submetidos à análise de variância (ANOVA) e em caso de evidência de significância as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os valores de bioacumulação mensal nos órgãos avaliados foram submetidos ao aplicativo computacional GENES para realização da análise de componentes principais. Os três locais no eixo longitudinal da tilapicultura influenciaram nos valores médios do oxigênio dissolvido da água ($P < 0,05$). A temperatura e o pH da água apresentaram valores decrescentes ($P < 0,05$) em relação à profundidade, enquanto o valor médio do oxigênio dissolvido, no epilímnio, foi superior ($P < 0,05$) aos observados no metalímnio e hipolímnio. Quanto à bioacumulação de metais nos peixes verificou-se efeito sazonal, independente dos órgãos analisados, para os valores das concentrações de cobre e

zinco. As amostras de brânquias, pele e fígado da tilápia do Nilo apresentaram concentrações de Pb acima do permitido pela legislação. Os valores de cromo em todas as amostras encontram-se acima dos limites estipulados pela legislação. O cádmio foi verificado em concentrações excessivas para pele e brânquias apenas no inverno. A dispersão de componentes principais para os teores dos metais nas brânquias, fígado, filé e pele explicam pelo menos 70% da variância total pelos primeiros componentes principais, garantindo assim a eficácia da representação das características estudadas nos componentes principais utilizados na análise gráfica. As variáveis da qualidade de água analisadas na tilapicultura atendem aos padrões das legislações para o cultivo de tilápia do Nilo no sistema de tanques-rede. A análise de componentes principais pode ser utilizada para caracterizar a bioacumulação de elementos metálicos nas brânquias, fígado, filé e pele de tilápia do Nilo e a sua caracterização durante um ano de amostragem mensal na tilapicultura em tanques-rede da área aquícola da Itaipu Binacional. A tilápia do Nilo pode ser considerada uma espécie potencial bioindicadora da acumulação de metais.

Palavras-chave: elementos traços, qualidade de água, tilápia do Nilo, tanques-rede

ABSTRACT

LUCIANE ALINE WEISS. Master Course in Animal Science. West Paraná State University, September, 2017. **Physical-chemical parameters of water and bioaccumulation of metals in fish from cages in Entre Rios do Oeste-PR.** Adviser: Ph.D. Nilton Garcia Marengoni

The present study aimed to monitor the physicochemical variables of water and bioaccumulation of biologically essential metals, copper (Cu), iron (Fe), zinc (Zn), and manganese (Mn), and toxic heavy metals, cadmium (Cd), chromium (Cr) and lead (Pb) in skin, gills, fillet and liver of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) grown in net tanks. The work was carried out from October 2015 to September 2016, in the basin of the river São Francisco Verdadeiro in Entre Rios do Oeste. For water quality monitoring, three sites were delimited and georeferenced in the longitudinal axis of the tilapia farming downstream, at the point of reference of the net tanks and upstream of the aquaculture area. In the evaluation of the effects of water column vertical dynamics, three depths were used: epilimnium, metalimnium and hypolimnium. The physical-chemical variables temperature, transparency, dissolved oxygen, pH, conductivity, total solids and water turbidity were monitored. Monthly 10 specimens of Nile tilapia were collected for evaluation of metals bioaccumulation. The total metals contents were measured after nitro-perchloric digestion of the samples and read by atomic absorption spectrometry, UV-VIS flame modality. The mean values of the physical-chemical variables of water and metals in the different organs of tilapia were grouped by season of the year and submitted to analysis of variance (ANOVA) and in case of significance the means were compared by Tukey test at 5 % probability. The monthly bioaccumulation values in the evaluated organs were submitted to GENES computational application for the principal components analysis. The three sites in the longitudinal axis of tilapia farming influenced the average values of dissolved oxygen in the water ($P < 0.05$). The temperature and pH of the water presented decreasing values ($P < 0.05$) in relation to depth, while the mean value of dissolved oxygen in the epilimnium was higher ($P < 0.05$) than those observed in metalimetry and hypolimnion. Regarding the bioaccumulation of metals in the fish, there was a seasonal effect, independent of the organs analyzed, for copper and zinc concentrations. Samples of gills, skin and liver of Nile tilapia presented concentrations of Pb above that allowed by legislation. The values of chromium in all samples have been above the limits stipulated by the legislation. Cadmium was found in excessive concentrations for skin and gills only in

winter. The dispersion of the main components for the metal content in the gills, liver, fillet and skin explain at least 70% of the total variance by the first main components, thus guaranteeing the efficiency of the representation of characteristics studied in the main components used in the graphic analysis. The water quality variables analyzed in tilapia farming meet the standards of Nile tilapia cultivation in the net tank system. Principal components analysis can be used to characterize the bioaccumulation of metallic elements in the gills, liver, fillet and skin of Nile tilapia and their characterization during a year of monthly sampling in tilapicultura in net tanks of the aquaculture area of Itaipu Binacional. Nile tilapia can be considered a potential bioindicator of metals accumulation.

Key-words: trace elements, water quality, Nile tilapia, cages

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dados meteorológicos do período de outubro/2015 a setembro /2016 no município de Entre Rios do Oeste a partir do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).....	30
Tabela 2	Valores médios das variáveis de qualidade de água analisadas no reservatório da Itaipu Binacional em Entre Rios do Oeste, Paraná, no período de outubro/2015 a setembro/2016.....	33
Tabela 3	Valores médios dos teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) expressos em mg kg^{-1} , na pele, brânquias, filé e fígado de tilápia do Nilo cultivada em tanques-rede no reservatório da Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste, PR.....	35
Tabela 4	Valores médios dos teores de cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) expressos em mg kg^{-1} , na pele, brânquias filé e fígado de tilápia do Nilo cultivada em tanques-rede no reservatório da Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste, PR.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Bacias do rio São Francisco Verdadeiro e Falso, componentes da Bacia do rio Paraná 3.....	14
Figura 2	Componentes principais (CP1 e CP2) da bioacumulação de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em brânquias de tilápia do Nilo em doze meses de amostragem (1-Outubro, 2-Novembro, 3-Dezembro, 4-Janeiro, 5-Fevereiro, 6-Março, 7-Abril, 8-Maio, 9-Junho, 10-Julho, 11-Agosto, 12-Setembro).....	38
Figura 3	Componentes principais (CP1 e CP2) da bioacumulação de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em fígado de tilápia do Nilo em doze meses de amostragem (1-Outubro, 2-Novembro, 3-Dezembro, 4-Janeiro, 5-Fevereiro, 6-Março, 7-Abril, 8-Maio, 9-Junho, 10-Julho, 11-Agosto, 12-Setembro).....	39
Figura 4	Componentes principais (CP1 e CP2) da bioacumulação de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em filé de tilápia do Nilo em doze meses de amostragem (1-Outubro, 2-Novembro, 3-Dezembro, 4-Janeiro, 5-Fevereiro, 6-Março, 7-Abril, 8-Maio, 9-Junho, 10-Julho, 11-Agosto, 12-Setembro).....	40
Figura 5	Componentes principais (CP1 e CP2) da bioacumulação de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em pele de tilápia do Nilo em doze meses de amostragem (1-Outubro, 2-Novembro, 3-Dezembro, 4-Janeiro, 5-Fevereiro, 6-Março, 7-Abril, 8-Maio, 9-Junho, 10-Julho, 11-Agosto, 12-Setembro).....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	Revisão de literatura.....	12
2.1	Uso de grandes reservatórios para aquicultura.....	12
2.2	Qualidade de água e riscos ambientais em reservatórios.....	12
2.3	Reservatório da Itaipu Binacional e bacia do rio São Francisco Verdadeiro	13
2.4	Metais pesados.....	14
2.5	Peixes como bioindicadores.....	16
2.6	Análise de componentes principais.....	17
2.7	Referências.....	17
3	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA E BIOACUMULAÇÃO DE METAIS EM PEIXES DE TANQUES REDE EM ENTRE RIOS DO OESTE-PR.....	24
	Resumo.....	24
	Abstract.....	26
3.1	Introdução.....	28
3.2	Material e Métodos.....	29
3.2.1	Local de estudo.....	29
3.2.2	Monitoramento da qualidade de água na área aquícola.....	30
3.2.3	Coleta de peixes e amostragem de órgãos.....	31
3.2.4	Determinação de metais.....	31
3.2.5	Análises dos dados.....	31
3.2.5.1	Análise estatística das variáveis de qualidade de água.....	32
3.2.5.2	Análise estatística para metais.....	32
3.3	Resultados e Discussão.....	32
3.4	Conclusões.....	41
3.5	Referências.....	41

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui inúmeros atributos que o torna favorável às mais diversas modalidades aquícolas. Possui clima favorável, ótimas condições de qualidade de água e principalmente uma grande diversidade de espécies de peixes. Além disso, apresenta uma grande capacidade hídrica representada pelos 5,5 milhões de hectares de reservatórios de água doce, naturais e artificiais, sendo mais de 3,5 milhões em represas de usinas hidrelétricas construídos com a finalidade de geração de energia hidrelétrica. (AGOSTINHO et al., 2008; OSTRENSKY; BOEGER, 2008; CAVALLI, 2011; ROTTA; QUEIROZ, 2003; BRABO et al., 2017).

A piscicultura em tanques-rede em águas da União é uma das alternativas mais promissoras para incrementar a produção nacional e garantir maior oferta de pescado ao mercado interno (CARVALHO; RAMOS, 2010; AYROZA et al., 2011; DEMÉTRIO et al., 2012; BRABO et al., 2014).

A bacia do Rio São Francisco Verdadeiro tem uma área de 2.219,1 km², abrangendo onze municípios do Oeste do Estado do Paraná, Brasil. Sua nascente está localizada na área urbana de Cascavel e o rio deságua no reservatório. Ao longo desse trajeto, o curso d'água e seus tributários passam por muitas propriedades rurais, dentro de uma região especializada na conversão de proteína vegetal em proteína animal. (PROGRAMA HIDROLÓGICO INTERNACIONAL, 2017). Esta bacia hidrográfica possui vários atributos, dentre os quais sua localização geográfica, características físico-químicas de água, ambientais, entre outras, que a tornam altamente favorável à produção piscícola.

Atualmente o plano de monitoramento da qualidade de água nas áreas produtivas com base na legislação federal é regido pelas Resoluções CONAMA n° 357 (BRASIL, 2005) e n° 413 (BRASIL, 2009). No entanto, ressalta-se que enquanto a Resolução CONAMA n° 357 exige um número significativo de parâmetros de qualidade de água a ser mensurada, a Resolução CONAMA n° 413 estabelece uma quantidade menor, caracterizando, assim, uma falta de padronização na legislação. Recomenda-se que a Resolução CONAMA n° 357 defina melhor as características de ambientes lóticos e seus respectivos limites de parâmetros (MATOS et al., 2016).

A adoção de um plano de monitoramento para atividades aquícolas instaladas nos reservatórios continentais brasileiros torna-se indispensável para garantir a sustentabilidade, segurança do empreendedor, como dos demais usos múltiplos. Há necessidade do

desenvolvimento de um índice de qualidade de água específico para fins de aquicultura em reservatórios continentais tropicais (MATOS et al., 2016). Portanto, para o desenvolvimento de uma aquicultura sustentável, é importante ressaltar a necessidade da prática de um manejo específico das áreas aquícolas. O efetivo monitoramento e acompanhamento das condições do ambiente aquático e suas características e respostas em relação às funções naturais e as influências antrópicas no sistema auxiliará na validação para a regulamentação de empreendimentos aquícolas em águas públicas da União, de acordo com as leis em vigor (AYROZA et al., 2008).

Elementos como zinco, cobre, cobalto e magnésio são considerados essenciais aos seres vivos, pois atuam como cofatores em rotas metabólicas de organismos aquáticos, porém se tornam indesejáveis e tóxicos quando presentes em altas concentrações, enquanto chumbo, cádmio e cromo são geralmente tóxicos a uma grande variedade de organismos (ESTEVES, 2011).

Os indicadores biológicos ou bioindicadores são organismos, populações ou comunidades cuja presença, quantidade e distribuição podem indicar a magnitude de alguns impactos ambientais em um ecossistema aquático, visto que devido à sua sensibilidade podem ser tolerantes ou intolerantes às alterações do meio (CALLISTO; GONÇALVES, 2005; CALLISTO et al., 2005; LI, ZHENG e LIU, 2010; BANTU et al., 2017).

Os organismos aquáticos são particularmente vulneráveis e facilmente expostos à poluição e podem bioacumular metais oriundos da ingestão de alimentos contaminados, ou ainda, no caso dos peixes, através das brânquias, pele, fígado e rins (ADEYEMO et al., 2010; AWHEDA et al., 2015). Outros fatores como variações sazonais, oxigênio dissolvido, pH, temperatura e salinidade também influenciam na acumulação de metais (KEHRIG et al., 1998; OZMEN et al., 2006; YOKOYAMA et al., 2012).

Os peixes são considerados os mais importantes biomonitores em sistemas aquáticos para a estimativa da poluição por metais. Além disso, localizam-se no final da cadeia alimentar aquática, podendo acumular metais e passá-los para os seres humanos, causando doenças crônicas ou agudas (SALEH; MARIE, 2015; LIMA et al., 2015).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a utilização da tilápia do Nilo como bioindicadora de metais biologicamente essenciais, (Cu, Fe, Zn e Mn), e metais pesados, (Cd, Cr e Pb) em pele, brânquias, filé e fígado, além do monitoramento das variáveis físico-químicas da água e ambientais, em um reservatório da região oeste do Paraná.

2 Revisão de literatura

2.1 Uso de grandes reservatórios para aquicultura

Segundo relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2016), o Brasil deve registrar o maior crescimento percentual do consumo *per capita* e da produção de pescados no mundo. O consumo deve atingir 12,7 quilos em 2025, 32,3% a mais do consumo registrado entre 2013 e 2015. O Brasil deve registrar um crescimento de 104% na produção da pesca e aquicultura em 2025. Porém, atualmente nem a demanda do mercado interno tem sido suprida, visto que mesmo com a produção recorde de pescado em 2011, de 1,4 milhão de toneladas, sua balança comercial apresentou um déficit de 307,2 mil toneladas (BRASIL, 2013a e 2013b).

O cultivo em tanques-rede é fundamental para que a aquicultura atinja patamares adequados de desenvolvimento, e esta atividade é potencializada a partir do aproveitamento dos recursos hídricos existentes, principalmente os reservatórios de hidrelétricas (DIEMER et al., 2010; BRABO et al., 2014). A produção de peixes em tanques-rede nos reservatórios de médio e grande porte ganha destaque, por ser uma alternativa que melhora o crescimento da produção de pescado e abre grandes perspectivas para uma rápida expansão da piscicultura industrial no Brasil (LANDELL, 2007). Segundo Bueno et al. (2015), algumas espécies recebem destaque para esta modalidade de cultivo, especialmente a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e, mais recentemente, a criação do tambaqui (*Colossoma macropomum*) e pintado (*Pseudoplatystoma* sp.).

A aquicultura como atividade produtiva exerce influência sobre o meio que está inserida, portanto, tem como item vital ao seu desenvolvimento o embasamento desta em três pilares principais: a produção lucrativa, a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social. Os três componentes são essenciais e indissociáveis para que se possa ter uma prática produtiva perene. Portanto é necessária a conscientização acerca da preservação ambiental como parte do processo produtivo (VALENTI et al., 2000).

2.2 Qualidade de água e riscos ambientais em reservatórios

Paralelo ao desenvolvimento e à intensificação da aquicultura cresce a necessidade de monitoramento dos recursos hídricos, visando à melhora nos processos de gestão e acompanhamento dos procedimentos efetivados, o que se traduz em contribuição ao processo de licenciamento e adequação ambiental (SAMPAIO et al., 2013).

Os ambientes aquáticos são dinâmicos e podem sofrer grandes variações nas suas características físicas e químicas ao longo tempo. A redução da qualidade da água nos sistemas de criação pode afetar a qualidade do pescado, com conseqüente prejuízo aos produtores. Além dos efeitos sobre os sistemas de produção, o impacto ambiental é também uma preocupação, uma vez que estes sistemas podem deteriorar a qualidade das águas naturais (BACCARIN; CAMARGO, 2005).

A qualidade da água é determinada por fatores alóctones, como temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento e fluxo de água; e pelos autóctones, como taxas biológicas e processos químicos que determinam as condições de cultivo (AVAULT, 2003).

Desta forma, a produtividade da piscicultura depende fundamentalmente da qualidade da água, indicada por variáveis físicas, químicas e biológicas. A avaliação destes parâmetros para o cultivo de peixes, incluindo oxigênio dissolvido, temperatura, pH, condutividade, transparência, entre outros fatores são importantes para prever como estão as condições ambientais para os peixes.

Para Cyrino et al. (2010), a principal variável limnológica para o crescimento e desempenho dos peixes em criação intensiva é o oxigênio dissolvido, porém outras variáveis físicas e químicas da água devem ser monitoradas na área de tanques-rede como pH, temperatura e condutividade.

Segundo Marengoni (2006), o constante monitoramento da qualidade de água não deve ocorrer apenas dentro e entre os tanques-rede, mas também no ambiente que envolve a piscicultura, sendo a verificação das variáveis que a compõem a garantia da manutenção da qualidade do produto e da sustentabilidade neste sistema intensivo de produção de peixes.

2.3 Reservatório da Itaipu Binacional e bacia do rio São Francisco Verdadeiro

O Lago de Itaipu estende-se dos municípios de Guaíra à montante, e Foz do Iguaçu à jusante, possuindo cerca de 170 quilômetros de extensão. A Bacia Hidrográfica do rio São Francisco integra um conjunto de áreas de captação que formam a Bacia do Paraná 3 (BP3),

no Oeste paranaense. O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, que corresponde a clima mesotérmico, sem a ocorrência de estação seca e moderadamente quente, com temperatura média no verão superior a 22°C e média no inverno inferior a 18°C (ALVARES et al., 2014). Os principais rios que compõem a Bacia do São Francisco desaguam diretamente no Reservatório do Lago de Itaipu, sendo classificados como rios consequentes e drenam em sentido oeste. O padrão de drenagem predominante é dendrítico a subdendrítico (NARDY et al., 2002). A região da bacia compõe o Cinturão Agrícola do Paraná com alta produtividade de soja, milho e trigo (PAROLIN et al., 2010).

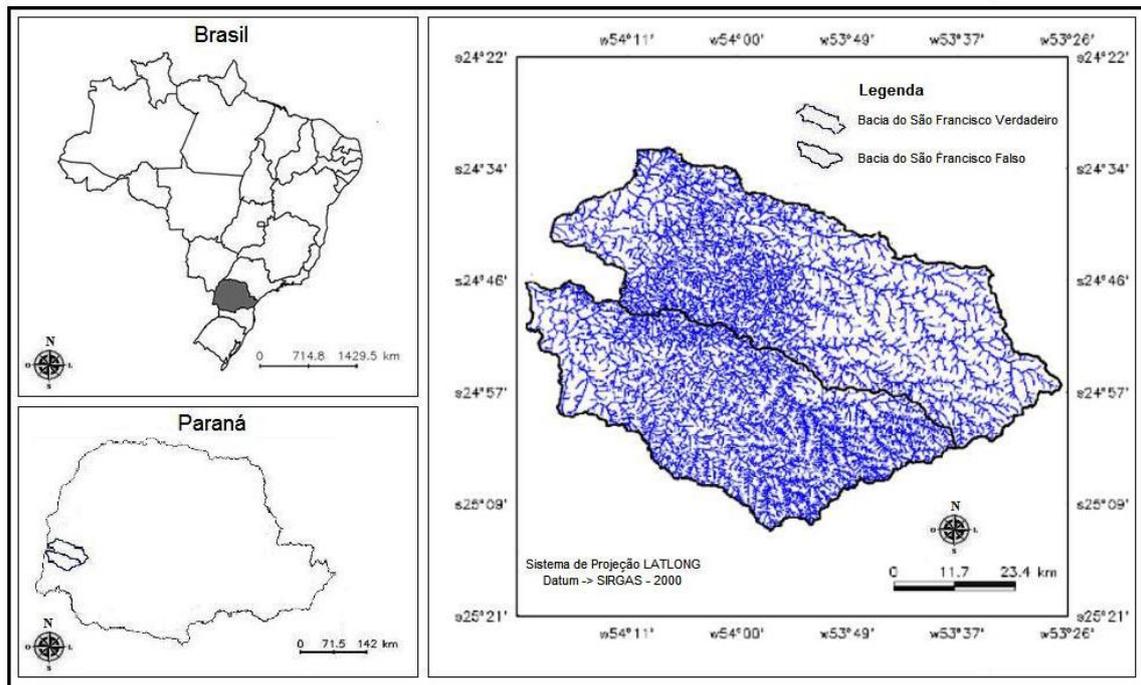


Figura 1. Bacias do rio São Francisco Verdadeiro e Falso componentes da Bacia do rio Paraná 3 (SILVA et al., 2015).

2.4 Metais pesados

Os elementos metálicos no meio ambiente podem ter origem de fontes naturais ou antrópicas, e podem ser introduzidos nos ecossistemas aquáticos por meio do aporte atmosférico e chuvas, pela liberação e transporte a partir de intemperismo da rocha matriz ou outros compartimentos do solo, ou por fontes antropogênicas como: esgoto *in natura* de zonas urbanas, efluentes de indústrias, atividades agrícolas, e rejeitos de áreas de mineração e garimpos (LIMA et al., 2015; FÔRSTNER; WITTMANN, 1983).

O setor agrícola tem como indispensável o uso de fertilizantes e agroquímicos. Geralmente, os fertilizantes minerais contêm traços de impurezas, entre as quais se destacam os metais pesados. Os fertilizantes podem ser fontes de cádmio, cromo, chumbo e zinco, sendo que os pesticidas podem eliminar cobre, chumbo, manganês e zinco principalmente (OTERO et al., 2005; UECHI et al., 2017).

Os metais de origem natural ou antrópica são carregados para os rios pelo escoamento de águas superficiais provenientes das chuvas, persistindo no meio aquático por apresentar forma livre, ou iônica, o que facilita sua acumulação nos tecidos principalmente dos peixes (QUEIROZ, 2006; VINODHINI; NARAYANAN, 2008). Os elementos Cr e Pb podem exercer efeitos prejudiciais para a biota e estão presentes na natureza através do intemperismo ou por atividades industriais e de mineração.

A presença de metais tóxicos nos ecossistemas aquáticos pode ser monitorada por meio de suas concentrações na água, sedimentos e biota, sendo que a concentração de metais geralmente se encontra em níveis baixos na água e atinge uma considerável concentração em sedimentos e biota (EDWARD et al., 2013).

Os metais que apresentam número atômico superior a 22 são considerados metais pesados. A presença de um metal em um corpo d'água pode afetar os organismos aquáticos por meio de intoxicação ou bioacumulação, tendo seu efeito potencializado ao longo da cadeia alimentar (LIMA; MERÇON, 2011).

O cromo (Cr) é um metal pesado considerado essencial, todavia algumas de suas formas podem ser tóxicas. No ramo industrial o cromo é empregado para fabricação de aços inoxidáveis, fertilizantes, manufatura de tintas e no tratamento de madeira e de água (CETESB, 2007). O chumbo pode ser considerado tóxico mesmo em pequenas concentrações e está presente em concentrações consideráveis no meio urbano (PEREIRA, 2004). O cádmio é um metal não essencial e altamente tóxico, estando presente na natureza geralmente associado a sulfetos e minérios de zinco, cobre e chumbo (BAIRD, 2002).

A complexidade dos contaminantes pode induzir uma variedade de respostas biológicas. O ecossistema aquático é o sumidouro final para os muitos produtos químicos utilizados na indústria e a agricultura tem um problema global: a liberação contínua desses produtos químicos prejudica a qualidade da água e se tornam inadequados para organismos aquáticos devido à sua persistência, bioacumulação, toxicidade e biomagnificação na cadeia alimentar e ecológica (BANTU et al., 2017).

2.5 Peixes como bioindicadores

Bioindicador é definido como “espécie capaz de indicar os primeiros sinais de estresse ambiental causado por contaminantes em diferentes níveis de organização biológica” (KOVÁCS, 1992). Estes organismos devem possuir algumas características como sobreviver em ambientes saudáveis, mas também apresentar resistência relativa ao contaminante que está exposto, ser abundante no ambiente e de fácil captura, adaptando-se facilmente a ensaios laboratoriais (AKAISHI, et al., 2004).

Os indicadores biológicos, devido à sua sensibilidade, podem ser tolerantes ou intolerantes às alterações do meio. Alguns organismos merecem destaque como bioindicadores de qualidade da água como algumas espécies de bactérias, de protozoários, de macroalgas e microalgas, de macrófitas aquáticas, macroinvertebrados, microinvertebrados e peixes.

A utilização de invertebrados no monitoramento ambiental é comum, porém o número de pesquisas empregando espécies de peixes como modelos experimentais é crescente.

É essencial que a aquicultura seja uma atividade sustentável e perene, de forma que se obtenha uma produção lucrativa de organismos aquáticos, concomitantemente com a não degradação do meio ambiente, e com a geração de benefícios sociais. A aquicultura moderna envolve os componentes essenciais e indissociáveis para que a atividade seja perene (OSTRENSKY; BOEGER, 2008).

O tempo de permanência em águas poluídas, a idade e o seu tamanho afetam o acúmulo de metais pesados em seus organismos. Esses organismos são capazes de armazenar quantidades de substâncias nocivas sem sofrer danos e servem como indicadores de contaminação para avaliar a qualidade da água em ambientes aquáticos. Organismos tidos como bioacumuladores possuem a capacidade de acumular uma substância, através do meio circundante ou de seu alimento, enquanto que a biomagnificação ocorre quando há transferência de uma substância química de um nível trófico inferior para um superior (REPULA et al., 2012).

A bioacumulação de metais em peixes pode representar um risco à saúde dos indivíduos que os consomem. O músculo constitui a maior massa do peixe que é consumida, então deve ser considerada uma atenção especial a essa parte (REPULA et al., 2012).

2.6 Análise de componentes principais

Dados provenientes de amostras ambientais apresentam variáveis espaciais e temporais como, por exemplo, o local e a data de amostragem, o que leva a dependência entre amostras, pois pontos próximos têm mais chance de apresentar resultados semelhantes que pontos espacialmente distantes. Esses resultados também apresentam elevada variabilidade devido a variações sazonais e à influência de mudanças da vazão sobre as propriedades físico-químicas das variáveis (KUPPUSAMY; GIRIDHAR, 2006). Outro fato a ser considerado é que dados ambientais apresentam imprecisões relacionadas à amostragem, preparo e análise. O uso de técnicas robustas em dados ambientais já é uma metodologia consolidada internacionalmente há pelo menos uma década. No entanto, no Brasil, prevalece o uso de técnicas convencionais, não robustas (SABINO, et al.; 2014). A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica estatística multivariada associada à ideia de redução da quantidade de dados, com menor perda possível de informação (HONGYU, et al.; 2015).

A ACP pode ser utilizada na identificação das variáveis de maior e menor contribuição para variação acumulada. Os caracteres de maior contribuição são aqueles que exibem maiores coeficientes de ponderação nos componentes de maior autovalor e os de menor contribuição são aqueles que exibem maiores autovetores nos componentes de menor autovalor (CRUZ; CARNEIRO, 2003). Por definição, a correlação entre os principais componentes é zero, isto é, a variação explicada em CP1 é independente da variação explicada em CP2 e assim por diante. Isto implica que um componente principal não vai causar resposta correlacionada para com os outros componentes principais, isto é, eles são ortogonais (SAVEGNAGO et al., 2011; FRAGA et al., 2015). De acordo com Rencher (2002), pelo menos 70% da variância total deve ser explicada pelos primeiros componentes principais, garantindo assim a eficácia da representação das características estudadas nos componentes principais utilizados na análise gráfica.

2.7 Referências

ADEYEMO, O.K.; ADEDEJI, O.B.; OFFOR, C.C. Blood lead level as biomarker of environmental lead pollution in feral and cultured african catfish (*Clarias gariepinus*). **Nigerian Veterinary Journal**, v.31, n.7, p.139-147, 2010.

- AGOSTINHO, A.A.; PELICICE, FM.; GOMES, LC. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. **Brazilian Journal of Biology**, v.68, n.4, pp.1119-1132, 2008.
- AKAISHI, F.M.; SILVA de ASSIS, H.C.; JAKOBI, S.C.G.; EIRAS-STOFELLA, D.R.; ST-JEAN, S.C.; COURTENAY, S.C.; LIMA, E.F.; WAGENER, A.L.R.; SCOFIELD, A.L.; OLIVEIRA RIBEIRO, C.A. Morphological and neurotoxicological findings in tropical freshwater fish (*Astyanax* sp.) after waterborne and acute exposure to water soluble fraction (WSF) of crude oil. **Archivos of Environmental Contamination and Toxicology**, v.46, n.2, p.244-253, 2004.
- ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 711–728. 2014.
- AVAULT, J.W.J. More on fertilization of pond waters. **Aquaculture Magazine**, May/June, 2003.p. 54-57.
- AWHEDA, I.; AHMED, A.Y.; FAHEJ, M.A.S., ELWAHAISHI, S.S. & SMIDA, F.A. Fish as bioindicators of heavy metals pollution in marine environments: a review. **Indian Journal of Applied Research**, v.5, n.8, p.379-384, 2015.
- AYROZA, D.M.M.R.; FURLANETO, F.P.B.; AYROZA, L.M.S. Regularização de projetos de piscicultura no estado de São Paulo. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 33-41, 2008.
- AYROZA, L.M.S.; ROMAGOSA, E.; AYROZA, D.M.M.R.; SCORVOFILHO, J.D.; SALLES, F.A. Custos e rentabilidade da produção de juvenis de tilápia do Nilo em tanques-rede utilizando-se diferentes densidades de estocagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.2, p.231-239, 2011.
- BANTU, N.; KARRI, K.C.; VK, G.K.; KUMARI, N.; VAKITA, R. Histological alteration in different tissues of indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton) exposed to Profenofos 50% EC and Carbosulfan 25% EC formulations. **Journal of Biology and Today's World**. v.6, n.3, P.38-45, 2017.
- BACCARIN, A.E.; CAMARGO, A.F.M. Characterization and evaluation of the impact of feed management on the effluents of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. **Brazilian Archives of Biology and Technology** v.48, p.81-90, 2005.
- BAIRD, C. **Química ambiental**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman. 2002.
- BUENO, G.W.; OSTRENSKY, A.; CANZI, C.; MATOS, F.T. DE.; ROUBACH, R. Implementation of aquaculture parks in Federal Government waters in Brazil. **Reviews in Aquaculture**, v.7, n.1, p.1-12, 2015.
- BRABO, M.F.; CAMPELO, D.A.V.; VERAS, G.C.; PAIVA, R.S.; FUJIMOTO, R.Y. A experiência de parques aquícolas no reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, Amazônia, Brasil. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v.5, n.1, p.52-58, 2017.

- BRABO, M.F.; VERAS, G.C.; PAIVA, R.S.; FUJIMOTO, R.Y. Aproveitamento aquícola dos grandes reservatórios brasileiros. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.40, n.1, p.121-134, 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº413, de 26 de junho de 2009**.
- BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura -MPA. **Boletim estatístico de pesca e aquicultura do Brasil 2011**. Brasília/DF: República Federativa do Brasil, 2013a.
- BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura -MPA. **Censo aquícola nacional, ano 2008**. Brasília/DF: República Federativa do Brasil, 2013b.
- CARVALHO, E.D.; RAMOS, I.P. A aquíicultura em grandes represas brasileiras: interfaces ambientais, socioeconômicas e sustentabilidade. **Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia**, v.38, n.1, p.49–57, 2010.
- CAVALLI, R.O., DOMINGUES, E.C.; HAMILTON, S. Desenvolvimento da produção de peixes em mar aberto no Brasil: possibilidades e desafios. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, supl. esp., p.155-164. 2011.
- CALLISTO, M.; GONÇALVES JÚNIOR., J.F.; MORENO, P. Invertebrados aquáticos como bioindicadores. In: GOULART, E. M. A. **Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais: Proj. Manuelzão**. Belo Horizonte: Coopmed, p. 555-567, 2005.
- CALLISTO, M e GONÇALVES JÚNIOR, J.F. **Bioindicadores Bentônicos**. In: Roland, F.; Cesar, D.; Marcelo Marinho (Eds). *Lições de Limnologia*. São Carlos, Ed. Rima, pp. 371-379, 2005.
- CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Variáveis de qualidade das águas. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variáveis.asp>>. Acessado em 26 de Maio de 2016.
- CRUZ, C.D. e CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa; MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003, v.2. 585p.
- CYRINO, J.E.P.; BICUDO, A.J.A.; SADO, R.Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J.K. A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.68-87, 2010.
- DEMÉTRIO, J.A.; GOMES, L.C.; LATINI, J.D.; AGOSTINHO, A.A. Influence of net cage farming on the diet of associated wildfish in a Neotropical reservoir. **Aquaculture**, n.330–333, n.1, p.172–178, 2012.

- DIEMER, O.; NEU, D.H.; FEIDEN, A.; LORENZ, E.K.; BITTENCOURT, F.; BOSCOLO, W.R. Dinâmica nictimeral e vertical das características limnológicas em ambiente de criação de peixes em tanques-rede. **Ciência Animal Brasileira**, v.11, n.1, p.24-31, 2010.
- EDWARD, J.B., IDOWU, E.O., OSO, J.A.; IBIDAPO, O.R. Determination of heavy metal concentration in fish samples, sediment and water from Odo-Ayo River in Ado-Ekiti, Ekiti-State, Nigeria. **International Journal of Environmental Monitoring and Analysis**, v.1, n.1, p.27-33. 2013.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/INEP, 2011.602 p.
- FAO -FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of World Fisheries and Aquaculture: contributing to food security and nutrition for all, 2016**. Roma: FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/2c8bcf47-2214-4aeb-95b0-62ddef8a982a/>. Acessado em 20 de Agosto de 2017.
- FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G.T.W. **Metal pollution in the aquatic Environment**. Springer, Heidelberg. 1983. 486p.
- FRAGA, A.B.; SILVA, F.L.; HONGYU, K.; SANTOS, D.D.S.; MURPHY, T.W.; LOPES, F.B. Multivariate analysis to evaluate genetic groups and production traits of crossbred Holstein × Zebu cows. **Tropical Animal Health and Production**, v. 1, p.1-6, 2015.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V.L.M.; JUNIOR, G.J.O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v.1, n.5, 2015.
- KEHRIG, H.A.; MALM, O.; AKAGI, A.; GUIMARÃES, J.R. D; TORRES, J.P.M. Methyl -mercury in fish and hair samples from the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon. **Environmental Research**, v.77, p.84-90, 1998.
- KOVÁCS, M. (Ed.). **Biological Indicators in Environmental Protection**. Tradução de Á. Máthé, Z. Tuba, J. L. Meenks, Zs. Csintalan. Chichester: Ellis Horwood, 1992. 125 p.
- KUPPUSAMY, M.R.; GIRIDHAR, V.V. Factor analysis of water quality characteristics including trace metal speciation in the coastal environmental system of Chennai Ennore. **Environment International**., v.32, n.2, p.174-179, 2006.
- LANDELL, M.C. **Avaliação do desempenho de tilápias (*Oreochromis niloticus*) Trewavas, 1983) em tanques-rede na represa de Jurumirim/Alto Rio Paranapanema, Jaboticabal, SP**. 2007. 106 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- LIMA, V.F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino de química. **Química Nova na Escola**, v.33, p.199-205, 2011.

- LIMA, D.P.; SANTOS, C.; SILVA, R.S.; YOSHIOKA, E.T.O.; BEZERRA, R.M. 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.
- LI, L; ZHENG, B; LIU, L. Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: definitions, approaches and trends. **Procedia Environmental Sciences**, v.2, n.1, p.1510-1524, 2010.
- MARENGONI, N.G. Produção de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. **Archivos de Zootecnia**, v.55, n.210, p.127-138, 2006.
- MATOS, F.T.; WEBBER, D.C.; FONTOURA, A.C.; PINHO, E.; ROUBACH, R.; BUENO, G. W.; FLORÊNCIO, D.; BARROS, D.J. **Monitoramento de qualidade de água das atividades aquícolas em reservatórios continentais brasileiros**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2016. 66 p.
- NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F.; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D.R.H.; MACHADO, F.B. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. **Geociências**, UNESP, v.21, n.1;2, p.15-32, 2002.
- OSTRENSKY, A.; BOEGER, W.A. Principais problemas enfrentados atualmente pela aquicultura brasileira. In: OSTRENSKY, A., BORGUETTI, J.R., SOTO, D. **Aquicultura no Brasil: o desafio é crescer**. Brasília: SEAP/FAO. 2008. 135-158 p.
- OTERO, N.; VITÒRIA, L.; SOLER, A. e CANALS, A. Fertilizer characterization: Major, trace and rare earth elements. **Applied Geochemist**, v.20, p.1473-1488, 2005.
- OZMEN, M., GÜNGÖRDÜ, A.; KUCUKBAY, F.Z.; GÜLER, E.R. Monitoring the effects of water pollution on *Cyprinus carpio* in Karakaya Dam Lake, Turkey. **Ecotoxicology**, v.15, p.157-169, 2006.
- PAROLIN, M.; GUERREIRO, R.L.; KUERTEN, S.; MENEZES, H.R. Bacias hidrográficas paranaenses. In: PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; LEANDRINI, J.A. **Abordagem interdisciplinar em bacias hidrográficas no estado do Paraná**. 22^a ed, Campo Mourão: Fecilcam, 2010, 170 p.
- PEREIRA, R.S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, v.1, n.1, p.20-36, 2004.
- PROGRAMA HIDROLÓGICO INTERNACIONAL. Disponível em <http://saofrancisco.hidroinformatica.org>. Acesso em: 10-07-2017.
- QUEIROZ, M.T. A., Dissertação de Mestrado, Bioacumulação de metais pesados na Bacia do Rio Piracicaba, Minas Gerais, aplicando a análise por Ativação Neutrônica Instrumental, Dezembro/2006. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano, MG.

- RENCHER, A. C. Methods of multivariate analysis. 2.ed. New York: Wiley Interscience, 2002. 738p.
- REPULA, C.M.M.; CAMPOS, B.K.; GANZAROLLI, E.M.; LOPES, M.C.; QUINÁIA, S.P. Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. **Química Nova**, v.35, n.5, p.905-909, 2012.
- ROTTA, M.A.; QUEIROZ, J.F. 2003. **Boas práticas de manejo (BPMs) para produção de peixes em tanques-redes.** Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/DOC47.pdf>>. Acesso em 21 de Maio de 2016.
- SABINO, C.V.S.; LAGE, L.V.; ALMEIDA, K.C.B. Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.19, Ed.spe, p.87-94, 2014.
- SALEH, Y.S.; MARIE, M.A.S. Assessment of metal contamination in water, sediment, and tissues of *Arius thalassinus* fish from the Red Sea coast of Yemen and the potential human risk assessment. **Environmental Science and Pollution Research**, v.22, p.5481-5490, 2015.
- SAMPAIO, F.G.; LOSEKANN, M.E.; LUIZ, A.J.B.; NEVES, M.C.; FRASCÁ-SCORVO, C.M.D.; RODRIGUES, G.S. Monitoramento e gestão ambiental da piscicultura em tanques-rede em reservatórios. **Informe Agropecuário**, v.34, n.272, p.1-11, 2013.
- SAVEGNAGO, R.P.; CAETANO, S.L.; RAMOS, S.B.; NASCIEMNTO, G. B.; SCHMIDT, G.S.; LEDUR, M.C.; MUNARI, D.P. Estimates of genetic parameters, and cluster and principal components analysis of breeding values related to egg production traits in a White Leghorn population. **Poultry Science**, v.90, p.2174–2188, 2011.
- SILVA, D.V.; SANTOS, E.D.; HAYAKAWA, E.H. Classificação temporal da vegetação das bacias do rio são Francisco verdadeiro e falso a partir de técnicas de sensoriamento remoto. In XI ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE, 1., 2015. **Anais...** Presidente Prudente, UNESP, p.630 a 5642, 2015.
- UECHI, D.A.; GABAS, S.G.; LASTORIA, G. Análise de metais pesados no Sistema Aquífero Bauru em Mato Grosso do Sul. **Engenharia sanitária ambiental**, v.22 n.1, p.155-167, 2017.
- VALENTI, W.C. **Aquaculture for sustainable development.** In VALENTI, W.C., POLI, C.R., PEREIRA, J.A. & BORGHETTI, J.R. (Eds.), *Aquicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável.* Brasília: CNPq/MCT, 2000. 17-24p.
- VINODHINI, R.; NARAYANAN, M. Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish *Cyprinus carpio* (Common carp). **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.5, n.2, p.179-182, 2008.
- YOKOYAMA, E.; PACIENCIA, G.P.; BISPO, P.C.; OLIVEIRA, L.G.; BISPO, P.C.A sazonalidade ambiental afeta a composição faunística de *Ephemeroptera* e *Trichoptera*

em um riacho de Cerrado do Sudeste do Brasil. **Revista Ambiente Guarapuava**, v.8, n.1, p.73-84. 2012.

ZHOU, Q.; ZHANG, J.; FU, J.; SHI, J.; JIANG, G. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. **Analytica Chimica Acta**, v.606, n.2, p.135-150, 2008.

3 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA E BIOACUMULAÇÃO DE METAIS EM PEIXES CULTIVADOS NO RESERVATÓRIO DA ITAIPU BINACIONAL EM ENTRE RIOS DO OESTE-PR

Resumo

O presente estudo teve como objetivo monitorar as variáveis físico-químicas da água e avaliar a bioacumulação de metais biologicamente essenciais, cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), e manganês (Mn), e metais pesados, cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em pele, brânquias, filé e fígado de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em tanques-rede no reservatório da Itaipu Binacional. O trabalho ocorreu no período de outubro de 2015 a setembro de 2016, na bacia do rio São Francisco Verdadeiro. Para o monitoramento da qualidade de água (temperatura, transparência, oxigênio dissolvido, pH, condutividade, sólidos totais e turbidez) foram delimitados três locais no eixo longitudinal da tilapicultura, para realização das amostragens, a montante (L_1), no entorno dos tanques-rede (L_2 , ponto de referência) e na porção a jusante (L_3). Os efeitos da dinâmica vertical da coluna de água foram monitorados utilizando três profundidades: epilímnio (P_1), metalímnio (P_2) e hipolímnio (P_3) em cada local. Mensalmente foram coletados 10 exemplares de tilápia do Nilo para avaliação da bioacumulação de metais em brânquias, fígado, filé e pele. As amostras após secas e moídas foram submetidas à digestão nitro-perclórica para posterior leitura por espectrometria de absorção atômica. Os valores médios das variáveis físico-químicas da água e dos teores de metais nos diferentes órgãos de tilápia foram agrupados por estação do ano e submetidos à análise de variância pelo sistema para análises estatísticas e genéticas, e em caso de evidência de significância as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados de bioacumulação mensal nos órgãos avaliados foram submetidos ao aplicativo computacional GENES para realização da análise de componentes principais. O oxigênio dissolvido, pH e sólidos totais variaram de acordo com o local de amostragem. Todas as variáveis físico-químicas (temperatura, transparência, oxigênio dissolvido, pH, condutividade, sólidos totais e turbidez) se mantiveram dentro dos padrões estipulados como ideais para o cultivo de tilápia do Nilo. As amostras de brânquias, pele e fígado da tilápia do Nilo apresentaram concentrações de Pb acima do permitido pela legislação. O cádmio foi verificado em concentrações excessivas para pele e brânquias apenas no inverno. Os dois primeiros componentes principais foram capazes de explicar 72,66% (54,00% pelo CP1 e 18,66% pelo CP2) da variância total dos teores de metais nas brânquias. Quanto ao teor de

metal no filé foi verificada a formação de dois agrupamentos principais, sendo que para os meses de outubro de 2015 a abril de 2016 estes agrupamentos localizam-se no mesmo quadrante do elemento chumbo. As variáveis da qualidade de água analisadas na tilapicultura atendem aos padrões das legislações para o cultivo no sistema de tanques-rede. A tilápia do Nilo pode ser considerada uma espécie potencial bioindicadora. A análise de componentes principais pode ser utilizada para caracterizar a bioacumulação de elementos metálicos nas brânquias, fígado, filé e pele de tilápia do Nilo.

Palavras-Chave: área aquícola, bioindicador, análise de componentes principais, tilapicultura

PHYSICAL-CHEMICAL EVALIATION OF WATER AND BIOACCUMULATION OF METALS IN FISH FARMED IN ITAIPU BINACIONAL RESERVOIR IN ENTRE RIOS DO OESTE, PR

Abstract

The objective of this study was to monitor the physical and chemical variables of water and to evaluate the bioaccumulation of biologically essential metals, copper (Cu), iron (Fe), zinc (Zn), and manganese (Mn), and heavy metals (Cd), chromium (Cr) and lead (Pb) in skin, gills, fillet and liver of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) grown in cages in the Itaipu Binacional reservoir. The work occurred in the period from October of 2015 to September of 2016, in the São Francisco Verdadeiro river basin. In order to monitor the water quality (temperature, transparency, dissolved oxygen, pH, conductivity, total solids and turbidity), three sites were delimited in the longitudinal axis of the tilapia farming for the sampling upstream (L1), reference point (L2) and the downstream portion (L3). The effects of vertical water column dynamics were monitored using three depths: epilimnium (P1), metalimetry (P2) and hypolimnium (P3) at each site. Monthly, 10 specimens of Nile tilapia were collected to evaluate the bioaccumulation of metals in gills, liver, fillet and skin. The samples after dried and ground were submitted to nitro-perchloric digestion for further reading by atomic absorption spectrometry. The mean values of the physical-chemical variables of the water and the metal values in the different organs of tilapia were grouped by season of the year and submitted to analysis of variance by the system for statistical and genetic analyzes, and in the case of evidence of significance the averages were compared by Tukey test at 5% probability. The monthly bioaccumulation data in the evaluated organs were submitted to GENES computational application to perform the principal component analysis. The dissolved oxygen, pH and total solids varied according to the sampling site. All physical-chemical variables (temperature, transparency, dissolved oxygen, pH, conductivity, total solids and turbidity) remained within the standards stipulated as ideal for the cultivation of Nile tilapia. Samples of gills, skin and liver of Nile tilapia presented concentrations of Pb above that allowed by legislation. Cadmium was found in excessive concentrations for skin and gills only in the winter. The first two principal components were able to explain 72.66% (54.00% by CP1 and 18.66% by CP2) of the total variance of metal contents in the gills. As for the contents of metals in the fillet the formation of two main groupings was verified for the months of October to April of 2016. These groupings are located in the same quadrant of the

element lead. The water quality variables analyzed in tilapia farming comply with the standards of the legislation for cultivation in the cages system. Nile tilapia can be considered a potential bioindicator species. Principal component analysis can be used to characterize the bioaccumulation of trace elements in the gills, liver, fillet and skin of Nile tilapia.

Key-words: aquaculture area, bioindicator, principal component analysis, tilapia farming

3.1 Introdução

O desenvolvimento da criação de peixes em tanques-rede tem aumento significativo devido ao aproveitamento dos recursos hídricos existentes, principalmente dos reservatórios de hidrelétricas (BRABO et al., 2014). Concomitantemente ao desenvolvimento da aquicultura cresce a exigência do monitoramento dos recursos hídricos (SAMPAIO et al., 2013). A qualidade do pescado pode ser afetada pela variação da qualidade da água, indicada por variáveis físicas, químicas e biológicas, interferindo na produtividade da piscicultura. A redução da qualidade da água nos sistemas de criação tem como consequência o prejuízo aos produtores (DIEMER et al., 2010).

Para prever como estão as condições ambientais para os peixes, é indispensável a avaliação de alguns parâmetros, incluindo oxigênio dissolvido, temperatura, pH, condutividade, transparência, entre outros fatores (AMARAL et al., 2014; CUNHA et al., 2013).

No sistema de produção utilizando tanques-rede consegue-se uma elevada produtividade em um determinado espaço, bem como um incremento considerável na produção aquícola, além de diminuir a pressão sobre os estoques pesqueiros naturais, o que requer, entretanto, monitoramento regular das condições ambientais. Os ambientes aquáticos são dinâmicos e podem sofrer grandes variações nas suas características físicas e químicas ao longo do tempo (LEONARDO et al., 2011).

O monitoramento e acompanhamento constante das condições ambientais e das variáveis de qualidade de água são fundamentais para verificar a amplitude de influências antrópicas no sistema, auxiliando na validação para a regulamentação de empreendimentos aquícolas em águas públicas da União, de acordo com a legislação vigente que impõem limites para os parâmetros físico-químicos e teores de substâncias potencialmente prejudiciais para os cursos d'água destinados à aquicultura (AYROZA et al., 2008; SAMPAIO et al., 2013).

Entre as variáveis de qualidade da água, destacam-se a temperatura, o oxigênio dissolvido (OD), o pH e a quantidade de matéria orgânica (MO). A radiação solar é a principal variável que controla a temperatura da água. O pH varia em função da temperatura e dos teores de OD e MO. Ele afeta o desenvolvimento e o metabolismo dos organismos aquáticos (ESTEVES, 2011). O teor de OD varia em função da temperatura, da atividade fotossintética, da turbulência da água, da vazão e da presença de sólidos em suspensão (BUENO et al., 2005; ESTEVES, 2011). A decomposição da matéria orgânica diminui o teor

de oxigênio dissolvido e o pH da água, pela liberação de gás carbônico, que origina o ácido carbônico (ESTEVEES, 2011). O ideal é que o teor de OD seja maior que 5 mg L⁻¹ e o pH permaneça entre 6,5 e 9,0 (BRASIL, 2005; ESTEVEES, 2011).

Com o aumento da utilização dos reservatórios de águas públicas para a produção aquícola em tanques-rede, torna-se fundamental o monitoramento das variáveis ambientais e de água destas áreas, obtendo-se uma ferramenta para a quantificação da influência destes sistemas de cultivo sobre o ecossistema (ONO; KUBITZA, 2003).

Os peixes podem bioacumular poluentes persistentes nos órgãos/tecidos através de dois mecanismos principais: através da absorção direta da água por brânquias por bioconcentração e através do consumo de alimentos contaminados por biomagnificação. A bioacumulação de metais pesados em peixes depende de uma ação complexa de numerosos fatores abióticos e bióticos, tais como: características físico-químicas da água, especificação química de metal e sua biodisponibilidade, concentração de metal na água, sedimentos e objetos alimentares, idade estimulada, gênero, seu nível trófico e hábitos alimentares, diferenças específicas de espécies na atividade metabólica acumulativa, rota de troca de metal, entre outros (SAULIUTE; SVECEVICIUS, 2017).

Os peixes se contaminam com metais principalmente por via oral por meio da água, dos alimentos e pela derme. O acúmulo ocorre principalmente nas brânquias, fígado e rins e aumenta em função de sua concentração na água e da espécie que se encontra exposta. Dessa forma, os peixes podem ser usados como biomonitores para metais, indicando o nível de contaminação e biodisponibilidade destes na região em que vivem, mesmo apresentando alguma mobilidade relativa (KUMAR; SINGH, 2010; MARENGONI et al., 2014).

O objetivo deste trabalho foi monitorar as variáveis físico-químicas da água e avaliar a bioacumulação de metais cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), e manganês (Mn), cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em pele, brânquias, filé e fígado de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em tanques-rede no reservatório da Itaipu Binacional.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Local de estudo

O estudo foi realizado no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu, mais especificamente no município de Entre Rios do Oeste na bacia do rio Paraná III na região Oeste do Paraná, sendo esta uma área destinada à produção aquícola em tanques-rede.

O município apresenta clima mesotérmico subtropical úmido (tipo Cfa) (ALVARES et al., 2014), com verões quentes, sem estação seca e com poucas geadas. A região é caracterizada por épocas de chuvas intensas no verão, seguida por estiagem acentuada provocada pelo intenso frio de inverno, com temperaturas médias anuais inferiores a 15 °C. A temperatura média do município é de 20,6 °C. Os meses mais quentes são dezembro, janeiro e fevereiro, com temperaturas médias superiores a 25 °C. Conforme as informações do Instituto Tecnológico Simepar (2017), os meses mais frios são maio, junho e julho, com temperaturas médias inferiores a 18 °C (Tabela 1).

Tabela 1. Dados meteorológicos do período de outubro/2015 a setembro /2016 observados na Estação Meteorológica do município de Entre Rios do Oeste

Variáveis	Estação			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Precipitação Pluvial (mm)	260,27±133,53	271,00±50,72	111,20±59,44	94,20±44,23
Pressão atm. (hpa)	977,88±0,83	978,65±1,80	983,85±2,68	983,29± 1,85
Temp. máxima (°C)	29,20±1,14	30,82±1,61	24,11±4,33	25,05± 2,25
Temp. mínima (°C)	19,57±0,97	19,90±1,33	13,10± 3,85	11,31±2,60
Umidade do ar (%)	79,21±5,80	76,86±2,83	76,62±4,22	67,98±4,65
Vel. do vento (m/s)	2,36±0,17	2,09±0,08	2,04±0,16	2,68±0,10

Fonte: Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR, 2017).

Os dados meteorológicos de precipitação, pressão atmosférica, temperaturas máxima e mínima, umidade e velocidade do vento coletados durante o período de um ano de acompanhamento foram agrupados por médias sazonais.

Para realização das amostragens foram delimitados três locais no eixo longitudinal da tilapicultura, definido como L₁, L₂ e L₃, respectivamente na porção a montante (S 24°41.200' W 54°14.200'), no ponto de referência (S 24°41.183' W 54°14.479') e a jusante (S 24°41.000' W 54°14.546') dos tanques-rede Para determinar os efeitos da dinâmica vertical da coluna de água foram monitoradas três profundidades: P₁ (epilímnio, 0,30 m), P₂ (metalímnio, 6,00 m) e P₃ (hipolímnio, 12,00 m).

3.2.2 Monitoramento da qualidade de água na área aquícola

A qualidade de água do reservatório foi monitorada mensalmente, durante 12 meses consecutivos, de outubro de 2015 a setembro de 2016. As variáveis físicas e químicas

(temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade, sólidos totais e turbidez) foram avaliadas utilizando uma sonda multiparamétrica portátil, marca Horiba, modelo U-54G, e a transparência da água foi mensurada pelo disco de Secchi.

3.2.3 Coleta de peixes e amostragem de órgãos

Foram coletados mensalmente 10 exemplares de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) oriundos do cultivo em tanques-rede, para avaliação dos dados da bioacumulação de metais biologicamente essenciais, cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), e manganês (Mn), e de metais pesados (cádmio, cromo e chumbo) em brânquias, fígado, filé e pele durante doze meses consecutivos de avaliação. Os dados obtidos foram agrupados para efeito temporal da sazonalidade (primavera, verão, outono e inverno).

Os peixes foram armazenados em caixa térmica contendo gelo e logo após transportados para os laboratórios da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Posteriormente, os espécimes foram anestesiados com eugenol (75 mg L^{-1}), para serem pesados e medidos. O abate foi realizado por meio de eutanásia por secção medular de acordo com os Princípios Éticos da Experimentação Animal, adotados pelo Colégio Brasileiro de Experimentação Animal (COBEA) e submetido ao Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA/Unioeste). Após, foram dissecados para retirada de brânquias, fígado, filé e pele.

3.2.4 Determinação de metais

As amostras de brânquias, fígado, filé e pele foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada de ar, a $60 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 72 horas e moídas no laboratório da Unioeste, em Marechal Cândido Rondon, PR. As análises de metais pesados ocorreram no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Unioeste, por meio da digestão nitro-perclórica das amostras e leitura por espectrometria de absorção atômica, modalidade chama, com aparelho da marca GBC, modelo 932 AA (WELZ; SPERLING, 1999; AOAC, 2005).

3.2.5 Análise dos dados

3.2.5.1 Análise estatística para variáveis de qualidade de água

Os valores médios dos parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo sistema para análises estatísticas e genéticas (SAEG, 2007) e, em caso de evidência de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.2.5.2 Análise estatística para metais

De modo a estudar a influência das estações do ano sobre a concentração dos metais nos diversos órgãos da tilápia do Nilo procedeu-se uma análise fatorial 4 x 4, onde o primeiro fator é constituído pelas quatro estações do ano (primavera, verão, outono e inverno) e o segundo fator os órgãos estudados (brânquias, fígado, filé e pele). Os valores médios das concentrações dos metais avaliados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo sistema para análises estatísticas e genéticas (SAEG) e, em caso de evidência de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para melhor interpretação dos dados de bioacumulação foi realizada análise de componentes principais utilizando o aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2013). A análise apresenta a distribuição dimensional dos indivíduos perante os componentes principais originados da análise multivariada das características empregadas na análise. A Análise de Componentes Principais (ACP) ou *Principal Component Analysis* (PCA) é um procedimento matemático que utiliza uma transformação ortogonal (ortogonalização de vetores) para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas num conjunto de valores de variáveis linearmente não correlacionadas, chamadas de componentes principais. Esta transformação é definida de forma que o primeiro componente principal tem a maior variância possível (ou seja, é responsável por explicar o máximo de variabilidade dos dados), e cada componente seguinte, por sua vez, tem a máxima variância sob a restrição de ser ortogonal e não correlacionado com os componentes anteriores (HONGYU et al., 2016).

3.3 Resultados e Discussão

As variáveis físico-químicas mensuradas no período de doze meses foram agrupadas e analisadas de acordo com a estação do ano. Os valores médios de temperatura, transparência, oxigênio dissolvido, pH, condutividade, e turbidez da água apresentaram diferenças ($P < 0,05$) entre as estações do ano, exceto para sólidos totais da água do reservatório no entorno dos tanques-rede (Tabela 2).

A temperatura da água do reservatório no entorno da área aquícola variou de 29,04 no verão a 21,10°C no inverno. Para tilápia do Nilo, a faixa adequada de temperatura geralmente varia de 25 a 30 °C (BOYD, 2005). Portanto, manteve-se favorável ao cultivo no verão e primavera, ficando abaixo do adequado no outono e inverno. A transparência variou de 56,89 cm no verão a 126,22 cm na primavera. Esta variável pode ter sofrido influência da temperatura, que foi propícia ao desenvolvimento de fitoplâncton, resultando em menores valores de transparência (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios das variáveis de qualidade de água analisadas no reservatório da Itaipu Binacional em Entre Rios do Oeste, Paraná, no período de outubro/2015 a setembro/2016.

Estação (E)	Variáveis						
	TP	TR	OD	pH	CD	TS	TB
Primavera	26,68b	126,22a	6,59b	6,96b	61,00b	0,0400	25,14ab
Verão	29,04a	56,89b	6,72b	7,03b	63,00b	0,0440	31,88a
Outono	21,30c	97,56a	7,38ab	7,17ab	67,00a	0,0433	16,83b
Inverno	21,10c	114,56a	7,93a	7,31a	62,00b	0,0421	16,04b
Local (L)							
L ₁	24,44	93,58	7,92a	6,75b	64,00	0,041b	24,65
L ₂	24,50	103,17	6,93b	7,33a	63,00	0,045a	21,69
L ₃	24,65	99,67	6,62b	7,28a	64,00	0,041b	21,08
Profundidade (P)							
P ₁	25,78a	98,81	7,48a	7,53a	64,00	0,043	21,26
P ₂	24,46b	98,81	6,62b	7,09b	63,00	0,042	19,00
P ₃	23,34b	98,81	5,87b	6,74c	64,00	0,042	27,16
Probabilidade							
Estação	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,064	0,001
Local	0,930	0,690	0,001	0,001	0,835	0,018	0,543
Profundidade	0,001	1,000	0,001	0,001	0,406	0,527	0,056
E*L	0,999	0,939	0,330	0,001	0,031	0,005	0,998
E*P	0,892	1,000	0,398	0,007	0,001	0,016	0,890
L*P	0,998	1,000	0,641	0,001	0,115	0,287	0,779
E*L*P	1,000	1,000	0,989	0,058	0,540	0,723	0,997
CV (%)	9,48	48,18	15,59	4,70	7,29	14,50	65,01

TP: Temperatura (C°), TR: Transparência (cm), OD: Oxigênio Dissolvido (%), pH: Potencial Hidrogeniônico, CD: Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), TS: Sólidos Totais (g/L), TB (NTU). Médias seguidas da mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= Coeficiente de Variação.

O oxigênio dissolvido, pH e sólidos totais variaram de acordo com o local de amostragem (Tabela 2). O pH mais elevado no local de referência pode ser explicado pelo fato de ser a localização dos tanques-rede em produção de tilápia. Neste local, a decomposição de material orgânico e os metabólitos oriundos do cultivo dos peixes somados ao aporte de nutrientes resultam em alteração dos compostos carbônicos que podem influenciar no pH (ESTEVEES, 2011).

Os valores da temperatura da água monitorados em três profundidades (Tabela 2) corroboram os observados por Diemer et al. (2010), quando avaliaram a dinâmica vertical das características limnológicas em ambiente de criação de peixes em tanques-rede em Santa Helena, Paraná, no reservatório da Itaipu Binacional. Os autores relataram similar comportamento térmico entre as diferentes profundidades onde registraram temperaturas de 25,78 °C na camada superior, 24,46 °C na camada intermediária e 23,34 °C no fundo.

Neste contexto, a temperatura, oxigênio e pH são afetados pela profundidade em que as variáveis foram mensuradas. Os parâmetros físicos e químicos da água se mantiveram nas condições normais para criação da tilápia do Nilo, conforme Boyd (2005).

Os reservatórios recebem continuamente água de seus tributários e, em consequência, sedimentos, nutrientes e possíveis poluentes provenientes de toda bacia de drenagem, influenciando diretamente nos parâmetros físico-químicos da qualidade de água. Segundo Kubitzka (2003), o pH da água para a produção de peixes está compreendido entre 6,5 e 9,0, sendo que valores acima ou abaixo podem prejudicar o desenvolvimento das tilápias. Os valores médios das variáveis pH e oxigênio dissolvido permaneceram dentro dos valores considerados padrões de qualidade de água recomendado pelo CONAMA, resolução nº 357/2005 para corpos de água doce classe II destinados à aquicultura (BRASIL, 2005), em que níveis de oxigênio dissolvido não devem ser inferiores a 6mg/L e o pH deve estar entre 6 e 9. Esta resolução estipula que a condutividade se mantenha abaixo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e da mesma forma a turbidez abaixo de 100 NTU.

Os teores dos metais detectados têm diversas origens, podendo ser provenientes da ração ofertada aos peixes e de outras fontes não pontuais, como a água que abasteceu o reservatório e materiais sedimentados, sucedendo-se a biomagnificação deste metal.

Os teores médios de Cu e Zn sofreram alterações quanto à sazonalidade, independente dos órgãos analisados. O elemento cobre foi verificado em maior ($P < 0,05$) concentração média ($166,33 \text{ mg kg}^{-1}$) no verão, enquanto que o zinco teve média superior ($P < 0,05$) no inverno ($144,08 \text{ mg kg}^{-1}$). Considerando os órgãos analisados, verificou-se que o fígado da tilápia do Nilo apresentou maiores ($P < 0,05$) concentrações de cobre ($437,42 \text{ mg kg}^{-1}$), zinco ($206,92 \text{ mg kg}^{-1}$) e ferro ($388,08 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 3).

A concentração média de cromo ($25,33 \text{ mg kg}^{-1}$) se apresentou superior ($P < 0,05$) no inverno enquanto que cádmio e chumbo não diferiram ($P < 0,05$) quanto à estação do ano analisada (Tabela 4). O cádmio e o cromo apresentaram médias superiores ($P < 0,05$) nas brânquias, enquanto que o chumbo esteve mais evidente na pele ($19,33 \text{ mg kg}^{-1}$) da tilápia do Nilo. Akan et al. (2012), ao avaliarem a bioacumulação de metais pesados, porém em amostras de *Tilapia zillii*, também observaram maior acumulação de cromo nas brânquias e menores no filé.

Tabela 3. Valores médios dos teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) expressos em mg kg^{-1} , na pele, brânquias, filé e fígado de tilápia do Nilo cultivada em tanques-rede no reservatório da Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste, PR.

Estação	Pele	Brânquias	Filé	Fígado	Média
Cobre (Cu)					
Primavera	3,83b	6,17b	2,67Bb	426,17Ba	109,71B
Verão	4,67b	9,50b	1,5Bb	649,67 Aa	166,33A
Outono	21,17b	10,50b	4,67Bb	348,50Ba	96,21B
Inverno	16,83b	8,33b	11,8Ab	325,34Ba	90,57B
Média	11,62b	8,62b	5,16b	437,42 a	
CV (%)		57,22			
Zinco (Zn)					
Primavera	103,33B	79,17B	22,17	68,83	68,37B
Verão	101,83Bab	109,00ABab	17,33b	235,67a	115,96AB
Outono	99,33Bb	142,33Ab	86,5b	325,67a	163,46B
Inverno	157,5A	110,17AB	131,17	197,50	149,08A
Média	115,50b	110,17b	64,29b	206,92a	
CV (%)		83,04			
Manganês (Mn)					
Primavera	10,83ab	7,00ab	18,5a	1,83Bb	9,54
Verão	7,33	12,17	0,33	13,5Aa	8,83
Outono	10,5	15,5	4,5	6,67ABab	9,29
Inverno	11,83	14,17	6,17	2,17Bb	8,58
Média	10,13	12,21	7,375	6,042	
CV (%)		105,51			
Ferro (Fe)					
Primavera	126,00b	312,00a	37,33Bb	410,17a	225,63
Verão	116,00c	310,67b	47,17Bc	428,67a	221,37

Outono	167,50b	324,44a	55,67Abc	345,50a	223,25
Inverno	168,67b	292,00a	70,20Ab	368,00a	224,72
Média	144,54c	309,75b	52,59d	388,08a	
CV (%)	30,24				

Médias seguidas da mesma letra minúscula, nas linhas, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= Coeficiente de Variação.

Os valores de cádmio encontram-se acima do estipulado pela ANVISA e WHO nas amostras de brânquias (Tabela 4), porém ficam dentro dos valores tolerados pela FAO. A *World Health Organization* (WHO, 1989), e *Food and Agriculture Organization* (FAO,1992) estipulam um limite de segurança para o Cd nos alimentos de 1,00 mg kg⁻¹ e 0,05 a 5,50 mg kg⁻¹, respectivamente.

Os teores de Cr detectados em todas as amostras de brânquias, filé, fígado e pele se encontram acima dos limites estipulados pelas legislações (BRASIL,1998; FAO, 1992), porém, sendo tolerados apenas pelos limites estipulados por WHO (1989), de 50 mg kg⁻¹.

Nas amostras de filé e fígado de tilápia do Nilo, os teores de Pb atendem os limites das legislações (WHO, 1989; FAO,1992; Brasil, 1998). Porém, as concentrações de Pb determinadas nas demais amostras encontram-se acima dos limites máximos de tolerância (WHO, 1989; FAO,1992; BRASIL, 1998).

Tabela 4. Valores médios dos teores de cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) expressos em mg kg⁻¹, na pele, brânquias filé e fígado de tilápia do Nilo cultivada em tanques-rede no reservatório da Itaipu Binacional, em Entre Rios do Oeste, PR.

Estação	Pele	Brânquias	Filé	Fígado	Média
Cádmio (Cd)					
Inverno	1,17ab	2,17a	0,83ab	0,17b	1,08
Primavera	0,33	1,00	ND	ND	0,33
Verão	0,50	0,67	ND	ND	0,29
Outono	0,33	1,33	0,92	ND	0,65
Média	0,58ab	1,29a	0,43b	0,042b	
CV (%)	189,37				
Cromo (Cr)					
Inverno	6,83b	86,17Aa	4,66b	3,67b	25,33 ^a
Primavera	4,83b	33,83Ba	0,17b	0,50b	9,83B
Verão	7,5b	51,17Aba	3,17b	3,00b	16,21AB
Outono	7,17b	50,50Aba	2,83b	5,00b	16,37AB
Média	6,58b	55,42a	2,70b	3,04b	
CV (%)	80,32				
Chumbo (Pb)					
Inverno	17,50	3,33	ND	ND	5,21
Primavera	10,33	6,83	ND	ND	4,29
Verão	23,50	10,67	0,33	4,00	9,62
Outono	26,00	4,83	ND	3,17	8,50

Média	19,33 ^a	6,41 ^b	0,08 ^c	1,79 ^{bc}
CV (%)	118,11			

Médias seguidas da mesma letra minúscula, nas linhas, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV = Coeficiente de Variação. ND = não detectado

Na Figura 3, verifica-se a distribuição dos meses do ano (1 a 12, sendo 1 o mês de outubro de 2015 e 12 o mês de setembro de 2016) para os componentes principais originados a partir da determinação dos metais Cu, Fe, Zn, Mn, Cd, Cr e Pb em brânquias de tilápia do Nilo cultivada em tanques rede na área destinada à aquicultura no reservatório. Os dois primeiros componentes principais foram capazes de explicar 72,66% (54,00% pelo CP1 e 18,66% pelo CP2) da variância total dos dados originais, sendo considerados suficientes para interpretar os dados obtidos.

Os dois primeiros componentes evidenciaram a existência de um padrão espacial, havendo predominância na formação de três grupos, sendo o primeiro composto pelo mês de outubro do ano de 2015, onde foram verificados valores de metais pesados distintos dos demais meses para as brânquias das tilápias. Este resultado se justifica parcialmente devido ao fato do elemento ferro apresentar apenas 249 mg kg⁻¹ nas brânquias, sendo o valor de menor magnitude dentre os demais meses de análise. Os meses de novembro e dezembro de 2015 e janeiro de 2016 tiveram comportamento diferenciado dos demais meses avaliados, caracterizando a formação do segundo padrão espacial observado na figura 3. Este pode ser embasado na ocorrência de menores valores de Cu, Zn, Cr e Mn aliado a maiores concentrações de Fe. O ferro participa de processos hepáticos, e também está associado ao transporte de oxigênio por meio da hemoglobina, sendo considerado um dos elementos mais importantes para o organismo e sua associação com o transporte de oxigênio justifica sua concentração neste órgão (BIRUNGI et al., 2007).

Javed e Usmani (2013) verificaram valores médios de ferro de 799,66 ± 0,41 mg kg⁻¹ em brânquias de *Mastacembelus armatus* utilizados para avaliar a contaminação no reservatório da usina térmica Harduaganj na Índia, sendo superiores aos valores médios observados em brânquias de tilápia do Nilo (Tabela 3).

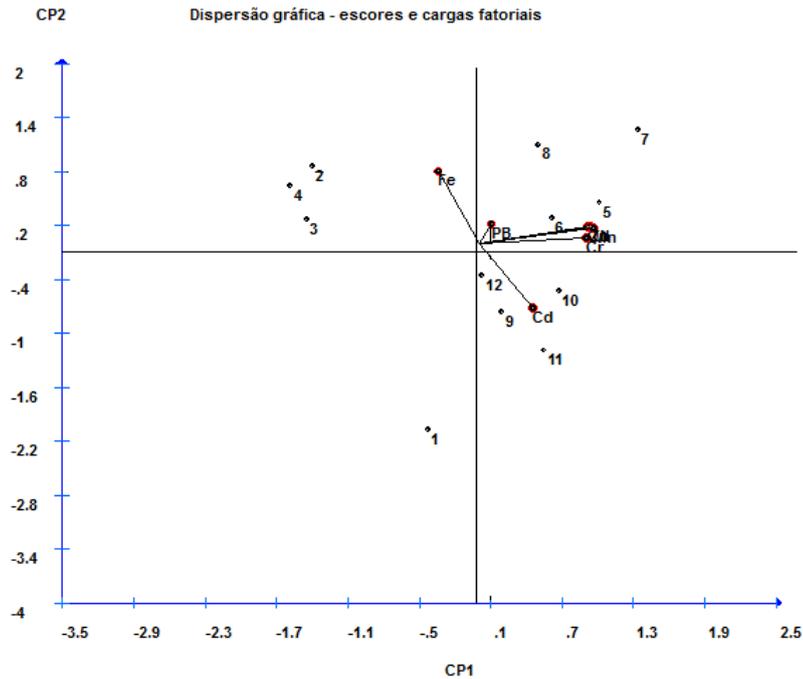


Figura 2. Componentes principais (CP1 e CP2) da bioacumulação de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em brânquias de tilápia do Nilo em doze meses de amostragem (1-Outubro, 2-Novembro, 3-Dezembro, 4-Janeiro, 5-Fevereiro, 6-Março, 7-Abril, 8-Maio, 9-Junho, 10-Julho, 11-Agosto, 12-Setembro).

Nos meses de fevereiro, março, abril e maio de 2016 (meses 5, 6, 7 e 8) verificou-se maiores concentrações de Cu, Zn e Mn, levando a uma distribuição espacial destes meses no quadrante 4. Os demais meses tiveram concentrações menos significativas dos elementos avaliados, estando no quadrante 1 da Figura 2.

Na figura 3 verifica-se que a distribuição de componentes principais para os escores e cargas fatoriais dos doze meses de avaliação, durante o período de outubro de 2015 a setembro de 2016 e diferentes elementos (Cu, Fe, Zn, Mn, Cd, Cr e Pb) em fígado de tilápia do Nilo cultivada em tanques rede na área aquícola é capaz de explicar 54,00% (CP1) e 18,65% (CP2) da variância total dos dados originais. Os meses de fevereiro e abril possuem maior destaque em CP1 com maior peso para os valores de cromo, chumbo e zinco no quadrante 1 da Figura 3. Os meses de outubro e novembro se destacam no quadrante 3 com maior afinidade com o elemento ferro. Os meses 10, 11 e 12 (julho, agosto e setembro), que caracterizam estação inverno, estão localizados no quadrante 2 e possuem destaque para o elemento cádmio.

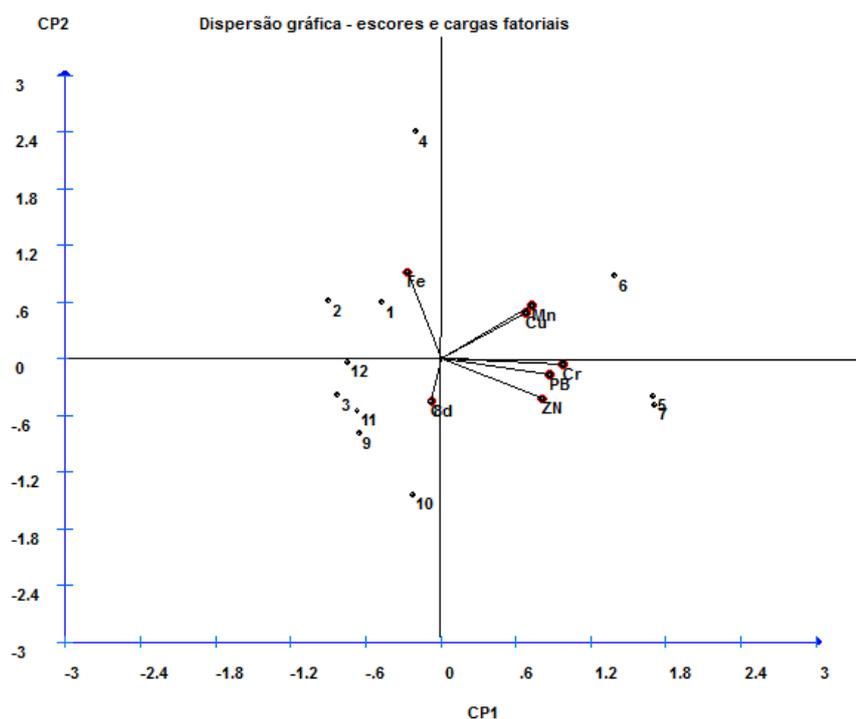


Figura 3. Componentes principais (CP1 e CP2) da bioacumulação de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em fígado de tilápia do Nilo em doze meses de amostragem (1-Outubro, 2-Novembro, 3-Dezembro, 4-Janeiro, 5-Fevereiro, 6-Março, 7-Abril, 8-Maio, 9-Junho, 10-Julho, 11-Agosto, 12-Setembro).

No presente estudo tendo como alvo a tilápia do Nilo, verificou-se a tendência de acumulação na ordem dos metais $Cu > Fe > Zn > Mn$ para o fígado, enquanto que, em estudo realizado por Karadede e Ünlü (2000), no lago Atatürk Dam na Turquia os autores demonstraram que para o fígado de *C. carpio* há tendência de acumulação na ordem dos metais, sendo $Zn > Fe > Cu > Mn$.

Para o filé foi verificada a formação de dois agrupamentos principais, sendo que nos meses de outubro a abril de 2016 estes agrupamentos localizam-se no mesmo quadrante do elemento chumbo. Os meses de outubro a março compõem as estações primavera e verão, estas estações são as que apresentaram maiores valores de precipitação pluviométrica. Este fato pode interferir no carreamento de resíduos ao longo da bacia que deságua em Entre Rios do Oeste, levando ao resultado encontrado. Os meses de junho, julho e agosto (quadrante 1) apresentam maior peso para os elementos cobre, cromo e zinco. A dispersão gráfica é capaz de explicar 66,67% (CP1) e 25,24% (CP2) da variância total dos dados (Figura 4).

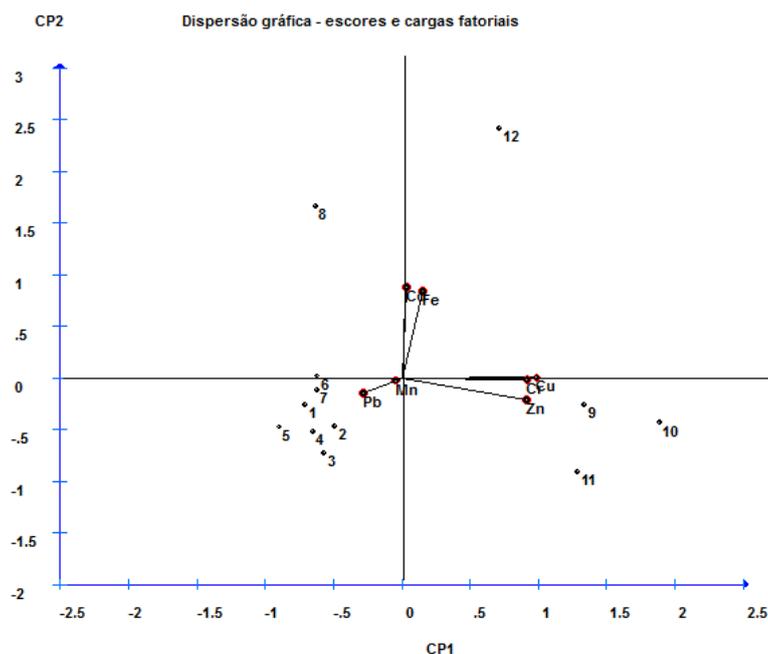


Figura 4. Componentes principais (CP1 e CP2) da bioacumulação de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em filé de tilápia do Nilo em doze meses de amostragem (1-Outubro, 2-Novembro, 3-Dezembro, 4-Janeiro, 5-Fevereiro, 6-Março, 7-Abril, 8-Maio, 9-Junho, 10-Julho, 11-Agosto, 12-Setembro)

A concentração de elementos traço varia de acordo com os órgãos e tecidos, como músculos e vísceras, em potencial o fígado e o epitélio das brânquias, sendo estes considerados os principais sítios de acúmulo dessas substâncias. A presença de metais tóxicos em qualquer um desses órgãos infere que há algum risco de contaminação em humano devido o consumo destes peixes (PORTO; ETHUR, 2009).

Os valores de componentes principais para pele de tilápia do Nilo apresentam grande dispersão resultando na formação de dois agrupamentos principais, destacando-se o elemento cobre com maior peso sobre CP1 no mês de junho e chumbo com maior peso sobre CP2 nos meses de abril e maio. A dispersão gráfica é capaz de explicar 54,00% (CP1) e 18,65% (CP2) da variação total dos dados (Figura 5). Os meses de julho, agosto e setembro (10, 11 e 12) (quadrante 4), representando o inverno, possuem destaque para grande parte dos elementos avaliados (Mn, Fe, Cd, Cr e Zn). O inverno além de apresentar menores temperaturas também possui baixa pluviosidade, fato que pode ter levado a uma maior concentração destes elementos.

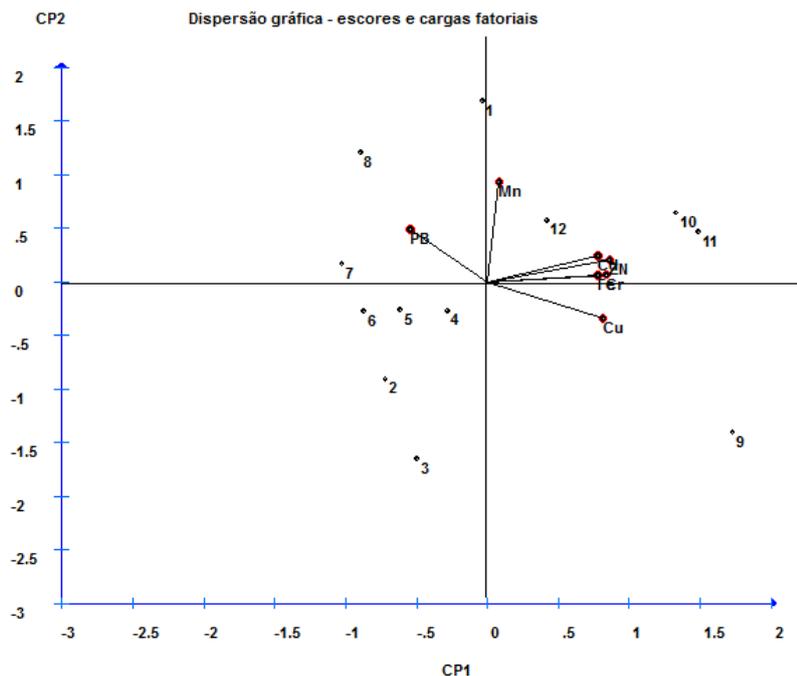


Figura 5. Componentes principais (CP1 e CP2) da bioacumulação de cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em pele de tilápia do Nilo em doze meses de amostragem (1-Outubro, 2-Novembro, 3-Dezembro, 4-Janeiro, 5-Fevereiro, 6-Março, 7-Abril, 8-Maio, 9-Junho, 10-Julho, 11-Agosto, 12-Setembro).

3.4 Conclusões

As variáveis da qualidade de água analisadas na tilapicultura atendem aos padrões das legislações para o cultivo no sistema de tanques-rede. A tilápia do Nilo pode ser considerada uma espécie potencial bioindicadora. A análise de componentes principais pode ser utilizada para caracterizar a bioacumulação de elementos metálicos nas brânquias, fígado, filé e pele de tilápia do Nilo.

3.5 Referências

- AKAN, J.C., MOHMOUD, S., YIKALA, B.S. AND OGUGBUAJA, V.O. Bioaccumulation of some heavy metals in fish samples from river Benue in Vinikilang, Adamawa State, Nigeria. **American Journal of Analytical Chemistry**, v.3, n.5, p.727-736, 2012.
- ALVARES, C.A. et al. Köppens climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 711–728. 2014.
- AMARAL, A.A., PIRES, S.C. & FERRARI, J.L. Qualidade da água e do sedimento de fundo de alguns córregos do município de Castelo, Estado do Espírito Santo. **Revista Agroambiente**, v.8, n.2, p.194-203, 2014.

- AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. 18.ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.
- AYROZA, D.M.M.R.; FURLANETO, F.P.B.; AYROZA, L.M.S. Regularização de projetos de piscicultura no estado de São Paulo. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, v.1, n.1, p.33-41, 2008.
- BIRUNGI, Z.; MASOLA, B.; ZARANYIKA, M.F.; NAIGAGA, I.; MARSHALLE, B. Active biomonitoring of trace heavy metals using fish (*Oreochromis niloticus*) as bioindicator species. The case of Nakivubo wetland along Lake Victoria. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 32, p. 1350-1358, 2007.
- BOYD, C.E. **Farm-Level Issues in Aquaculture Certification: Tilapia**. Report commissioned by world wild life - US. 29p, 2005.
- BRABO, M.F.; VERAS, G.C.; PAIVA, R.S.; FUJIMOTO, R.Y. Aproveitamento aquícola dos grandes reservatórios brasileiros. *Boletim do Instituto de Pesca*, v.40, n.1, p.121-134, 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Portaria nº 685, de 27 de agosto de 1998**. Aprova o Regulamento Técnico e princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos. Diário Oficial [da] União. Brasília, DF, 24 set. 1998. Seção 1.
- BUENO, L.F.; GALBIATTI, J.A.; BORGES, M.J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto Ouro Verde -Conchal –SP. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.3, p.742-748, 2005.
- CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; LAMPARELLI, M.C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSItsr). *Ecological Engineering*, v.60, p.126-134, 2013.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- DIEMER, O.; NEU, D.H.; FEIDEN, A.; LORENZ, E.K.; BITTENCOURT, F.; BOSCOLO, W.R. Dinâmica nictimeral e vertical das características limnológicas em ambiente de criação de peixes em tanques-rede. *Ciência Animal Brasileira*, v.11, n.1, p.24-31, 2010.
- ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Report on a Regional Study and Workshop on the Environmental Assessment and Management of Aquaculture Development, 1992**. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ac279e00.htm>. Acessado em 11 de julho 2017.

- HONGYU, K., SANDANIELO, V.L.M., JUNIOR, G.J.O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v.5, n.1, 2016.
- JAVED, M.; USMANI, N. Assessment of heavy metal (Cu, Ni, Fe Co, Mn, Cr, Zn) pollution in effluent dominated rivulet water and their effect on glycogen metabolism and histology of *Mastacembelus armatus*. **Springer Plus**, v.2, n.1, p.1–13, 2013.
- KARADEDE, H.; UNLÜ, E. Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. **Chemosphere**. 2000, 41, 1371.
- KUBITZA, F. A evolução da tilapicultura no Brasil: produção e mercados. **Panorama da aquicultura**, v.13, n.76, p.25-35, 2003.
- KUMAR, P.; SINGH, A. Cadmium toxicity: an overview. In: Green Earth Research Foundation. **Bulletin of Biosciences**, v.1, n.1, p.41-47, 2010.
- LEONARDO, A.F., CORRÊA, C.F. BACCARIN, A.E. Qualidade da água de um reservatório submetido à criação de tilápias em tanques-rede, no sul de São Paulo, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**. v.37, n.3, p.341–354, 2011.
- MARENGONI, N.G.; WILD, M.B.; GONÇALVES JUNIOR, A.C.; VIVIAN, M.M.P.S.; MOURA, M.C. Bioacumulação de metais pesados em tilápia do Nilo e retenção no solo e sedimento dos viveiros com adição de probióticos na dieta. **Bioscience Journal**, v.30, n.4, p.1158-1167, 2014.
- ONO, E. A.; KUBITZA, F. **Cultivo de peixes em tanques-rede**. 3. ed. E. A. Ono: Jundiaí, 2003. 112p.
- PORTO, L.C.S.; ETHUR, E.N. Elementos traço na água e em vísceras de peixes da Bacia Hidrográfica Butuí-Icamaquã Rio Grande de Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v.39, n.9, p.2512-2518, 2009.
- SAEG. Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SAMPAIO, F.G.; LOSEKANN, M.E.; LUIZ, A.J.B.; NEVES, M.C.; FRASCÁ-SCORVO, C.M.D.; RODRIGUES, G.S. Monitoramento e gestão ambiental da piscicultura em tanques-rede em reservatórios. **Informe Agropecuário**, v.34, n.272, p.1-11, 2013.
- SAULIUTE, G.; SVECEVICIUS, G. heavy metals (zn, cu, ni, cr, pb, cd) in water and body tissues of young atlantic salmon *salmo salar* in two rivers of different pollution level: a comparison with fish condition parameters. **Fresenius Environmental Bulletin**. v.26, n.1a, p.666-673, 2017.
- WELZ, B.; SPERLING, M. (1999). **Atomic Absorption Spectrometry**. Weinheim: Wiley-VCH, 941p.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Technical Report Series, 1989. Food safety issues associated with product from aquaculture. WHO Technical Report Series 883.