

DOI: 10.33947/1981-741X-v19n2-4437

**EFLUENTE DE PISCICULTURA: ADEQUAÇÃO À LEGISLAÇÃO AMBIENTAL POR MEIO DA
TECNOLOGIA DE ILHAS FLUTUANTES ARTIFICIAIS (IFAs)**

**FISHPOND EFFLUENT: ADEQUACY FOR ENVIRONMENTAL LEGISLATION THROUGH TECHNOLOGY
OF ARTIFICIAL FLOATING ISLANDS (AFIs)**

Cacilda Thais Janson Mercante¹, Clóvis Ferreira do Carmo¹, João Alexandre Saviolo Osti²

RESUMO .

Viveiros de piscicultura geram matéria orgânica (MO) composta principalmente por nitrogênio (N) e fósforo (P) os quais são lançados pelo efluente, comumente sem tratamento prévio, ao corpo hídrico receptor. Para obtenção do licenciamento ambiental os efluentes gerados pela atividade de aquicultura devem se adequar as recomendações previstas na legislação. No Estado de São Paulo, o Decreto Estadual 62.243 de 01 de novembro de 2016 dispõe sobre as regras e procedimentos para o licenciamento ambiental, promovendo ações para fortalecer e incentivar a aquicultura paulista. Diante da necessidade de regularização dos empreendimentos aquícolas, tecnologias viáveis economicamente e ambientalmente podem vir a ser opções para o produtor regularizar sua atividade. Ilhas flutuantes artificiais (IFAs) são tecnologia alternativa para tratamento de efluentes de piscicultura tendo sido demonstrada sua eficiência na retenção de nutrientes. No presente estudo se discute o papel dessas IFAs com relação à adequação do efluente de tilápicultura à legislação ambiental. Para tanto, seis viveiros de engorda de tilápias-do-Nilo com e sem IFAs foram utilizados nesta pesquisa. Os resultados demonstraram que dentre as variáveis analisadas os níveis de fósforo não atingiram concentrações para adequar a legislação ambiental vigente, ou seja, inferiores à 50 µg L⁻¹ mesmo naqueles onde foram implantadas as IFAs. A aplicação de boas práticas de manejo com melhor conversão alimentar e controle da vazão podem reduzir a sobrecarga desse elemento no sistema e com isso permitir melhor eficiência de retenção de nutrientes pelas IFAs.

PALAVRAS-CHAVE: Aquicultura. Viveiro de piscicultura. Fitorremediação. Qualidade da água. Eichhornia crassipes.

ABSTRACT.

Fish farm ponds generate organic matter (OM) composed mainly of nitrogen (N) and phosphorous (P) which are usually released by the effluent without prior treatment to the receiving water body. To obtain the environmental license, the effluents generated by the aquaculture activity must comply with the recommendations contained in the legislation. In the State of São Paulo, the State Decree 62.243 of November 1, 2016 the rules and procedures for environmental licensing of São Paulo aquaculture are available, promoting actions to strengthen and encourage São Paulo aquaculture. In view of the need to regularize aquaculture enterprises, economically and environmentally viable technologies may become options for producers to regularize their activity. Artificial Floating Islands (AFIs) are alternative technology for the treatment of fish farming effluents and their efficiency in nutrient retention has been demonstrated. The present study discusses the role of this AFIs in relation to the adequacy of tilapia farming effluent of environmental legislation. For this purpose, six nurseries for fattening Nile tilapia with and without AFIs were used in this research. The results showed that among the variables analyzed, the phosphorous levels did not reach concentrations to adapt the current environmental legislation, that is, lower than 50 µg L⁻¹. The application of good management practices with better

¹ Pesquisador científico do Instituto de Pesca – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) - Secretaria de Agricultura e Abastecimento – São Paulo - SP, Brasil.

² Professor colaborador no Mestrado em Análise Geoambiental – UNIVERITAS UNG, Guarulhos - SP, Brasil.

E-mail: jale.osti@gmail.com

feed conversion and flow control can reduce the overload of this element on the system and thus allow better efficiency of nutrient retention by the AFIs.

KEYWORDS: *Aquaculture, Fishponds. Phytoremediation. Water quality. Eichhornia crassipes.*

INTRODUÇÃO

A produção de organismos aquáticos é um setor econômico em expansão global devido à capacidade de produzir alimentos saudáveis e nutricionalmente ricos que representam uma fonte primária de proteínas em muitos países (FAO, 2020). No Brasil, o setor aquícola está em franco desenvolvimento com uma taxa de crescimento de 4,9% entre os anos 2018 e 2019, índice que é superior a outras atividades de produção animal (PEIXE-BR, 2020). No entanto, o principal desafio do setor voltado à aquicultura na atualidade está relacionado à sustentabilidade da produção. Isto porque a pressão relacionada à conversão de novas áreas preservadas para a implantação dos empreendimentos e o acesso a água de boa qualidade e quantidade que está cada vez mais escassa, podem ser empecilho para o futuro da atividade (VALENTI et al., 2018; BOYD et al., 2020).

Para Siqueira (2017), a aquicultura é uma atividade que pode ser praticada de forma sustentável, com custo de investimento relativamente baixo e produtividade elevada, que apresenta capacidade de ampliar a produção mundial de alimentos de forma significativa, contribuindo, assim, para a maior segurança alimentar no mundo. Por ser uma atividade de baixo custo de implantação e operacional, bem como de tecnologia acessível, a aquicultura apresenta-se como uma alternativa para geração de emprego e renda de forma competitiva em regiões menos desenvolvidas.

Os resíduos descartados via efluente, através do cultivo de organismos aquáticos, pode apresentar elevado potencial de poluição dos corpos hídricos receptores (AMÉRICO et al., 2013; YALCUK et al., 2014). O efeito deste efluente no ambiente aquático varia em função do tamanho do sistema produtivo, da quantidade de biomassa estocada, da natureza e volume de água utilizado, das práticas de manejo, da qualidade da ração que é ofertada aos organismos cultivados, do acúmulo e tipo de poluente e da capacidade de assimilação do corpo hídrico receptor (BOAVENTURA et al., 1997; MACEDO et al., 2010; BORGES et al., 2012; MERCANTE et al., 2014). O principal fator relacionado à descarga excessiva de nutrientes via efluente é a ração introduzida no sistema de criação (WANG et al., 2012; BUREAU et al., 2003; MORAES et al., 2016; OSTI et al., 2018a) seja diretamente pela dispersão do alimento não

ingerido ou pelos produtos metabólicos gerados pelos organismos (AMIRKOLAIE, 2011).

Do total de fósforo e nitrogênio fornecidos na dieta, cerca de 30% estarão presentes na biomassa dos organismos cultivados e o restante vai para o meio via efluente (FRASCA-SCORVO et al., 2013; MORAES et al., 2016; DAVID et al., 2017; OSTI et al., 2018a;). A exportação anual de nutrientes para o ambiente advindo da aquicultura continental, em 2010, foi de 0,9 milhões de toneladas de fósforo (P) e 5 milhões de toneladas de nitrogênio (N) (BOUWMAN et al., 2013). Neste contexto, pesquisas que englobam a maior eficiência no uso dos recursos naturais e que reduza os impactos ambientais causados pela atividade, como no tratamento do efluente de piscicultura, visam atender às exigências das novas legislações e às pressões de órgãos ambientais e da própria sociedade (BOYD, 2003; BOYD et al., 2020).

No Brasil, os estados têm intensificado cada vez mais o monitoramento e controle da qualidade da água, fato que levou a readequação das exigências legais. Desta forma, na legislação brasileira, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), colegiado federal do Ministério do Meio Ambiente, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes através das resoluções 357 de 2005 e 430 de 2011 e suas alterações (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011), ou seja, regulamenta o limite permitido das concentrações de nutrientes no efluente descartado de acordo com o enquadramento do corpo hídrico. E no âmbito do Estado de São Paulo por meio do Decreto Estadual 62.243 de 01 de novembro de 2016 (SÃO PAULO, 2016), dispõe-se as regras e procedimentos para o licenciamento ambiental da aquicultura paulista. Particularmente, o referido Decreto foi elaborado visando promover ações para fortalecer e incentivar a aquicultura paulista que cresceu nos últimos anos. Tais medidas permitem a regularização das atividades aquícolas possibilitando que os pequenos produtores paulistas deixem a informalidade e passem a trabalhar de forma segura, de acordo com as legislações vigentes. Piscicultores, ranicultores, criadores de mariscos, ostras, algas e outros animais aquáticos do Estado de São Paulo podem realizar a regularização de suas atividades por meio da Declaração de Conformidade da Atividade de Aquicultura (DCAA) (SÃO PAULO, 2016).

Concomitantemente, o controle do lançamento de efluentes segue as diretrizes constantes nas resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011 e suas alterações, com parâmetros a serem seguidos para o resíduo gerado pelas atividades de aquicultura. No estado de São Paulo, os empreendimentos aquícolas deverão se adequar as exigências legais num curto prazo de tempo caso contrário, perante ao órgão ambiental, estarão irregulares. Atualmente, atender estes padrões estabelecidos pela legislação vigente tem sido um entrave para adequação ambiental, principalmente para os pequenos produtores, pois tratamentos convencionais podem inviabilizar economicamente a produção devido aos elevados custos.

Neste sentido, tecnologia desenvolvida com a finalidade de tratamento de efluentes tem sido empregada como as Wetlands Construídas (WCs) que são sistemas desenhados e construídos utilizando processos naturais na remoção de nutriente e são alternativas de mais baixo custo e de simples operação e manutenção, apresentando grande eficiência na remoção de matéria orgânica de viveiros de aquicultura (KIVAISI, 2001; SCHULZ et al., 2003; LIN et al., 2005; HENRY-SILVA & CAMARGO, 2008; CARBALLEIRA et al., 2016; OSTI et al., 2018b). Entretanto, para neutralizar os efeitos da atividade sobre os recursos hídricos e atender os padrões de lançamento de efluente, estudos apontam há necessidade de uso de ao menos 10% da área de produção para a implantação das WCs (BIUDES, 2007; HENARES & CAMARGO, 2014), fato que pode ser inviável economicamente, pois necessitaria da conversão de áreas preservadas ou a destinação da área de produção para a implantação das WCs.

Tecnologias alternativas as WCs tem sido adotada em alguns países com a finalidade de controle da poluição, denominadas ilhas flutuantes artificiais (IFAs) as quais são projetadas para flutuar na superfície da água com flutuadores e estruturadas para estabilizar as raízes das plantas e os caules subterrâneos. Macrófitas são plantadas sobre as estruturas, que funcionam de forma semelhante aos tapetes flutuantes naturais. Diferentes autores utilizaram essa metodologia em águas residuais, riachos, escoamento de águas pluviais, drenagem de minas ácidas e reservatórios de abastecimento de água (HUBBARD et al., 2004; HEADLEY & TANNER 2006; LYNCH et al. 2015). Uma adaptação dessa tecnologia foi idealizada com o objetivo de

testar a eficiência de ilhas flutuantes artificiais para o tratamento de efluentes de tilapicultura (OSTI et al., 2020). Os referidos autores construíram estruturas de canos de PVC de 2 m² cada e as colonizaram com macrófitas livres flutuantes (*Eichhornia crassipes*) as quais ocuparam 10% da área do viveiro de produção de tilápias. Os resultados demonstraram que a estrutura foi eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo reduzindo a carga lançada pelo efluente advindo da piscicultura. A partir dessa tecnologia o presente estudo discute o uso da tecnologia de ilhas flutuantes artificiais (IFAs) frente ao licenciamento ambiental da aquicultura particularmente do Estado de São Paulo. Na presente pesquisa foram realizados os levantamentos das variáveis limnológicas com ênfase nas concentrações de nitrogênio e fósforo em viveiros com e sem ilhas sendo testada a eficiência da biorremediação quanto à adequação do lançamento de efluentes à legislação ambiental.

MATERIAS E MÉTODOS

Para este trabalho foram utilizados dados do estudo realizado no período de dezembro de 2018 a abril de 2019 (133 dias), na Estação Experimental em Aquicultura. A Estação está vinculada ao Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Agronegócio do Vale do Paraíba, município de Pindamonhangaba, Estado de São Paulo, Brasil (22° 56' 27" S, 45° 26' 32.2" W) (Figura 1 e 2). Foram utilizados seis viveiros escavados (lateral e fundo de terra), com área superficial de 200 m² e aproximadamente 1,2 m de profundidade, totalizando volume de 240 m³. A renovação de água foi constante e sem aeração mecânica.

A espécie utilizada foi a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), indivíduos sexualmente revertidos, com peso médio inicial de 22,64 g, na densidade de três peixes por m². O sistema de produção adotado foi o semi-intensivo de produção. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia, com ração comercial extrusada contendo entre 45 a 32% de proteína bruta e a granulometria de 1 a 8 mm. A quantidade de ração ofertada foi de 3.0 a 1.5% da biomassa total estimada, sendo considerado o estágio de desenvolvimento da população (tamanho/idade) e a estimativa da biomassa produzida.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com dois tratamentos e três replicações. Os tratamentos foram os seguintes:

T1) viveiro de engorda de tilápias com ilhas flutuantes artificiais (IFAs) colonizadas com o aguapé (*Eichhornia crassipes*); T2) viveiro de engorda de tilápias sem as ilhas flutuantes artificiais (SIFAs) (Figura 2). A área de 10% dos viveiros foi ocupada pelas IFAs, este dimensionamento foi embasado nos estudos de Biudes (2007), Henares & Camargo (2014) e Sipaúba-Tavares (2013) para WCs e adaptado para o formato de IFAs. Aproximadamente 80% da superfície das IFAs foram inicialmente ocupadas pelo aguapé (em Osti et al. (2020), os autores descrevem o detalhamento das estruturas e dimensão das IFAs).

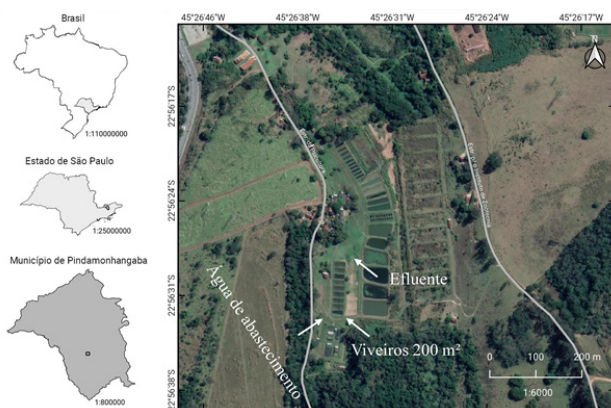
(TP) ($\mu\text{g L}^{-1}$) seguiram metodologia descrita por Valderrama (1981). O íon amônio (N-NH_4) (mg L^{-1}) seguiu-se a técnica de Nessler, descrita em APHA (2005). A estimativa da biomassa fitoplanctônica por meio da concentração de clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$) foi de acordo com Marker et al. (1980) e Sartory et al. (1984). Os dados de produção, dimensionamento das ilhas flutuantes artificiais e das variáveis ambientais fazem parte do projeto “Efluente de aquicultura: adequação à legislação ambiental por meio de implantação de Ilhas Flutuantes Artificiais (IFAs)” (Processo FAPESP no. 2018/12664-4).

Figura 1 – Localização da área de estudo. Em destaque os viveiros escavados de 200 m² distribuidos em série, o local de captação da água de abastecimento e local de lançamento do efluente dos viveiros.

Figura 2 – Viveiros para engorda de tilápia-do-nilo. Em destaque o delineamento dos viveiros com as ilhas flutuantes artificiais e colonizadas com a *Eichhornia crassipes*

Figure 1 - Location of the study area. Highlighted are the 200 m² excavated nurseries distributed in series, the source of water supply and the place where the effluent from the nurseries is released.

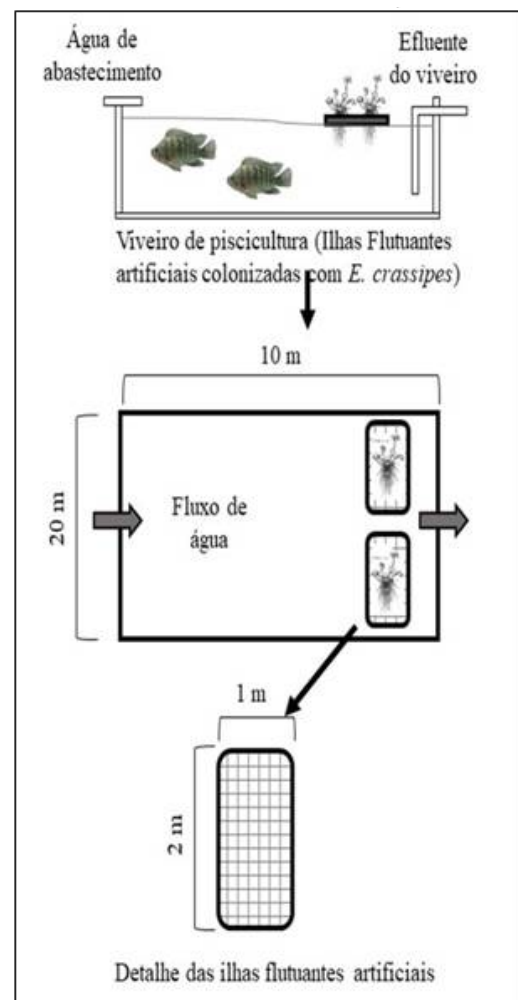
Figure 2 - Nurseries for fattening Nile tilapia. Highlighted the design of the nurseries with artificial floating islands and colonized with *Eichhornia crassipes*



Fonte: Google Earth pro – Imagem obtida em 23 de julho de 2018

As coletas de água para análise das variáveis limnológicas foram realizadas quinzenalmente por 133 dias de dezembro de 2018 a abril de 2019, em triplicatas. As amostras de água foram coletadas na água de abastecimento e no efluente dos viveiros de piscicultura entre as 9:00 e 10:00 horas.

Em campo, foram analisadas as variáveis: temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), turbidez (NTU) e pH (com auxílio da sonda de multiparâmetros da marca Horiba U-50). As amostras de água para as variáveis descritas a seguir foram analisadas no laboratório de qualidade da água do Instituto de Pesca: nitrogênio total (TN) ($\mu\text{g L}^{-1}$) e fósforo total



Fonte: OSTI et al., 2020 (adaptada)

Os valores limnológicos foram comparados utilizando valores de referência segundo a Resolução CONAMA 357/2005 e 430/2011, recomendados para o lançamento de efluente para água enquadrada na classe 2 (ambientes intermediários).

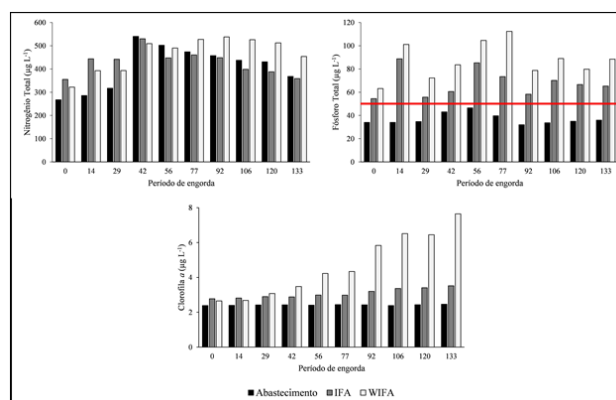
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O empreendimento estudado foi classificado como de pequeno porte com baixo potencial de severidade da espécie, de acordo com a Resolução CONAMA 413 de 26 de junho de 2009 (BRASIL, 2009). Isto porque a área da propriedade em lâmina d'água é inferior à 5 hectares e o organismo cultivado apresenta o hábito alimentar onívoro e foi produzido no sistema semi-intensivo. Cabe ressaltar que de acordo com a Portaria publicada pelo Instituto de Pesca de São Paulo em de 30 de novembro de 2018, que dispõe sobre a lista de espécies aquícolas alóctones, exóticas e híbridas cultiváveis no Estado de São Paulo, a espécie utilizada neste estudo encontra-se estabelecida junto a fauna aquática e sua produção é permitida em cultivo em sistema escavado, pesque e pague e em tanques-rede.

Os valores comparativos recomendados para o lançamento de efluente para água enquadrada na classe 2, seguiram como referência a Resolução CONAMA 357/2005 e 430/2011 (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011) e são apresentados na Tabela 1. Segundo esta Resolução, a classe 2 para criação de organismos aquáticos com tempo de residência entre 2 a 40 dias classificam esses ambientes em intermediários, ou seja, são permissíveis nas efluentes concentrações de fósforo total até o limite de 50 µg L⁻¹. Os efluentes dos viveiros com e sem os sistemas de ilhas flutuantes artificiais apresentaram para as variáveis analisadas concentrações dentro do recomendado pela legislação vigente para o lançamento de efluente, com exceção dos valores de fósforo total que apresentaram concentrações acima de 50 µg L⁻¹, ao longo de todo o período de engorda dos peixes (Figura 3).

Figura 3 – Concentrações de nitrogênio total, fósforo total e clorofila a da água de abastecimento e do efluente de viveiros de criação de tilápia-do-nilo com ilhas flutuantes artificiais (IFA) e colonizados com *Eichhornia crassipes* e sem ilhas flutuantes (SIFA)

Figure 3 - Concentrations of total nitrogen, total phosphorus and chlorophyll a in the water supply and the effluent from Nile tilapia breeding ponds with artificial floating islands (IFA) and colonized with *Eichhornia crassipes* and without floating islands (WIFA)



Tais resultados evidenciaram que a implantação das ilhas flutuantes reteve elevadas concentrações de fósforo, como apresentado por Osti et al. (2020), entretanto essa retenção não foi eficiente para adequar as concentrações de fósforo ao recomendado para o licenciamento ambiental. Cabe ressaltar que conforme pode ser visto na Figura 3 a água de abastecimento apresenta níveis acima de 30 µg L⁻¹ e tal fato, pode ter afetado ou alterado a assimilação pelas plantas pois já havia uma sobrecarga de fósforo no sistema, além do que adveio do manejo (arraçoamento e excreção dos peixes). Estes resultados não diferiram de outros estudos realizados em ambientes aquaculturais. Como mostra a Tabela 2 a comparação com diferentes organismos produzidos pela aquicultura continental, evidencia que o lançamento do efluente, notadamente para a variável fósforo, tem sido um problema para adequação ambiental destes empreendimentos.

Pereira et al. (2012) obtiveram em viveiros de engorda de tilápias concentrações médias de fósforo total no efluentes superiores a 240 µg L⁻¹. Discutiram os autores que as práticas de manejo contribuíram para a eutrofização do viveiro devido a elevada entrada de matéria orgânica advinda da alimentação. Experimentos visando redução nas concentrações de fósforo na produção de peixes foram realizados por Araújo-Silva et al. (2014) que testaram implantar

sistema de policultivo com camarões e tilápias. Os resultados evidenciaram elevadas concentrações de fósforo indicando que a prática do policultivo não proporcionou adequação do efluente à legislação. Pesquisas realizadas com criação de trutas (CARMEL et al., 2014) evidenciaram adequação a legislação vigente devido a característica da produção a qual necessita ambientes com elevada vazão (sistema raceways) ou seja, ambientes lóticos que pela Resolução CONAMA 357/2005 permite o lançamento de níveis de até 100 µg L⁻¹ de fósforo total. Com relação a prática de ranicultura as concentrações de fósforo no efluente são bastante elevadas devido ao baixo tempo de residência. Tal fato faz com que a elevada quantidade de matéria orgânica produzida pelo sistema de produção de rãs não seja diluída gerando concentrações elevadas de nutrientes no efluente (MERCANTE et al., 2014).

Cabe ressaltar que a poluição aquática notadamente das águas interiores afeta a produção de organismos aquáticos prejudicando a qualidade da água de abastecimento (afluente) como pode ser visto na Tabela 2 onde de modo geral, a água entra em condições inadequadas para o cultivo, ocasionando enriquecimento de nutrientes na entrada do sistema produtivo. Fato, que contribui para gerar efluente ainda mais comprometido dificultando a adequação à legislação.

A utilização das ilhas flutuantes artificiais (IFA) demonstrou elevado potencial no que diz respeito a tecnologias que propiciem a produção de peixes e outros animais aquáticos com lançamento de efluentes em níveis aceitáveis ambientalmente, destacando-se a característica de baixo custo e fácil operacionalização. Ainda, o estabelecimento de modelos de dimensionamento da IFA compatíveis com os diferentes sistemas de produção de organismos aquáticos, deverá proporcionar características de qualidade do efluente final de aquicultura dentro dos valores recomendáveis para reuso ou para descarte no corpo hídrico receptor.

Tabela 1. Valores médios com desvios padrão das variáveis limnológicas (n = 30) analisadas durante o ciclo de criação de tilápia-do-nylo com ilhas flutuantes artificiais (IFA) e colonizados com *Eichhornia crassipes* e sem ilhas flutuantes artificiais (SIFA) e dos valores de referência segundo a Resolução CONAMA 357/2005 e 430/2011, recomendados para o lançamento de efluente para água enquadrada na classe 2 (ambientes lóticos).

Table 1. Mean values with standard deviations of the limnological variables (n = 30) analyzed during the breeding cycle of Nile tilapia with artificial floating islands (IFA) and colonized with *Eichhornia crassipes* and without artificial floating islands (SIFA) and reference values according to CONAMA Resolution 357/2005 and 430/2011, recommended for the discharge of effluent into water classified in class 2 (lotic environments).

Variáveis	Abastecimento	IFA	SIFA	Valor de referência
Temperatura da água (°C)	26,39 ± 1,2	27,07 ± 1,0	27,48 ± 1,2	variação no corpo receptor não deve exceder a 3°C
pH	6,25 ± 0,23	5,99 ± 0,24	6,16 ± 0,18	6 – 9
Turbidez (NTU)	25,26 ± 9,7	28,57 ± 13,5	35,45 ± 12,6	≤ 100
Condutividade (µS cm ⁻¹)	51,72 ± 9,0	56,30 ± 13,3	57,50 ± 12,3	
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	6,92 ± 1,7	5,31 ± 0,7	5,77 ± 1,38	> 5
Clorofila a (µg L ⁻¹)	2,42 ± 0,2	3,08 ± 0,3	4,69 ± 1,8	≤ 30
Fósforo total (µg L ⁻¹)	36,85 ± 4,7	67,80 ± 11,8	87,3 ± 15,19	≤ 50
Nitrogênio total (µg L ⁻¹)	409,94 ± 93,7	427,2 ± 53,0	466,4 ± 73,5	<2.180
Ion amônio (mg L ⁻¹)	0,39 ± 0,09	0,40 ± 0,05	0,45 ± 0,08	3,7 mg L ⁻¹ NAT para pH ≤ 7,5

Tabela 2. Valores médios de nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e clorofila a (Cla) em diferentes setores da aquicultura de viveiros escavados.

Table 2. Average values of total nitrogen (NT), total phosphorus (PT) and chlorophyll a (Cla) in different aquaculture sectors of excavated ponds

Sistema		NT (µg L ⁻¹)	PT (µg L ⁻¹)	Cla (µg L ⁻¹)	Autor
Tilapicultura IFAs	Afluente	409,94	36,85	2,42	Presente estudo
	Efluente	427,2	67,80	3,08	
Tilapicultura SIFAs	Afluente	409,94	36,85	2,42	Presente estudo
	Efluente	466,4	87,30	4,69	
Tilapicultura	Afluente	196,65	42,20	2,87	PEREIRA et al., 2012
	Efluente	1279,81	245,48	61,23	
Policultivo Peixe x camarão	Afluente	184,81	33,88		ARAUJO-SILVA et al., 2014
	Efluente	472,97	90,59		
Truticultura	Afluente	557,93	70,23	0,18	CARMEL et al., 2014
	Efluente	634,29	99,69	0,61	
Rânicultura	Afluente	370,00	187,00	1,00	MERCANTE et al., 2014
	Efluente	2,81*	1591,00*	4,00	

* valor em mg L⁻¹.

CONCLUSÃO

Para adequar o efluente da produção de tilápias em viveiros escavados a legislação ambiental vigente, ajustes no dimensionamento das ilhas serão necessários, considerando-se que os níveis de concentrações de fósforo total não atingiram valores

iguais ou inferiores à 50 µg L⁻¹. Muito embora, as ilhas demonstraram ser uma tecnologia viável economicamente e ambientalmente devido à sua capacidade de redução de nutrientes do efluente do viveiro.

Estudos visando a implantação de sistemas de produção aquícola sustentáveis são essenciais para o desenvolvimento da atividade. Nesse contexto, estabelecer índices e coeficientes que relacionem a biomassa de peixes, biomassa de plantas, coeficientes de exportação, entre outros, poderão permitir que o sistema desenvolvido se transforme em um produto que potencialize o uso de recursos naturais, em especial, a água.

AGRADECIMENTOS

Este estudo teve o financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (Processo no. 2018/12664-4). Osti, J.A.S agradece a CAPES pela bolsa de pós-doutorado. Nós agradecemos o Dr. Sérgio Henrique Canell Schalch e a Dra. Adriana Sacioto Marcontonio da Estação Experimental em Aquicultura vinculada ao Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Agronegócio do Vale do Paraíba, pelo suporte logístico e o Luiz Cláudio dos Santos Evangelista e Vanderson Natale Dias, pelo auxílio nas análises de campo e laboratoriais.

COMITE DE ÉTICA

Todos os procedimentos utilizados durante este estudo seguiram os critérios éticos adotados para a experimentação animal "Colégio Brasileiro de Experimentação Animal" (COBEA) e foram aprovados pelo Comitê de ética de experimentação animal do Instituto de Pesca (CEEAIIP) (Protocolo No. 08/2018).

REFERÊNCIAS

AMÉRICO, J.H.P.; TORRES, N.H.; MACHADO A.A.; CARVALHO, S.L. Piscicultura em tanques-rede: impactos e consequências na qualidade da água. **Rev. Científica ANAP Brasil**, v. 6, n. 7, jul. 2013, p. 137-150.

AMIRKOLAIE, K.A., 2011. Reduction in the

environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. **Rev. Aquacult.**, vol. 3, p. 19-26. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01040.x>

APHA. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, Washington, DC.

ARAÚJO-SILVA, S.L.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; OSTI, J.A.S.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MERCANTE, C.T.J., 2014. Effluent of a polyculture system (tilapias and shrimps): assessment by mass balance of nitrogen and phosphorus. **J. Environ. Prot.**, vol. 5, 2014, p. 799-804. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2014.510081>

BIUDES, J.V. 2007. **Uso de Wetlands construídas no tratamento de efluentes de carcinicultura**. 2007. x, 103 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/100226>> Acesso em: 20 jun. 2019.

BOAVENTURA, R.; PEDRO, A.M.; COIMBRA, J.; LENCASTRE, E. Trout farm effluents: characterization and impact on the receiving streams. **Environmental Pollution**, vol. 95, n. 3, p. 379-387.

BORGES, F.F.; AMARAL, L.A.; DE STEFANI, M.V. Characterization of effluents from bullfrog (*Lithobates catesbeianus*, Shaw, 1802) grow-out ponds. **Acta Limnol. Bras.**, vol. 24, n. 2, 2012, p. 160-166. DOI:10.1590/S2179-975X2012005000035

BOUWMAN, A.F.; BEUSEN, A.H.W.; OVERBEEK, C.C.; BUREAU, D.P.; PAWLOWSKI, M.; GLIBERT, P.M. Hindcasts and future projections of global inland and coastal nitrogen and phosphorus loads due to finfish aquaculture. **Rev. Fish. Sci.**, vol. 21, n. 2, 2013, p. 112-156. DOI:10.1080/10641262.2013.790340

BOYD, C.E. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. **Aquaculture**, v. 226, 2003, p.101-112.

BOYD, C.E. et al. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. **Journal of the World Aquaculture**

Society, vol. 51, n.3, 2020, p. 578-633. DOI: 10.1111/jwas.12714

BRASIL. **Resolução CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente no. 357, de março de 2005.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. 2005.

BRASIL. **Lei nº 11.959, de 29 de julho de 2009.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 30 jun. 2009.

BRASIL. **Resolução CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente no. 430, de 13 de maio de 2011.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. Brasília, DF. 2011.

BUREAU, D.P.; GUNTHER, S.J.; CHO, CY. Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario. **North American Journal of Aquaculture**, vol. 65 n.1 2003, p. 33-38.

CAMEL, B.P.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; TABATA, Y.A., OSTI, J.A.S., ISHIKAWA, C.M., CERQUEIRA, M.A.S. and MERCANTE, C.T.J. Water quality assessment of a trout farming effluent, Bocaina, Brazil. **Journal of Water Resource and Protection**, 2014, v. 6, n. 10, p. 909-915. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2014.610086>.

CARBALLEIRA, T.; RUIZ, I.; SOTO, M. Effect of plants and surface loading rate on the treatment efficiency of shallow subsurface constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 90, p. 203-214, 2016. DOI:10.1016/j.ecoleng.2016.01.038

DAVID, F.S.; PROENÇA, D.C.; VALENTI, W.C. Phosphorus budget in integrated multitrophic aquaculture systems with Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, and Amazon River prawn, *Macrobrachium amazonicum*. **Journal of the World Aquaculture Society**. 2017B.

FAO. 2020. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020.** Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en> (Acesso em: jul. 2020).

FRASCA-SCORVO, C.M.D.; SCORVO-FILHO, J.D.; ALVES, J.M.C. Manejo alimentar e tanques rede. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 1-7, 2013.

HENARES, M.N.P.; CAMARGO, A.F.M. Treatment efficiency of effluent prawn culture by wetland with floating aquatic macrophytes arranged in series. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, p. 906-912, 2014.

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 181-188, 2008.

HUBBARD, R.K., GASCHO, G.J., & NEWTON, G.L. Use of floating vegetation to remove nutrients from swine lagoon wastewater. **Trans. ASABE**, v. 47, n. 6, p. 1963-1972, 2004.

KIVAIISI, A.K. The potencial for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. **Ecol. Eng.** v. 16, p. 545-560, 2001. DOI:10.1016/S0925-8574(00)00113-0

LIN, Y.F.; JING, S.R.; LEE, D.Y.; CHANG, Y.F.; CHEN, Y.M.; SHIH K.C. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. **Environmental Polluted**, v. 134, p. 411-421, 2005.

LYNCH, J.; FOX, L.J.; OWEN, J.S.; SAMPLE, D.J. Evaluation of commercial floating treatment wetland technologies for nutrient remediation of stormwater. **Ecol. Eng.**, v. 75, p. 61-69, 2015.

MACEDO, C.F.; SIPAÚBA-TAVARES, L.H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, n. 2 p. 149-163, 2010.

MARKER, A.F.H.; NUSCH, E.A.; RAI, H.; RIEMANN, B. The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods: conclusions and recommendations. **Arch. Hydrobiologie**, v. 14, p. 91-106, 1980.

MERCANTE, C.T.J.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MORAES, M.A.B.; PEREIRA, J.S.; LOMBARDI, J.V. Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) farming system:

- water quality and environmental changes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 1, p. 9-17, 2014.
- MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; TABATA, Y.A.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MERCANTE, C.T.J. Environmental indicators in effluent assessment of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in raceway system through phosphorus and nitrogen. **Braz. J. Biol.** 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.07315>
- OSTI, J.A.S.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; MERCANTE, C.T.J. Nitrogen and phosphorus flux from the production of Nile tilapia through the application of environmental indicators. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, p. 25-31, 2018a.
- OSTI, J.A.S.; HENARES, M.P.; CAMARGO, A.F.M. A comparison between free-floating and emergent aquatic macrophytes in constructed wetlands for the treatment of a fishpond effluent. **Aquac. Res.**, v. 49 p. 3468-3476, 2018a.
- OSTI, J.A.S.; DO CARMO, C.F.; CERQUEIRA, M.A.S.; GIAMAS, M.T.D.; PEIXOTO, A.C.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; MERCANTE, C.T.J. Nitrogen and phosphorus removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by *Eichhornia crassipes*. **Aquaculture Reports**, v. 17, 100324, 2020. DOI: 10.1016/j.aqrep.2020.100324
- PEIXE, B. **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura. 2020. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/lancamento-anuario-peixe-br-de-piscicultura-piscicultura-2020/>>. Acesso em: mai. 2020.
- SÃO PAULO. **Decreto nº 62.243 de 01 de novembro de 2016**. Diário Oficial do estado de São Paulo, São Paulo, 01 nov. 2016.
- SARTORY, D.P.; GROBBELAAR, J.U. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. **Hydrobiologia**, v. 114, p. 177-187, 1984.
- SCHULZ, C.; GELBRECHT, J.; RENNERT, B. Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. **Aquaculture**, v. 217, p. 207-221, 2003.
- PEREIRA, J.S.; MERCANTE, C.T.J.; LOMBARDI, J.V.; VAZ-DOS-SANTOS, A.M.; CARMO, C.F.D.; OSTI, J.A.S. Eutrophization process in a system used for rearing the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), São Paulo State, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, n. 9. p. 387-396, 2012. DOI: 10.1590/S2179-975X2013005000006
- SIPAUBA-TAVARES, L.H. **Uso racional da água em aquicultura**. FUNEP/UNESP, São Paulo, 2013.
- SIQUEIRA, T.V. Aquicultura: a nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, v. 17, p. 53-60, 2017.
- VALDERRAMA, J.C. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural water. *Mar. Chem.*, v. 10, p. 109-122, 1981. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4203\(81\)90027-x](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4203(81)90027-x)
- VALENTI, W.; KIMPARA, J.M.; PRETO, B.L.; MORAES-VALENTI, P. Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 402-413, 2018. DOI:10.1016/j.ecolind.2017.12.068
- WANG, X.; OLSEN, L.M.; REITAN, K.I.; OLSEN, Y. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. **Aquacult. Environ. Interact.**, v. 2, n. 3, p. 267-283, 2012. DOI:10.3354/aei00044
- YALCUK, A.; PAKDIL, N.B.; KANTÜRER, O. Investigation of the Effects of Fish Farms in Bolu (Turkey) on Aquatic Pollution. **IJAFR**, v. 3, p. 1-13, 2014.