

Avaliação de um Sistema de Leito Cultivado com Recirculação para Piscicultura



ISSN 1516 - 4675

Junho, 2017

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 71

Avaliação de um Sistema de Leite Cultivado com Recirculação para Piscicultura

*Mariana Silveira Guerra Moura e Silva
Marcos Eliseu Losekann
Denis Miguel Roston*

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: + 55 (19) 3311-2700
Fax: + 55 (19) 3311-2640
<https://www.embrapa.br/meio-ambiente/>
SAC: <https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac>

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Maria Isabel de Oliveira Penteado*
Secretária-Executiva: *Cristina Tiemi Shoyama*
Membros: *Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto, Maria Cristina Tordin, Nilce Chaves Gattaz, Victor Paulo Marques Simão, Daniel Terao (suplente), Lauro Charlet Pereira (suplente) e Marco Antônio Gomes (suplente).*
Normalização bibliográfica: *Maria de Cléofas Faggion Alencar*
Editoração eletrônica: *Silvana Cristina Teixeira*
Tratamento de ilustrações: *Silvana Cristina Teixeira*
Imagem da capa: Mariana Silveira Guerra Moura e Silva

1ª edição eletrônica (2017)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Meio Ambiente

Silva, Mariana Silveira Guerra Moura e.

Avaliação de um sistema de leite cultivado com recirculação para piscicultura / Mariana Silveira Guerra Moura e Silva, Marcos Eliseu Losekann, Denis Miguel Roston. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2017.

26 p. il. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente, 1516-4675 ; 71).

1. Piscicultura. 2. Tratamento da água. 3. Sistema de recirculação. I. Losekann, Marcos Eliseu. II. Roston, Denis Miguel. III. Título. IV. Série.

CDD 639.31

© Embrapa 2017

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	7
Introdução.....	8
Material e Métodos.....	12
Resultados e Discussão.....	15
Conclusões.....	22
Agradecimentos	23
Referências	23

Avaliação de um Sistema de Leito Cultivado com Recirculação para Piscicultura

Mariana Silveira Guerra Moura e Silva¹, Marcos Eliseu Losekann² e Denis Miguel Roston³

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de leitos cultivados de fluxo subsuperficial no tratamento do efluente de piscicultura da tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) em escala piloto, com ciclo fechado de água. Para tanto, foi construído um sistema de leitos cultivados composto por três unidades com os seguintes tipos de meio suporte: brita, argila expandida e uma mistura homogênea de ambos os substratos, denominada MIX. Estes meios suportes foram avaliados com e sem a presença da planta vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). A eficiência dos leitos foi medida por avaliações de parâmetros físico-químicos da água bruta e tratada, além do desempenho da planta vetiver no tratamento da água. Os resultados indicam que o meio suporte composto de brita com vetiver apresentou melhor eficiência como tratamento do efluente de piscicultura considerando a avaliação da qualidade da água, principalmente para os parâmetros: pH (próximo da neutralidade - 6,55), condutividade elétrica (0,49 mS/cm), e nitrogênio total (0,086 mg/L), com maior percentual de redução após o tratamento, onde a brita em associação com o vetiver apresentou redução de 85% do nitrogênio total. Tais resultados reforçam o potencial deste sistema para

¹ Bióloga, Doutora em Engenharia Agrícola, Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

² Zootecnista, Mestre em Zootecnia, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

³ Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Ambiental, Professor de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

uso por piscicultores, pois emprega materiais de custo relativamente baixo, porém com elevada eficiência na redução de parâmetros críticos para a piscicultura.

Palavras-chave: fluxo subsuperficial, *Oreochromis niloticus*, qualidade de água, sistemas de tratamento natural.

Evaluation of Subsurface Flow Wetlands to Treat Effluent from Fish Farming

Abstract

*The present study aimed to evaluate the efficiency of subsurface flow constructed wetlands to treat effluent from fish farming of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in pilot scale with closed water cycle. To this end, it set up a system of constructed wetlands consisting of three types of support media: gravel, expanded clay and a homogeneous mixture of both substrates, called MIX. These support media were tested with and without the association with the plant vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). The performance of the beds was measured by assessments of physical-chemical parameters of effluent and treated water, besides the performance of the vetiver plant in water filtration. The results indicate that the gravel bed associated with the plant vetiver performed better for the quality of the treated water for pH (closer to neutrality – 6,55), electric conductivity (0,49 mS/cm) and total nitrogen (0,086 mg/L) (highest percentage reduction after treatment). The gravel in association with vetiver showed a reduction of 85% of the total nitrogen. These results reinforce the potential of this system for use by fish farmers, since it uses materials of relatively low cost but with high efficiency in the reduction of critical parameters for fish farming.*

*Keywords: subsuperficial flux, *Oreochromis niloticus*, water quality, natural treatment systems*

Introdução

Segundo publicação do IBGE de 2016, a aquicultura brasileira produz aproximadamente 574.164 toneladas, sendo que os peixes respondem por 69,9%; camarões por 20,6% e moluscos por 2% do total de organismos aquáticos produzidos, gerando uma receita de R\$ 4,39 bilhões (IBGE, 2016). O potencial brasileiro é enorme e segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura o país pode se tornar um dos maiores produtores mundiais de pescado (BRASIL, [2010]). Além disso, a aquicultura é interessante para a preservação do meio ambiente, pois a domesticação de espécies nativas diminui a pressão sobre a pesca, preservando a biodiversidade dos rios, lagos e mar territorial do Brasil (LOPES, 2014).

Os efluentes produzidos na aquicultura geram quantidade considerável de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, resultantes, principalmente, do enriquecimento da água com nutrientes (SCHROEDER et al., 1991) e sólidos dissolvidos (NAYLOR et al., 1999), podendo degradar a qualidade da água nos cursos hídricos a jusante. A acumulação de matéria orgânica e metabólitos em reservatórios, tanques e viveiros podem afetar negativamente o crescimento e a sobrevivência dos peixes. Ainda assim, é importante destacar que o impacto ambiental dos resíduos da piscicultura é menor que efluentes convencionais. Segundo Cyrino et al. (2010), o impacto da piscicultura é quase desprezível em comparação ao impacto ambiental de efluentes domésticos e industriais. Por outro lado, a intensificação da produção de peixes, quando não controlada, pode levar ao aumento do impacto ambiental em termos de produção de dejetos e uso de água, além de afetar negativamente o desempenho dos peixes e por consequência, a produtividade e rentabilidade dos sistemas (TACON; FORSTER, 2003).

Assim, é interessante que sejam desenvolvidos sistemas de tratamento de baixo custo e de fácil operacionalização aplicáveis à aquicultura. O sistema de leitos cultivados (conhecido internacionalmente como *constructed wetlands*) é uma alternativa que vem sendo utilizada,

principalmente na América do Norte (Harington & Mcinnes, 2009), como parte do tratamento dos dejetos da produção animal. Este sistema pode ser definido como um sistema de tratamento natural do esgoto, ou seja, sem o uso de qualquer fonte de energia induzida para acelerar os processos bioquímicos, que ocorrem de forma espontânea, por meio da participação de bactérias aeróbias nos processos de nitrificação (ASSUMPÇÃO et al., 2011).

Vymazal (2009) traz uma revisão abrangente do uso de leitos cultivados de fluxo subsuperficial para vários tipos de efluentes, dentre os quais efluentes de aquicultura. O autor destaca que os leitos cultivados de fluxo horizontal foram primeiramente usados para tratamento de dejetos municipais e domésticos, porém, atualmente se destinam a uma grande variedade de efluentes, incluindo dejetos agrícolas e industriais, águas de escoamento e lixiviados de aterros sanitários.

Os leitos cultivados têm sido empregados no tratamento de efluentes de criação de peixes, camarões e espécies de peixe comerciais em várias partes do mundo (SCHWARTZ; BOYD, 1995; BROWN et al., 1999; TILLEY et al., 2002; LIN et al., 2003; ZHANG et al., 2010; YANG-ZHANG et al., 2011; BUHMANN; PAPENBROCK, 2013). Locais onde existem terrenos de baixo custo disponíveis, os leitos cultivados para aquicultura podem ser economicamente interessantes já que eles requerem apenas investimentos de capital moderado, com baixo consumo de energia e poucos gastos com manutenção (SHPIGEL et al., 2013). Exemplo de estudo com aplicação de leitos cultivados na aquicultura é o de Zhong et al. (2011), onde se utilizou leitos cultivados de fluxo vertical para o manejo de *blooms* de cianobactérias indesejáveis que provocavam *off-flavour* em uma fazenda com criação de *catfish*.

Dentre os sistemas de tratamento naturais, destacam-se os Sistemas de Aquicultura de Recirculação (SAR), os quais são reconhecidos como sistemas com mínima descarga de efluentes, promovendo reuso e conservação de água, quando comparados com a criação convencional em viveiros de peixe (D'ORBCASTEL et al., 2009). Estes sistemas são

baseados na criação em ambientes internos (galpões ou estufas), nos quais a água é reutilizada após o tratamento mecânico (por meio de barreiras físicas, tais como telas de arame ou anteparos, além de tanques de decantação) e/ou biológico (por meio de bactérias nitrificantes) numa tentativa de reduzir as necessidades com água e energia e a emissão de nutrientes para o ambiente (MARTINS et al., 2010). Isto contribui com a redução do consumo de água em função do seu reuso, e os nutrientes são transformados em formas menos poluentes, como por exemplo o nitrato, por meio das bactérias nitrificantes.

Um exemplo da utilização de SAR é o trabalho de Zachritz et al. (2008), para tratamento do efluente de criação da tilápia-vermelha (*O. mossambicus* x *O. aureus*) através de uma combinação de remoção de sólidos e emprego de biofiltros para manter a qualidade de água do sistema.

No Brasil os estudos que envolvem os leitos cultivados para tratamento de efluentes de piscicultura ainda são escassos. Destaca-se o trabalho de Pedreira et al. (2009) sobre a utilização de diferentes biofiltros e substratos no tratamento do efluente de criação do pacamã (*Lophiosilurus alexandri*), no qual os autores observaram que o uso de biofiltros externos com substrato de concha apresentaram as menores concentrações de íon amônio. A brita foi o meio suporte utilizado no início das pesquisas com leitos cultivados na Alemanha, para tratamento de águas residuárias (WOOD; McATAMNEY, 1996). Valentim (1999), usando como meio suporte a brita nº 2 (de 55 a 90 mm) e a macrófita *Eleocharis*, observou uma redução de 91 a 97% de sólidos em suspensão e redução de DQO de 70 a 97%, além da remoção de 94 a 97% de coliformes. Duarte (2011), que utilizou brita e conchas para o cultivo de pós-larvas de tilápia-do-nilo e Gentelini et al. (2008), o qual estudou a biomassa de duas espécies de macrófitas em três tempos de detenção hidráulica, observando melhor produção de biomassa com o aguapé (*Eicchornia crassipes*, Família Pontederiaceae) do que com *Egeria* (Família Hydrocharitaceae). Para sistemas de recirculação, em particular, há o trabalho de Porto (2010) que comparou sistemas com e sem recirculação, registrando um volume de água utilizado 64% menor no sistema com recirculação

em comparação com o sistema sem recirculação, além de menores concentrações de sólidos suspensos, turbidez e nitrogênio amoniacal no sistema com recirculação.

A argila expandida também é um meio suporte bastante utilizado em leitos cultivados. Metcalf & Eddy, Inc. (1991) destacam que a argila expandida minimiza o problema de colmatação do sistema e aumenta sua capacidade de tratamento, pois apresenta, tanto alta porosidade como área de superfície específica, o que permite uma melhor adesão do biofilme bacteriano. A argila expandida também tem apresentado boa permeabilidade da água e capacidade de remoção de fósforo (VILPAS et al., 2005; VAN DEUN; VAN DYCK, 2008).

A planta vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty), é uma herbácea, perene, cespitosa (em moita) que chega a atingir cerca de 2 m de altura e com raízes que podem penetrar até 6 m de profundidade. As plantas utilizadas neste estudo foram obtidas no campus do Instituto Federal do Sul de Minas (IFSULMINAS) em Inconfidentes, MG, gentilmente cedidas pelo Prof. Edu Castro. O sistema de raízes profundas é interessante para aumentar a área da superfície de contato de remoção de nutrientes do sistema, e sua mineralização. Na Índia, o vetiver vem sendo utilizado há séculos para delimitar fronteira de terrenos, pois ele permanece exatamente onde foi plantado. É também conhecida como capim-vetiver, capim-de-cheiro, grama-cheirosa, grama-das-índias, falso-pachuli (ou, simplesmente, pachuli) e raiz-de-cheiro (VELDKAMP, 1999).

O vetiver também é utilizado para controlar a erosão (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1993). Ao contrário das outras ervas, o vetiver não ganha raízes horizontais, e crescem quase exclusivamente na direção vertical, para baixo. Os grupos densos de colmo ajudam também a travar o escoamento de água superficial. Por estas razões, o vetiver é usado para criar sebes ao longo de estradas, nos limites dos arrozais. Como a planta não cria estolhos, não é uma planta invasiva e o seu cultivo torna-se controlável.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de um sistema de leitos cultivados, de fluxo subsuperficial para o tratamento de efluente de piscicultura em sistema de recirculação da água.

Material e Métodos

Um Sistema de Aquicultura de Recirculação (SAR) sem mecanismo de aquecimento da água foi construído no Laboratório de Ecossistemas Aquáticos da Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, SP, sendo composto por módulos de três compartimentos verticais. Os três andares que compunham o módulo de tratamento eram distribuídos da seguinte maneira: a) andar superior – meio suporte (composto por brita, argila expandida ou MIX, conforme o tratamento, mais a planta vetiver – *Chrisopogon zizanooides*) sendo metade das caixas com planta e a outra metade sem; b) andar médio: apenas com o meio suporte, compondo um segundo sistema filtrante; e c) andar inferior ou ao nível do piso com os peixes (tilápia-do-nilo) (Figura 1). No total, foram construídos 18 módulos e utilizadas 54 caixas de polipropileno com as seguintes dimensões: capacidade de 372 L, 0,71 m de altura, 0,71 m de largura e 1,04 m de comprimento.

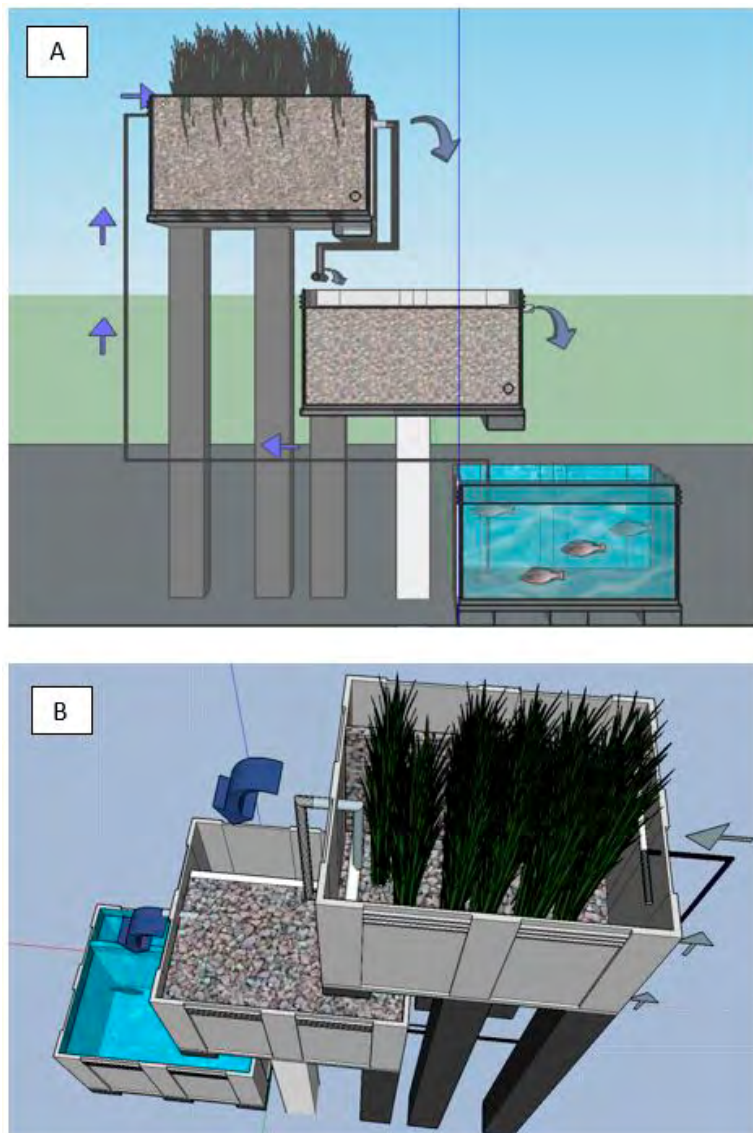


Figura 1. Desenho esquemático mostrando o módulo filtrante e o fluxo da água no sistema de recirculação. A – vista lateral; B – vista superior. Andar superior – meio suporte com planta vetiver (*C. zizanioides*); andar médio – meio suporte; andar inferior – criação de tilápia-do-nilo (*O. niloticus*). Desenho: Claudemir Aparecido Donetti.

Os meios suportes selecionados para o estudo foram: pedra britada n° 2 (diam. 19 a 25 mm) (brita), argila expandida (argila) e uma mistura homogênea de ambos (MIX). Os materiais usados como meio suporte foram colocados em sacos de *nylon*, com capacidade para 5 kg, para facilitar o manuseio de colocação e retirada do substrato nas caixas e maior exatidão na quantidade a ser colocada em cada um dos três meios suportes. Foram colocados 20 sacos de brita em cada caixa no grupo BRITA, 20 sacos de argila expandida no grupo ARGILA e 10 sacos de argila expandida e 10 sacos de brita para o grupo MIX. O ciclo de água era iniciado na caixa ao nível do piso, por meio de uma bomba submersa com capacidade de bombeamento de 3.000 L/h, a qual bombeava água dos tanques de peixes para a caixa do andar superior, que posteriormente circulava por gravidade para os demais compartimentos.

O delineamento experimental foi um fatorial 3 x 2, com três tipos de substratos e a associação ou não dos substratos com o vetiver, compondo seis grupos experimentais, com três repetições cada um, sendo BR – BRITA sem planta; BR V – BRITA com vetiver; AR – ARGILA sem planta; AR V – ARGILA com vetiver; MIX – MIX sem planta; MIX V – MIX com vetiver. A água contida nas caixas com peixes e com a bomba submersa foi denominada de “entrada” (E); e a água de “saída” (S) correspondia à água que saía da caixa do nível intermediário, ou seja, após passar pelos dois sistemas de filtragem.

Foram utilizados 300 exemplares da linhagem GIFT com peso médio inicial de $190 \pm 47,42$ g. Após aclimação os peixes foram distribuídos nas caixas, sendo 15 peixes por caixa. Os peixes foram alimentados *ad libitum* com ração comercial com 32% PB (proteína bruta) por um período de oito semanas.

As variáveis físicas e químicas monitoradas da qualidade da água foram: a) medição semanal com a sonda Horiba U10®: pH, temperatura da água (°C), oxigênio dissolvido (mg/L) e condutividade elétrica (mS/cm); b) medição quinzenal em laboratório, segundo metodologia da American

Public Health Association (2005): nitrogênio total (NT mg/L), íon amônio (NH_4^+ mg/L), nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$ mg/L) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5 mg/L). Tais variáveis foram amostradas por oito semanas, tanto na água bruta (sem tratamento na saída das caixas com peixes), como na água tratada (na saída dos leitos cultivados).

Também foi calculada em porcentagem a variação dos valores de variáveis físicas e químicas (nitrito, íon amônio, nitrogênio total e DBO) para entrada e saída da água após o tratamento. Para estas variáveis, as amostras de água (coletadas quinzenalmente) foram coletadas em frascos de vidro autoclavados e armazenadas em caixas de isopor com gelo para transporte até o Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp e ao Laboratório de Resíduos da Embrapa Meio Ambiente.

Para verificar se houve diferença significativa entre os substratos, presença da planta vetiver e a posição no sistema (a água de entrada x saída do sistema de tratamento), os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) no pacote estatístico SAS versão 8.2.

Resultados e Discussão

Ao longo das oito semanas de experimento foi registrado o comportamento de variáveis como oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água, condutividade elétrica e pH na caixa de criação de tilápias. Os valores variaram muito pouco ao longo dos dois meses de experimento, permanecendo dentro dos limites estabelecidos pela legislação para águas que podem ser destinadas à aquicultura e à atividade de pesca – Classe 2 Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) (Tabela 1). A condutividade elétrica apresentou crescimento contínuo ao longo das oito semanas de experimento em todos os tratamentos, tendo atingido a maior concentração média no tratamento MIX sem vetiver (MIX) (0,62 mS/cm). Para pH, foi observada uma queda relativamente discreta ao longo do experimento, sendo que a menor média foi registrada em argila sem vetiver (AR), de 5,59.

Tabela 1. Médias de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH da água da criação de tilápia, submetidas a diferentes biofiltros, $p < 0,05$.

Tratamento	OD mg/L	Condutividade mS/cm	pH
AR	5,48	0,52 ^{Ca}	5,59 ^{Cb}
AR V	5,25 ^B	0,49 ^{Cb}	5,67 ^{Ca}
BR	5,14 ^b	0,56 ^{Ba}	6,35 ^{Ab}
BR V	5,85 ^{Aa}	0,51 ^{Bb}	6,49 ^{Aa}
MIX	5,53	0,62 ^{Aa}	6,17 ^B
MIX V	5,34 ^{AB}	0,57 ^{Ab}	6,11 ^B

OD – Oxigênio Dissolvido; AR – ARGILA; AR V – ARGILA com vetiver; BR – BRITA; BR V – BRITA com Vetiver; MIX – BRITA com argila; MIX V – BRITA com argila e vetiver. Médias na mesma coluna seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Ao se considerar pH e condutividade, os dados indicam que a planta vetiver teve influência na melhoria da qualidade da água, mantendo concentrações mais adequadas para a manutenção de organismos aquáticos e o bem estar dos peixes criados. Por outro lado, quando foi testada a interação do substrato com a presença de vetiver, apenas o oxigênio dissolvido (OD) apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2), sugerindo que a presença da planta no meio realmente elevou as concentrações de oxigênio dissolvido na água, o que beneficia diretamente os peixes criados.

Por outro lado, a literatura descreve o comportamento oposto do oxigênio dissolvido para a presença de plantas em sistemas de tratamento. Henry-Silva e Camargo (2008) observaram a redução da concentração de oxigênio dissolvido no efluente do sistema devido a dois fatores: o sombreamento da coluna d'água que inibiria o desenvolvimento fitoplanctônico, e a decomposição da matéria orgânica aderida ao sistema radicular de *E. crassipes* e *P. stratiotes*. No entanto, a raiz do vetiver é bastante desenvolvida e possui regiões de aerênquima evidentes (ALENCAR

et al., 2005), o que pode ter contribuído para a entrada de oxigênio e a retirada de gás carbônico das partes vegetais submersas, elevando, assim, a concentração de OD nos tratamentos onde a planta estava presente.

Tabela 2. Valores de F e p ($p < 0,05$) para a interação substrato x planta.

	F	p
OD (mg/L)	2,33	0,04*
Condutividade (mS/cm)	5,37	$< 0,0001^{**}$
pH	33,79	$< 0,0001^{**}$

Ao se avaliar a condutividade elétrica, todos os tratamentos apresentaram aumento na concentração ao longo do ensaio, atingindo concentração próxima de 1,0 mS/cm para o tratamento MIX. Para a ANOVA, todas as diferenças entre tratamentos “com e sem planta” foram significativas ($p < 0,05$), sendo a condutividade sempre maior nos tratamentos sem planta (Tabela 2). Os resultados encontrados no presente estudo corroboram aqueles obtidos em Henry-Silva e Camargo (2008), onde a condutividade elétrica apresentou concentrações menores no efluente tratado pelas macrófitas aquáticas, e Marengoni et al. (2009), cujo aumento na condutividade ao longo do período de cultivo pode ser explicado pelo acúmulo de íons provenientes da mineralização dos resíduos de ração e das excretas dos peixes. As plantas aquáticas fazem não apenas a absorção direta de nutrientes do efluente, mas também por uma combinação de mecanismos físicos, biológicos e químicos, como sedimentação, absorção pelo perifíton e a transformação do nitrogênio pelas bactérias, reduzem a carga de matéria orgânica na água tratada, o que pode ser associado aos menores valores de condutividade elétrica do presente trabalho.

O pH apresentou leve tendência à acidez em todos os tratamentos, sendo o menor valor obtido ao final do experimento (4,88) para o tratamento AR. A análise de variância (ANOVA) mostrou que, com exceção do substrato MIX, houve diferença significativa ($p < 0,05$) para

o pH, e que a presença do vetiver em ARGILA e BRITA apresentou valores significativamente maiores nos meios com a planta. Isto pode ser explicado pela fotossíntese realizada pelo perifíton aderido às raízes do vetiver, pois neste processo a assimilação de CO_2 aumenta o pH do meio (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2008).

Na tabela 3 são apresentadas as concentrações médias da série nitrogenada (NO_2 , NH_4^+ e N_{total}) e da DBO medidas na entrada (E) (caixa com tilápias) e na saída (S) do sistema de recirculação após passar pelos substratos ou meio suporte. Pode-se verificar que todas as medidas para nitrito (NO_2) ficaram abaixo do limite estabelecido pela Res. CONAMA 430/11 (BRASIL, 2011), que é de 1,0 mg/L. Para este parâmetro, o menor valor foi obtido no tratamento ARGILA sem vetiver (Tabela 3), e a maior redução após o tratamento ocorreu no substrato BRITA sem vetiver (BR), de 28,57% (Figura 2).

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão de parâmetros físico-químicos analisados na Entrada (E) e na Saída (S).

Tratamento	NO_2 (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	N total (mg/L)	DBO (mg/L)
BR E	0,067 ± 0,015	0,150 ± 0,167	0,025 ± 0,068	4,933 ± 0,909
BR S	0,055 ± 0,017	ND	0,029 ± 0,032	4,200 ± 0,693
BR V E	0,101 ± 0,062	0,271 ± 0,212	0,086 ± 0,162	6,080 ± 2,309
BR V S	0,092 ± 0,06	0,114 ± 0,156	0,075 ± 0,081	4,92 ± 1,446
AR E	0,060 ± 0,021	2,925 ± 2,751	0,108 ± 0,092	4,533 ± 1,970
AR S	0,060 ± 0,021	2,835 ± 2,781	0,104 ± 0,122	4,033 ± 1,916
AR V E	0,083 ± 0,038	2,286 ± 2,864	0,205 ± 0,208	5,033 ± 1,061
AR V S	0,067 ± 0,038	2,164 ± 2,845	0,162 ± 0,220	4,533 ± 1,970
MIX E	0,070 ± 0,021	0,280 ± 0,320	0,094 ± 0,120	5,100 ± 1,667
MIX S	0,069 ± 0,023	0,599 ± 0,042	0,081 ± 0,100	4,400 ± 1,720
MIX V E	0,087 ± 0,016	1,657 ± 2,079	0,135 ± 0,174	5,480 ± 0,867
MIX V S	0,081 ± 0,024	0,766 ± 1,669	0,054 ± 0,080	4,400 ± 1,140

AR – ARGILA; AR V – ARGILA com vetiver; BR – BRITA; BR V – BRITA com vetiver; MIX – BRITA com argila; MIX V – BRITA com argila e vetiver. ND- valor não detectado.

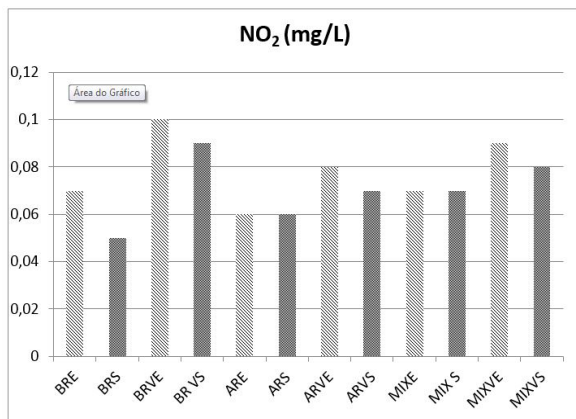


Figura 2. Teor de nitrito da água de Entrada (E) e Saída (S) com e sem a planta vetiver (V) na criação de tilápia, submetida a biofiltros com diferentes materiais.

Quanto a amônia ionizada (NH_4^+), todas as médias ficaram acima do limite de 0,02 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA 430/11 (BRASIL, 2011), principalmente no substrato argila (AR). Nos tratamentos avaliados, houve redução da amônia entre entrada e saída do sistema, e a maior redução foi observada no tratamento BRITA sem vetiver (BR), de 85%, seguido de BRITA com vetiver (BR V), de 59,26% (Figura 3).

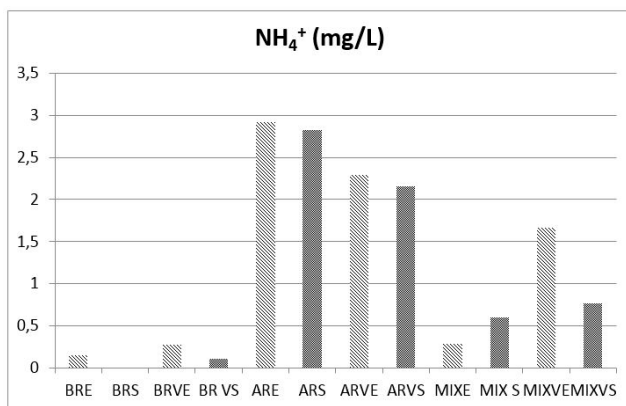


Figura 3. Teor de amônia da água de Entrada (E) e Saída (S) com e sem a planta vetiver (V) na criação de tilápia, submetida a biofiltros com diferentes materiais.

Para nitrogênio total, com exceção do tratamento BRITA com vetiver, que apresentou valor na entrada do sistema de 6,08 mg/L, todas as demais médias se encontravam dentro do limite estipulado na Resolução CONAMA 430/11 (BRASIL, 2011), de 20,0 mg/L e Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), de 3,7 mg/L. A maior redução observada para esta variável foi no tratamento MIX com vetiver (MIX V), de 61,54% (Tabela 3 e Figura 4).

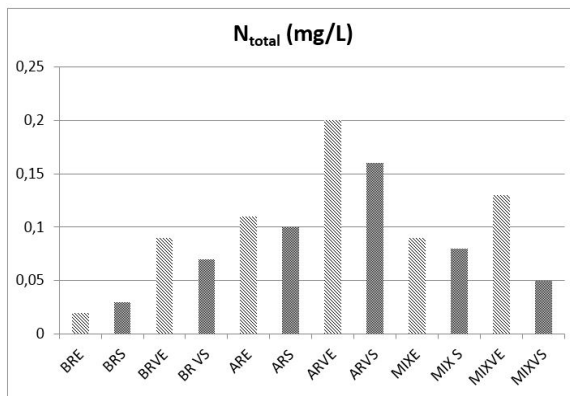


Figura 4. Teor de nitrogênio total da água de Entrada (E) e Saída (S) com e sem a planta vetiver (V) na criação de tilápia, submetida a biofiltros com diferentes materiais.

Quanto a DBO, apesar de ter sido sempre baixa, houve redução em todos os tratamentos após a passagem pelos leitos cultivados, sendo a maior redução obtida em MIX com vetiver, de 19,71%, valor muito semelhante à BRITA com vetiver, de 19,07% (Tabela 3 e Figura 5).

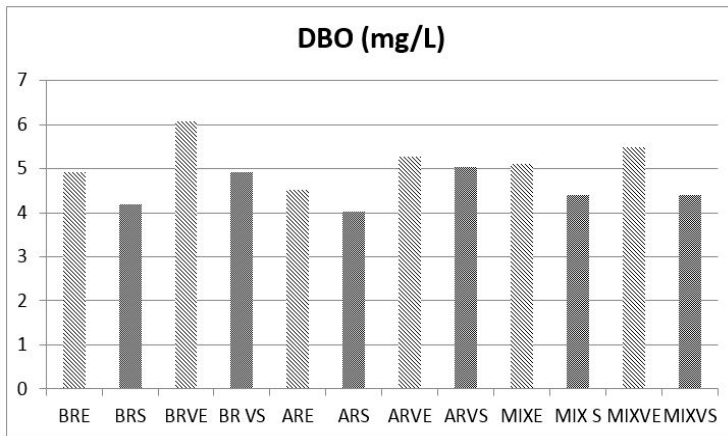


Figura 5. Demanda bioquímica de oxigênio da água de Entrada (E) e Saída (S) com e sem a planta vetiver (V) na criação de tilápia, submetida a biofiltros com diferentes materiais.

Marengoni et al. (2009) ao utilizar filtro biológico composto de conchas de ostra e brita como filtro mecânico observou melhoria na qualidade da água pós-filtro para oxigênio dissolvido. Quanto a outros parâmetros importantes, como sólidos totais, nitrato e amônia, houve uma redução da qualidade da água em período de cultivo semelhante ao do presente estudo, de 56 a 84 dias. Neste estudo, o período de criação foi de oito semanas, e alguns parâmetros como a amônia ionizada tiveram uma redução muito pequena para o filtro de BRITA, corroborando Marengoni et al (2009), onde houve melhoria da qualidade da água pós-filtro apenas até o 42º dia.

Apesar do melhor desempenho apresentado pela BRITA e da redução nos valores de parâmetros físicos e químicos importantes, o resultado da ANOVA para a interação “substrato x planta x posição” mostra que nenhum dos tratamentos diferiu significativamente (Tabela 4).

Tabela 4. ANOVA para a interação substrato (meio suporte) x planta (presença de vetiver) x posição (antes e após passagem pelo meio suporte filtrante).

	F	p
NO ₂ (mg/L)	0,35	0,97
NH ₄ ⁺ (mg/L)	1,16	0,33
N _{total} (mg/L)	0,9	0,54
DBO (mg/L)	0,88	0,57

Conclusões

Os meios filtrantes testados foram eficazes na redução de parâmetros considerados críticos para a criação de peixes, como o nitrito e a amônia. Dentre os substratos utilizados como meio suporte, a BRITA foi o que mais reduziu a concentração de nitrito e amônia, dois compostos nitrogenados importantes e limitantes do desenvolvimento de peixes, podendo ser tóxicos e levar à morte.

Vale destacar a importância da planta vetiver no sistema, a qual exerceu um importante papel no aumento da aerobiose do sistema, no tamponamento do pH, bem como no controle da condutividade elétrica.

Como este estudo foi feito em escala piloto, não é possível extrapolar os resultados obtidos diretamente para uma piscicultura. Porém, os materiais empregados no sistema de leito cultivado são fáceis de serem adquiridos e de baixo custo. Depreende-se, portanto, o potencial uso deste sistema em escala real.

Agradecimentos

À Embrapa pelo apoio ao estudo de doutoramento, ao Dr. Julio Ferraz de Queiroz pela co-orientação do doutoramento, à equipe do Laboratório de Ecossistemas Aquáticos da Embrapa Meio Ambiente pelo apoio na execução dos experimentos com peixes e à equipe do Laboratório de Saneamento da Feagri/Unicamp pelo apoio na realização das análises de água.

Referências

ALENCAR, R. G.; PRADO, C.C.; OLIVEIRA, L.M.G.; FREITAS, M.R.F.; SILVA, L.N.M.; NOGUEIRA, J.C.M.; PAULA, J.R.; BARA, M.T.F. Estudo farmacobotânico e fitoquímico da raiz de *Vetiveria zizanioides* L. Nash (Vetiver). **Revista Eletrônica de Farmácia Suplemento**, v. 2, n. 2, p. 1-4, 2005.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. New York: APHA, WWA, WPCR, 2005. Não paginado.

ASSUMPÇÃO, J. G.; UENO, M.; FORTES NETO, P.; ROSA, L. C. L. 2011. Desempenho do leito cultivado de uma estação de tratamento de efluentes gerado em uma instituição de ensino após período de inatividade. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 165-178, 2011.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil 2008 - 2009. Brasília, DF, [2010]. 99 p.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 430/2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 92, p. 89, 16 maio 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BROWN, J. J.; GLENN, E. P.; FITZSIMMONS, K. M.; SMITH, S. E. Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. **Aquaculture**, v. 175, n. 3, p. 255-268, 1999.

BUHMANN, A.; PAPENBROCK, J. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: basic principles, current uses and future perspectives. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 122-133, 2013.

CYRINO, J.E.P.; BICUDO, A.J.A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R.; DAIRIK, J. K. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 68-87. 2010.

D'ORBCASTEL, E. R.; BLANCHETON J. P.; BELAUD A. Water quality and rainbow trout performance in a danish model farm recirculating system: Comparison with a flow through system. **Aquacultural Engineering**, Essex, v.40, p.135-143. 2009.

DUARTE, E. **Cultivo de pós-larvas de tilápia-do-nilo utilizando diferentes proporções de substrato concha/brita no biofiltro**. 2011. 46 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina.

GENTELINI, A. L.; GOMES, S. D.; FEIDEN, A.; ZENATTI, D.; SAMPAIO, S. C.; COLDEBELLA, A. Produção de biomassa das macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Egeria densa* (egeria) em sistema de tratamento de efluente de piscicultura orgânica. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29. n. 2, p. 441-448. 2008.

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Tratamento de efluentes de carnicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 181-188. 2008.

IBGE. **Produção Pecuária Municipal** (economia, agropecuária, produção pecuária). Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 49 p.

LIN, Y.-F.; JING, S.-R.; LEE, D.-Y. The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. **Environmental Pollution**, v. 123, n. 1, p. 107-113, 2003.

MARENGONI, N.G.; POZZA, M.S.S.; BRAGA, G.C.; LAZZERI, D.B.; CASTILHA, L.D.; BUENO, G.W.; PASQUETTI, T.J.; POLESE, C. Caracterização microbiológica, sensorial e centesimal de fishburgers de carne de tilápia mecanicamente separada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 10, n. 1, p.168-176. 2009.

MARTINS, C. I. M.; EDING, E. P.; VERRETH, J.A.J. The effect of recirculating aquaculture systems on the concentrations of heavy metals in culture water and tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Food Chemistry**, London, v.126, p.1001-1005. 2010.

METCALF & EDDY, INC. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3. ed. New York: MCGRAW-HILL, 1991. 1334 p. Revision G. Tchobanoglous; F. L. Burton.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Board on Science and Technology for International Development. **Vetiver grass: a thin green line against erosion**. Washington, DC: National Academies Press, 1993.

NAYLOR, S.J.; MOCCIA, R.D.; DURANT, G.M. The chemical composition of settleable solid fish waste (manure) from commercial rainbow trout farms in Ontario, Canada. **North American Journal of Aquaculture**, Bethesda, v.61, p.21-26, 1999.

PEDREIRA, M.M.; LUZ, R.K.; SANTOS, J.C.E; SAMPAIO, E.V.; SILVA, R.S.F. Biofiltração da água e tipos de substrato na larvicultura do pacamã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 5, p. 511-518, 2009.

PORTO, C. C. P. Desempenho de um sistema de tratamento de efluentes de aquicultura: a recirculação como uma alternativa sustentável. 2010. 132 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHROEDER, G. L.; KALTON, A.; LAHER, M. Nutrient flow in pond aquaculture systems. In: BRUNE, E.; TOMASO, J. R. (Ed.) **Aquaculture and water quality**. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 1991. p.489-505. (Advances in World Aquaculture 3).

SCHWARTZ, M. E.; BOYD, C. E. 1995. Constructed wetlands for treatment of channel catfish pond effluents. **The progressive fish-culturist**, v. 57, n. 4, p. 255-266.

SHPIGEL M. A.; BEN-EZRA, D. A.; SHAULI, L. A.; SAGI, M. B.; VENTURA, Y. B. Constructed wetland with *Salicornia* as a biofilter for mariculture effluents. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 412-413, p. 52-63, 2013.

TACON, A.G.J.; FORSTER, I.P. Aquafeeds and the environment: policy implications. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 226, p.181-189, 2003.

TILLEY, D. R.; BADRINARAYANAN, H; ROSATI, R.; JIHO SON. Constructed wetlands as recirculation filters in large-scale shrimp aquaculture. **Aquacultural Engineering**, v. 26, n. 2, p. 81-109, 2002.

VAN DEUN, R.; VAN DYCK, M. Expanded clay and lava rock as potential filter media for nutrient removal in vertical subsurface flow constructed wetlands. In: THE SOCIETY OF WETLAND SCIENTISTS EUROPEAN CHATPER MEETING. Proceedings... Kuressaare, Saaremaa, Estonia: KHK, KHLeuven, 2008. 22 p.

VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitões cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado**. 1999. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Unicamp, Campinas.

VELDKAMP, J. F. A revision of *Chrysopogon* Trin. including *Vetiveria Bory* (Poaceae) in Thailand and Malasia with notes on some other species from Africa and Australia. **Austrobaileya**, Brisbane, v. 5, p. 503-533, 1999.

VILPAS, R.; VALVE, M.; RATY, S. **Report from the pilot plants in Finland**: technical report. Norden, Finland: Syke, MAXIT, 2005.

VYMAZAL, J. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 35, p. 1-17. 2009.

WOOD, R. B.; McARTAMNERY, C. F. Constructed wetlands for wastewater treatment: the use of laterite in the bed medium in phosphorus and heavy metal removal. **Hydrobiologia**, v. 340, p. 323-331, 1996.

YANG-ZHANG, S.; LI, G.; WU, H.B.; LIU, X.; YAO, Y.; TAO, L.; LIU, H. An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: the effects on water quality and fish production. **Aquacultural Engineering**, Amsterdam, v.45, p.93-102. 2011.

ZACHRITZ, W. H.; HANSON, A. T.; SAUCEDA, J. A.; FITZSIMMONS, K. M. Evaluation of submerged surface flow (SSF) constructed wetlands for recirculating tilapia production systems. **Aquacultural Engineering**, Amsterdam, v. 39, p. 16-23. 2008.

ZHANG, S.; ZHOU, Q.; XU, D.; HE, F.; CHENG, S.; LIANG, W.; DU, C.; WU, Z. Vertical-flow constructed wetlands applied in a recirculating aquaculture system for channel catfish culture: Effects on water quality and zooplankton. **Polish Journal of Environmental Studies**, Olsztyn, v. 19, p. 1063-1070, 2010.

ZHONG, F., GAO, Y., YU, T., ZHANG, Y., XU, D., XIAO, E., HE, F., ZHOU, Q., WU, Z. The management of undesirable cyanobacteria blooms in channel catfish ponds using a constructed wetland: Contribution to the control of off-flavor occurrences. **Water Research**, New York, v. 45, n. 19, p. 6479-6488, 2011.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**

