

CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DE SÓLIDOS DA ÁGUA EM UM SISTEMA DE CULTIVO INTEGRADO DE AQUAPONIA E BIOFLOCOS

Preliminary characterization of solids in the water of an
integrated aquaponic and biofloc system

**Guilherme Luis Lenz¹, Katt Regina Lapa²,
Marina Lapa Viana³, Maurício Gustavo Coelho Emerenciano⁴**

¹ Departamento de Aquicultura (AQI), Centro de Ciências Agrárias (CCA), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: glenz7@gmail.com

² Núcleo de Estudos em Patologia Aquícola (NEPAq), Departamento de Aquicultura (AQI), Centro de Ciências Agrárias (CCA), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

³ Asian Institute of Technology (AIT), School of Engineering and Technology, Ho Chi Minh Campus, Vietnam. E-mail: marina_lapa@hotmail.com

⁴ CSIRO, Livestock & Aquaculture Program, Bribie Island Research Centre, Woorim, Australia. E-mail: mauricio.emerenciano@csiro.au

RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar e quantificar as diferentes classes de sólidos em um sistema de aquaponia com a tecnologia de bioflocos, no inglês *biofloc technology* (BFT). Foi analisada a dinâmica dos sólidos em três pontos: efluente do tanque dos peixes, *sump* e efluente dos tanques de cultivo das plantas. Foi registrada uma média de 601 mg L⁻¹ de sólidos totais no efluente dos peixes, 618,38 mg L⁻¹ no *sump* e 546,94 mg L⁻¹ no efluente das plantas. Na terceira semana, houve uma diminuição nos teores de sólidos totais no tanque dos peixes e elevação dos teores no *sump* e no efluente das plantas. Houve um decréscimo das quantidades de sólidos dissolvidos fixos no efluente dos peixes e plantas durante o período experimental, o que pode ser explicado pela tomada de nutrientes pelos micro-organismos e pelas hortaliças, no tanque dos peixes e das plantas respectivamente. O acompanhamento da flutuação dos níveis de sólidos ao longo de um cultivo de aquaponia com BFT auxilia o entendimento do funcionamento e eficácia dos dispositivos filtrantes, além de fornecer um parecer com maior acurácia sobre as condições do meio. Mais estudos são necessários para melhor compreender a dinâmica de sólidos em um cultivo integrado de aquaponia e BFT.

Palavras-chave: matéria orgânica, *Oreochromis niloticus*, comunidade microbiana.

Recebido em: 14/05/2020

Aprovado em: 06/05/2021

Publicado online em: 20/12/2021

ABSTRACT

The present study aimed to characterize and quantify the different classes of solids in an aquaponics system with biofloc technology (BFT). The solids dynamics were analyzed at three points: effluent from the fish tank; sump and effluent from plant cultivation tanks. An average of 601 mg L⁻¹ of total solids was measured in the fish effluent, 618.38 mg L⁻¹ in the sump and 546.94 mg L⁻¹ in the plant effluent. In the third week there was a decrease in the total solids content in the effluent of fish tank and an increase in the levels in the sump and effluent of the plants. There was a decrease in the amounts of dissolved solids in the effluent of fish and plants during the experimental period, which can be explained by the intake of nutrients by microorganisms and vegetables, in the fish and plant tank, respectively. The monitoring of the fluctuation of solids levels throughout an aquaponics cultivation with BFT helps in understanding the functioning and effectiveness of the filtering devices, in addition it may give us a report with greater accuracy on the conditions of the environment. Further studies should be carried out to better understand the dynamics of solids in an integrated aquaponics and BFT culture.

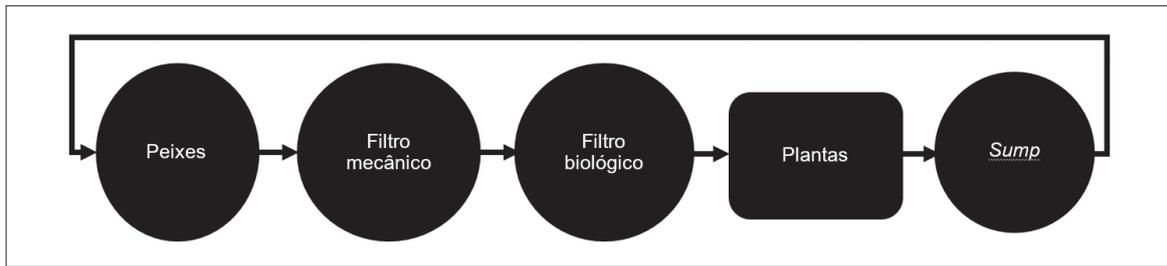
Keywords: organic matter, *Oreochromis niloticus*, microbial community.

INTRODUÇÃO

A combinação de sistemas de aquaponia com a tecnologia de produção em bioflocos, no inglês *biofloc technology* (BFT), tem sido aplicada tanto para fins de pesquisa como para procedimentos comerciais (Kotzen *et al.*, 2019). No sistema BFT, os nutrientes são continuamente reciclados e reutilizados no meio sem a renovação de água. Essa ação promove o crescimento de micro-organismos (agregados de bioflocos), benéficos para o desenvolvimento dos organismos aquáticos cultivados (Avnimelech, 2015). Nesse sentido, os bioflocos têm atuação em três principais segmentos em um tanque de criação de organismos aquáticos: (1) na manutenção da qualidade de água pela tomada de compostos nitrogenados do meio e na produção de proteína microbiana; (2) na nutrição dos organismos aquáticos com a redução da taxa de conversão alimentar e diminuição dos custos com alimentação; (3) na competição dos micro-organismos patogênicos, melhorando a sanidade do ambiente de cultivo (Emerenciano; Gaxiola & Cuzon, 2013). Em relação à criação de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em sistemas de BFT, os níveis de sólidos em suspensão entre 25 e 50 mL L⁻¹ são desejáveis para manutenção da qualidade apropriada dos bioflocos nos tanques de cultivo, essencial para o funcionamento dessa técnica de produção (Hargreaves, 2013).

A integração desses sistemas de produção tem como objetivo aumentar a produtividade, reduzir a descarga de efluentes e utilização de água e, ainda, diminuir os custos energéticos. Com isso, pretende-se aumentar a produção de alimentos de uma forma integrada, eficiente e sustentável (Pinho; Molinari & Mello, 2017). A disposição dos tanques de criação de peixes, dos filtros mecânicos e biológicos e do compartimento hidropônico de um sistema de aquaponia deve ser analisada e projetada respeitando-se os parâmetros de qualidade de água recomendados para o cultivo integrado dos organismos em questão. Nesse sentido, normalmente o percurso da água segue um padrão predeterminado (Figura 1).

Figura 1 - Percurso da água em um sistema de aquaponia (Adaptado de Rakocy et al., 2012).



Em relação à primeira etapa do sistema, a filtragem mecânica e os sólidos sedimentáveis são removidos, sendo considerada por Rakocy (2012) essencial para o funcionamento apropriado do sistema aquapônico. Os sólidos removidos em questão são compostos em sua maioria por fezes dos animais, restos de ração e micro-organismos (bactérias, fungos, algas) (Ray *et al.*, 2010). O acúmulo dessa matéria orgânica promove a depleção de oxigênio, a produção de dióxido de carbono e amônia e, adicionalmente, a produção dos gases metano e sulfídrico, considerados tóxicos aos peixes, podendo ocorrer quando houver depósitos de sólidos em condições anaeróbias (Rakocy; Masser & Losordo, 2006). Normalmente em sistemas de recirculação para aquicultura (RAS, na sigla em inglês), é utilizado nessa etapa um sedimentador (também chamado por alguns de clarificador), que deve reter a maior quantidade de sólidos sedimentáveis possíveis. Essa retenção gera um lodo, normalmente descartado, proporcionando a perda de quantidades de nutrientes (Chen; Coffin & Malone, 1997) que contabiliza em torno de 11% a 40% da quantidade de ração ofertada (Hopkins; Sandifer & Browdy, 1994).

Para cada tipo de sistema de cultivo, como BFT e RAS, almejam-se diferentes faixas de concentrações e classes de sólidos nos compartimentos. Visto isso, essa nova tecnologia que integra a produção de organismos aquáticos e plantas em um sistema de aquaponia com BFT deve ser manejada, a fim de manter níveis de sólidos adequados para cada espécie cultivada em cada compartimento do sistema de recirculação de água. Essa ação tem como intuito melhorar as condições de cultivo no que diz respeito à presença de sólidos em suspensão no tanque dos peixes, com concentrações de sólidos suspensos sugeridas de até 500 mg L⁻¹ (Emerenciano *et al.*, 2017), mas com relatos de até 1.000 mg L⁻¹ (Mohammadi *et al.*, 2021). Por outro lado, de acordo com Rakocy, Masser e Losordo (2006), as concentrações de sólidos dissolvidos totais no compartimento hidropônico em um sistema aquapônico podem variar entre 200 e 400 mg L⁻¹.

Após a filtragem, os sólidos podem ser classificados de acordo com o tamanho de partículas e retenção, onde os sólidos totais presentes na água são constituídos pela soma dos sólidos suspensos + sólidos dissolvidos (Metcalf & Eddy, 2004). Nesse sentido, nas duas classes de sólidos mencionadas podem-se distinguir ainda a parcela com um conteúdo orgânico (sólidos voláteis) e a parcela mineral/inorgânica (sólidos fixos). Assim sendo, a partir da análise de sólidos nos diferentes compartimentos, torna-se possível realizar um diagnóstico das quantidades de matéria orgânica e mineral acumuladas em cada compartimento do sistema e, ainda, por consequência, avaliar a eficiência de cada unidade (Metcalf & Eddy, 2004).

Os autores Dalsgaard e Pedersen (2011) relataram que é necessário quantificar e qualificar o efluente de uma unidade de produção para elucidar diferentes aspectos, como: (1) a escolha da estratégia de filtragem; (2) a pré-avaliação e consideração sobre os

diferentes potenciais, principalmente vantagens e desvantagens dos dispositivos de tratamento de água; (3) a otimização do *design* de sistemas e sua consequente operação; e (4) a previsão das quantidades de efluentes gerados, com quantificação/descarte. Com uma separação cuidadosa e adequada dos sólidos nas frações dissolvidas e suspensas, pode-se estimar quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e matéria orgânica (MO) contidas nas diferentes classes de sólidos. Com isso, é possível buscar configurações e projetos de sistemas que consigam realizar objetivos específicos de tratamento e manutenção da qualidade da água de cultivo.

Percebe-se que as diferentes classes de sólidos têm um papel crucial no desenvolvimento sadio de produção integrada de aquaponia com BFT. Com um detalhamento sobre as formas suspensas e dissolvidas de sólidos de acordo com suas características orgânicas e inorgânicas, nos diferentes compartimentos, pode-se visualizar de forma rápida e barata se o dimensionamento dos dispositivos de tratamentos (filtros mecânicos e biológicos) e a vazão da água estão favorecendo as concentrações de sólidos desejadas em cada local. Com esses dados, pode-se corrigir o projeto, melhorar os processos de filtragem da água com manejos simples (alterar fluxos de água e/ou intervalos de limpeza do sedimentador) e, assim, favorecer o desenvolvimento dos organismos aquáticos e plantas. Contudo, esses parâmetros ainda são pouco estudados e utilizados como fonte de dados para tomada de decisão e não são discutidos com a devida importância. Assim sendo, o objetivo deste estudo foi caracterizar e quantificar as diferentes classes de sólidos em um sistema de aquaponia com BFT na produção integrada de peixes (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Aquicultura da Universidade Estadual de Santa Catarina (LAQ/UDESC), em Laguna, SC, Brasil, e teve duração de 28 dias, que corresponde ao ciclo da alface. O dispositivo experimental, ilustrado na Figura 1, foi composto de dois sistemas de aquaponia para a produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*, peso médio inicial de 67 g) e três variedades de alface (*Lactuca sativa*): crespa, lisa e crespa roxa. Na Figura 2 está ilustrado o *design* da aquaponia. O percurso da água se deu do tanque dos peixes (1) para dois sedimentadores postos em série (2) e (3). Após, ocorreu a nitrificação no filtro biológico (4), a água seguiu para o *sump* (5), onde, por intermédio de uma bomba de recalque, a água foi distribuída para a bancada hidropônica (6), constituída por nove caixas plásticas retangulares, onde foi utilizada a técnica de balsas flutuantes para o cultivo das plantas, e, por fim, a água retornou para o tanque dos peixes. O detalhamento do funcionamento dos dispositivos experimentais está disponível em Lenz *et al.* (2017).

Para a análise de sólidos foram coletadas duas amostras por semana com uma réplica em cada coleta com auxílio de uma garrafa do tipo PET (600 mL) de três pontos previamente definidos (Figura 3): (1) efluente do tanque dos peixes – a água coletada era a que passava diretamente abaixo da tubulação de saída de água dos tanques de criação de peixes; (2) *sump* – os coletores de água foram submergidos na profundidade de aproximadamente 10 cm de coluna d'água; (3) efluente dos tanques de cultivo das plantas – foram coletadas amostras da água no final da tubulação de retorno do tanque das plantas, antes de adentrar ao tanque dos peixes. Após cada coleta, as amostras foram levadas ao freezer do laboratório

(LAQ), no qual foram armazenadas de acordo com os métodos propostos por Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (22 ed.) (Bridgewater, 2012).

Figura 2 - *Design* do sistema aquapônico: (1): tanque dos peixes (500 L); (2) sedimentador 1 (100 L); (3) sedimentador 2 (10 L); (4) Filtro biológico (60 L); (5) *sump* (150 L); (6) compartimento hidropônico (150 L cada caixa plástica).

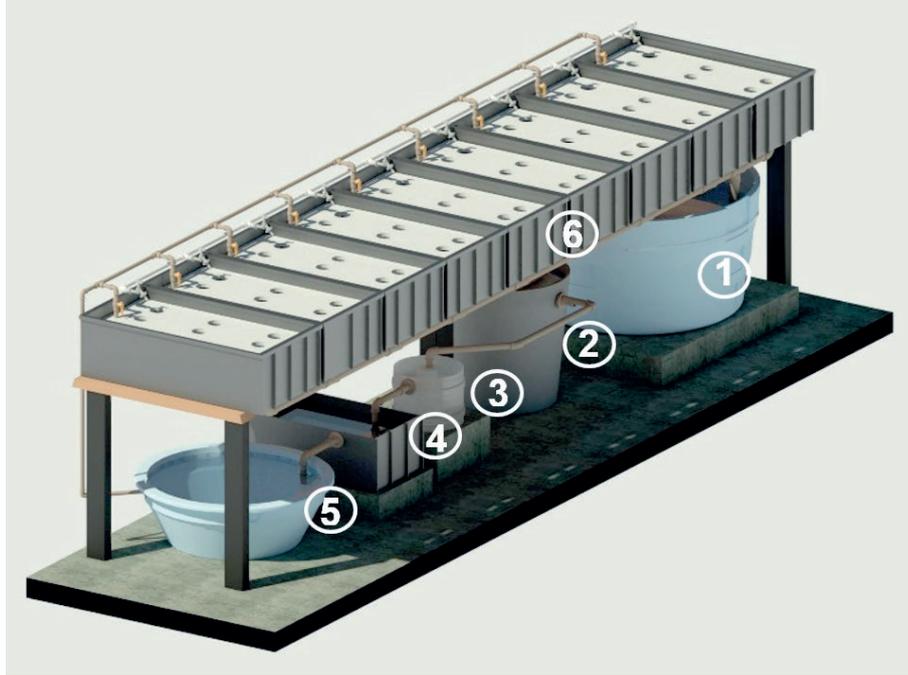
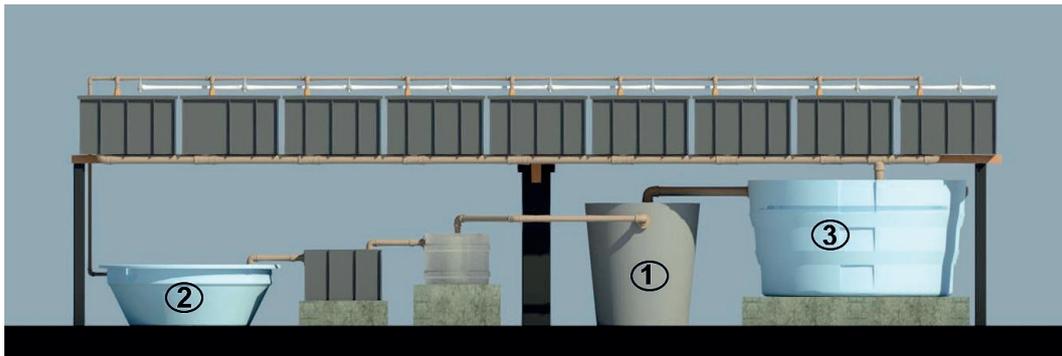


Figura 3 - Vista lateral do sistema de aquaponia com números indicando os locais de coleta de água para realização dos ensaios de sólidos. (1) Efluente do tanque de criação de peixes; (2) Sump; (3) Efluente dos tanques de cultivo de plantas



Foram coletadas duas amostras de água por semana do tanque dos peixes durante as quatro semanas de experimentação para mensurar a concentração dos seguintes nutrientes dissolvidos na água: amônia (NH_4), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3) e ortofosfato (PO_3) (fotocolorímetro AT 101 Alfakit, Florianópolis, SC, Brasil).

Os métodos analíticos adotados consistiram em monitoramento da temperatura, do volume de sólidos que possuem características de sedimentação (chamados somente de sólidos sedimentáveis (mL L^{-1}) - método 2540F), da série de sólidos com classificação de acordo com o seu tamanho e tipo, como sólidos totais, conforme descrito a seguir: sólidos

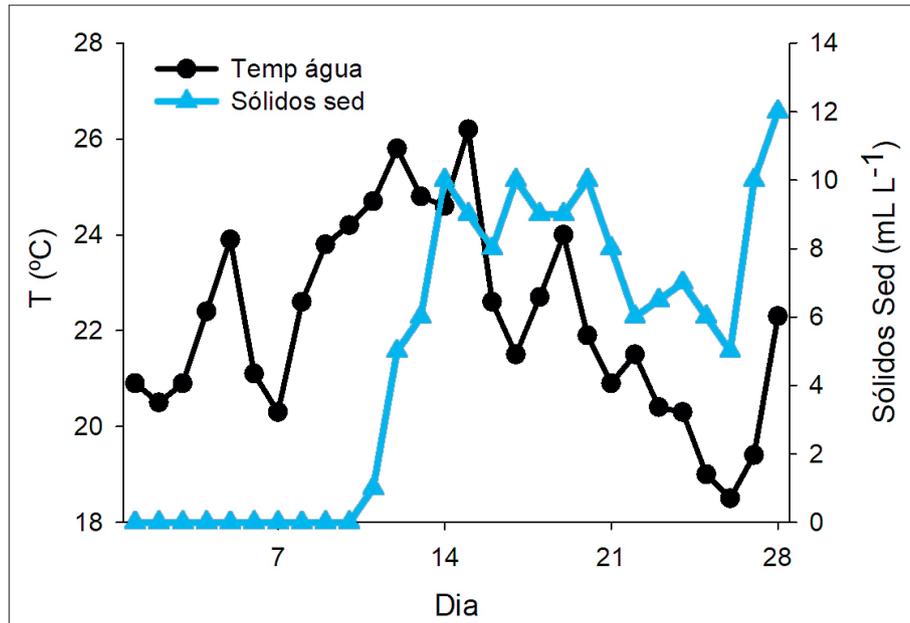
totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STVo); sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV); sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos dissolvidos fixos (SDF) e sólidos dissolvidos voláteis (SDV). Todas as concentrações da série de sólidos foram analisadas de acordo com a metodologia proposta pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (22 ed.) (Bridgewater, 2012).

Utilizou-se um método de análise descritiva dos dados (média ± desvio padrão) para todas as amostras. As análises de qualidade de água e sólidos foram todas realizadas em triplicata. Na biometria dos peixes foram utilizados todos os animais sobreviventes do plantel (46 indivíduos) para analisar o desempenho zootécnico. Para avaliar o desempenho filotécnico das plantas foram mensuradas todas as plantas de cada variedade (27 plantas).

RESULTADOS

Os resultados ilustrados na Figura 4 permitem avaliar a temperatura e a concentração de sólidos sedimentáveis durante os 28 dias de experimentação (ciclo de desenvolvimento da alface) no ponto 1 (tanque dos peixes). Sendo assim, é possível observar que as concentrações de sólidos sedimentáveis medidas no tanque dos peixes se mantiveram em 0,00 mL L⁻¹ durante a primeira semana de operação do sistema, com um aumento gradativo dos sólidos após esse período, sendo que a média obtida foi de 4,91 mL L⁻¹ (mínimo e máximo de 0,00 mL L⁻¹ e 10,0 mL L⁻¹ respectivamente). Durante o período, foram constatados valores médios de temperatura da água de 22 °C, com mínima de 18,5 °C e máxima de 26,2 °C.

Figura 4 - Temperatura da água e sólidos sedimentáveis mensurados no tanque de criação de peixes durante os 28 dias de experimentação



Na tabela I estão descritos os parâmetros de desempenho fitotécnico (média ± desvio padrão) da produção das diferentes variedades de alface durante os 28 dias de cultivo. Todas as hortaliças cultivadas foram submetidas a biometria ao final do experimento.

Tabela 1 - Médias \pm desvio padrão de parâmetros fitotécnicos de três variedades de alface (*Lactuca sativa*) cultivadas durante 28 dias em um sistema de aquaponia. CF: Comprimento da folha; CR: Comprimento da raiz; PUF: Peso úmido das folhas; PUR: Peso úmido da raiz; TCE: Taxa de crescimento específico; PSF: Peso seco das folhas; PSR: Peso seco da raiz; MSF: Matéria seca folha; MSR: Matéria seca da raiz; PRO: Produtividade; NFO: Numero de folhas.

Variedade	Número de amostras	CF (cm)	CR (cm)	PUF (g)	PUR (g)	TCE (% dia ⁻¹)	NFO
Roxa	27	20,89 \pm 1,03	44,51 \pm 1,68	60,29 \pm 6,93	9,35 \pm 1,84	15,33 \pm 0,42	20,59 \pm 0,53
Lisa	27	19,39 \pm 1,97	31,54 \pm 2,71	56,73 \pm 10,77	7,85 \pm 1,12	12,56 \pm 0,67	19,91 \pm 1,35
Crespa	27	23,59 \pm 1,68	50,20 \pm 1,59	64,54 \pm 10,29	13,59 \pm 3,41	16,02 \pm 0,55	18,69 \pm 1,46
Variedade		PSF (g)	PSR (g)	MSF (%)	MSR (%)	PRO (kg m ⁻²)	
Roxa	27	2,81 \pm 0,46	0,41 \pm 0,09	4,63 \pm 0,24	4,42 \pm 0,13	1,21 \pm 0,14	
Lisa	27	2,17 \pm 0,61	0,59 \pm 0,12	3,86 \pm 0,30	5,95 \pm 0,85	1,13 \pm 0,26	
Crespa	27	2,20 \pm 0,49	0,48 \pm 0,15	3,74 \pm 0,14	6,01 \pm 1,08	1,29 \pm 0,22	

Na Tabela II estão descritos os valores dos parâmetros zootécnicos (média \pm desvio padrão) avaliados com biometria realizada nos animais na estocagem e posteriormente na despesca (final do período experimental de 28 dias). Com a mensuração do peso final de todos os animais no momento da despesca foi registrada uma densidade de cultivo de 8,65 kg m⁻³ com uma sobrevivência de 97,98%.

Tabela II - Parâmetros zootécnicos (média \pm desvio padrão) de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em sistemas de aquaponia em (BFT). CT: Comprimento Total; CP: Comprimento Padrão; GP: Ganho de Peso; CA: Conversão Alimentar; TCE: Taxa de Crescimento Específico; FC: Fator de Condição; IHS: Índice hepatossomático; RC: Rendimento de carcaça.

Peso inicial (g)	Número de amostras	Peso Final (g)	CT (cm)	CP (cm)	GP (g)	CA	TCE (%/dia)	FC	IHS (%)	RC (%)
66,07 \pm 12,08	46	94,76 \pm 21,01	16,62 \pm 1,22	13,95 \pm 1,05	28,69 \pm 11,50	2,18 \pm 0,95	1,15 \pm 0,27	17,84 \pm 2,81	3,07 \pm 0,59	88,50 \pm 2,04

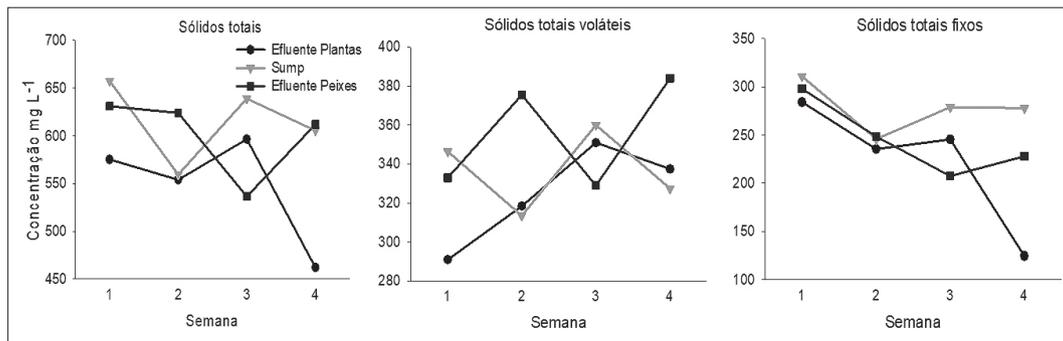
Na tabela III estão descritos os valores de concentração (mg L⁻¹), média e desvio padrão de sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos mensurados nos três compartimentos: efluente dos peixes, *sump* e efluente das plantas.

Tabela III - Concentração de sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos no efluente dos peixes, *sump* e efluente das plantas, em cada coleta realizada, seguido de suas médias e desvio padrão de todo o ciclo experimental.

Compartimentos	Sólidos totais (mg L ⁻¹)			Sólidos totais voláteis (mg L ⁻¹)			Sólidos totais fixos (mg L ⁻¹)		
	Peixes	<i>Sump</i>	Plantas	Peixes	<i>Sump</i>	Plantas	Peixes	<i>Sump</i>	Plantas
Coleta 1	631,00	657,50	575,25	333,00	346,50	291,00	298,00	311,00	284,25
Coleta 2	624,00	559,50	554,00	375,50	313,50	318,50	248,50	246,00	235,50
Coleta 3	536,50	639,00	596,50	329,00	360,00	351,00	207,50	279,00	245,50
Coleta 4	612,00	605,50	462,00	384,00	327,50	337,50	228,00	278,00	124,50
Média	600,88	615,38	546,94	355,38	336,88	324,50	245,50	278,50	222,44
Desvio padrão	43,63	43,02	59,22	28,41	20,51	26,01	38,80	26,54	68,59

Na Figura 5 pode ser observada a variação das concentrações de sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos durante o período de experimentação. No efluente do tanque dos peixes houve uma diminuição dos sólidos totais na terceira semana, atingindo o valor mínimo de 536,50 mg L⁻¹. No mesmo momento, ocorreu a elevação de sólidos totais no *sump* até 639,00 mg L⁻¹ e, conseqüentemente, um aumento dos níveis no efluente das plantas, atingindo o máximo de 596,00 mg L⁻¹. Contudo, na última semana houve diminuição nos níveis de sólidos totais no *sump* para 605,00 mg L⁻¹, bem como diminuição considerável no efluente das plantas para 462 mg L⁻¹ e um aumento no efluente dos peixes para 612,00 mg L⁻¹.

Figura 5 - Sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos mensurados nos três pontos de coleta de água durante as quatro semanas de experimentação



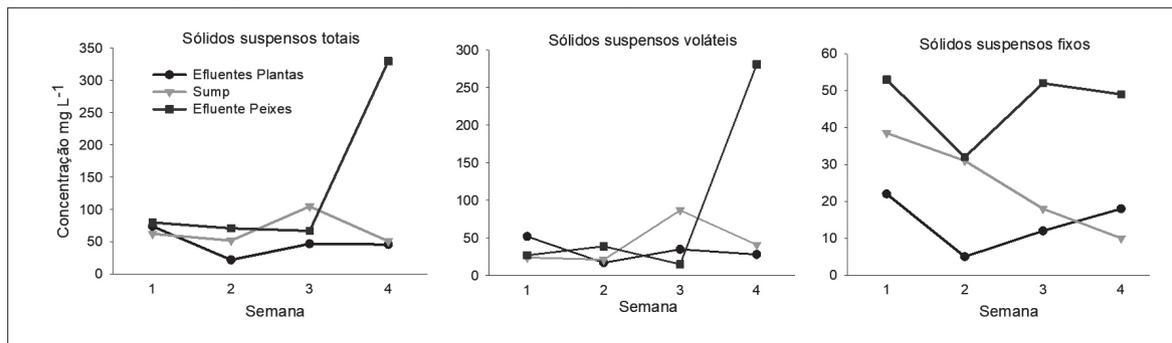
Em relação aos sólidos totais voláteis, na primeira semana houve o aumento da concentração de sólidos no efluente dos peixes (de 333,00 para 375,50 mg L⁻¹) e foi possível observar a respectiva diminuição desses sólidos no *sump* (de 346,50 para 313,50 mg L⁻¹). Ainda na segunda semana, quando ocorreu a diminuição dos sólidos no efluente dos peixes (de 375,50 para 329,00 mg L⁻¹), houve um aumento dos sólidos no *sump* (de 313,50 para 360,00 mg L⁻¹). Em relação aos sólidos voláteis no efluente das plantas, foi possível constatar o crescimento das concentrações ao longo das três primeiras semanas (de 291,00 para 351,00 mg L⁻¹), com um pequeno decréscimo na última semana, chegando a valores de 337,50 mg L⁻¹. No que se refere aos sólidos fixos, foi possível observar a diminuição das concentrações em todos os compartimentos entre o período da primeira até a última semana, com diminuição de 298,00 até 228,00 mg L⁻¹ no efluente dos peixes, 311,00 para 278,00 mg L⁻¹ no *sump* e com redução mais significativa no compartimento hidropônico de 284,25 para 124,50 mg L⁻¹.

Nos valores das concentrações de sólidos totais estão contidas duas classes de sólidos: os sólidos suspensos totais e os sólidos dissolvidos totais. Em cada classe é possível distinguir os sólidos entre quantidades voláteis (associados a matéria orgânica) e fixas (associados a material inerte/inorgânico ou mineral). Analisando a concentração de sólidos suspensos totais nos diferentes compartimentos ao longo do tempo (Figura 6), nota-se que em todos os compartimentos as concentrações mantiveram-se constantes durante as quatro semanas de cultivo. Ainda, as concentrações apresentaram poucas oscilações, exceto da terceira para a última semana no efluente dos peixes, no qual ocorreu aumento significativo na concentração de sólidos suspensos totais de 67 mg L⁻¹ para 330 mg L⁻¹.

Adicionalmente, analisando a Figura 6 sobre os sólidos suspensos voláteis, foi possível observar a mesma tendência ocorrida nos sólidos suspensos totais, com o aumento

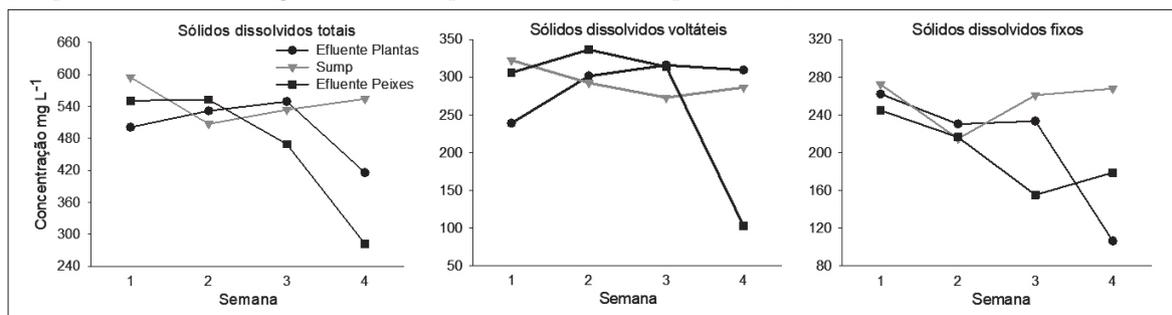
significativo das concentrações deste no efluente do tanque dos peixes da terceira para quarta semana de cultivo. No que se refere aos sólidos suspensos fixos, foi possível observar a diminuição das concentrações presentes no *sump* ao longo do tempo do experimento. Foram observadas maiores concentrações de sólidos suspensos fixos no efluente de peixes com máxima e mínima de 53,00 e 32,00 mg L⁻¹ respectivamente. No *sump* houve uma queda nas concentrações da primeira para a última semana de 38,50 para 10,00 mg L⁻¹. Já as menores concentrações de sólidos suspensos fixos foram registradas no compartimento hidropônico, com uma diminuição da primeira para segunda semana de 22,00 para 5,00 mg L⁻¹ e um posterior incremento na concentração de sólidos até a última semana para 18,00 mg L⁻¹.

Figura 6 - Sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis e sólidos suspensos fixos monitorados nos três pontos de coleta de água durante as quatro semanas de experimentação.



De acordo com a Figura 7, percebe-se a diminuição das concentrações de sólidos dissolvidos totais de 551 para 282 mg L⁻¹ e de 501,50 para 416 mg L⁻¹ no efluente dos peixes e plantas respectivamente. Por outro lado, não houve maiores variações nas concentrações de sólidos dissolvidos totais no *sump*, com média de 547,75 mg L⁻¹ durante o período experimental. Vale ressaltar uma diminuição considerável das concentrações de sólidos dissolvidos fixos no efluente das plantas, de 262,25 para 106,50 mg L⁻¹ da primeira até a quarta semana de experimentação respectivamente.

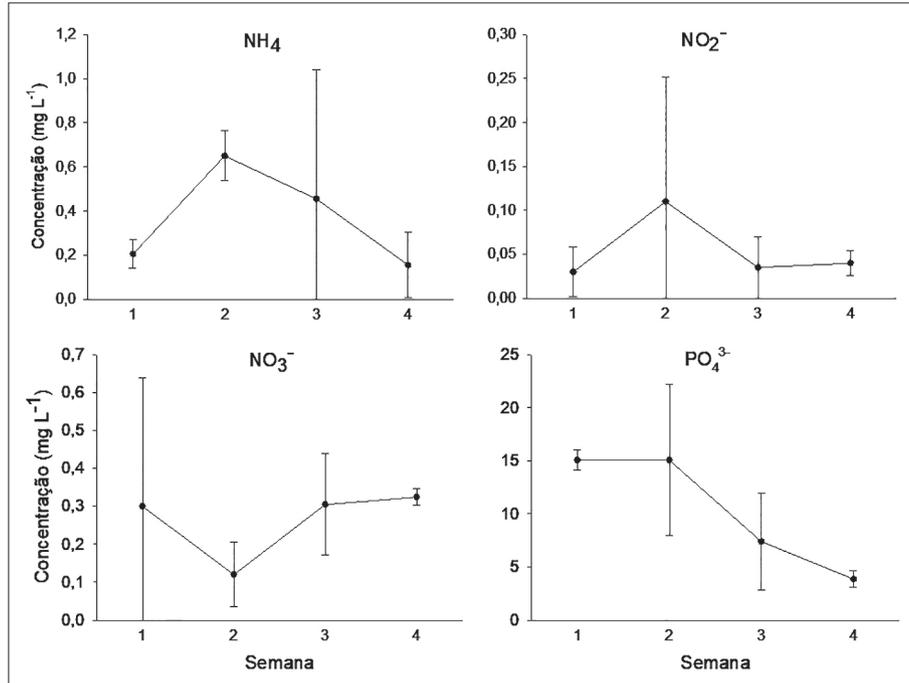
Figura 7 - Sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos voláteis e sólidos dissolvidos fixos mensurados nos três pontos de coleta de água durante as quatro semanas de experimentação.



Na Figura 8 estão demonstradas as médias com desvio padrão das concentrações dos nutrientes mensurados no tanque de criação de peixes durante as quatro semanas de experimentação, sendo: amônia (NH₄), nitrito (NO₂), nitrato (NO₃) e ortofosfato (PO₄). As concentrações médias dos compostos nitrogenados dissolvidos na água ficaram todas abaixo de 1,00 mg/L durante o período experimental. Em relação aos valores encontrados de or-

tofosfato dissolvido na água, um decréscimo na terceira e na quarta semana de cultivo ocorreu, com o maior valor registrado ($20,10 \text{ mg L}^{-1}$) na segunda semana de cultivo.

Figura 8 - Monitoramento das concentrações de amônia (NH_4), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3) e ortofosfato (PO_4) com amostras obtidas no tanque de criação de peixes durante as quatro semanas de experimentação.



DISCUSSÃO

Temperatura e sólidos sedimentáveis

Para uma manutenção apropriada dos bioflocos (micro-organismos presentes no meio da cultura) no cultivo de organismos aquáticos em BFT é necessário manter concentrações de sólidos nos tanques de criação entre 25 e 50 mL L^{-1} (Hargreaves, 2013). Em revisão mais recente, Emerenciano *et al.* (2017) citam valores de 5 a 20 mL L^{-1} para alevinos e de 20 a 50 mL L^{-1} para juvenis e adultos. Segundo esses autores, o excesso de sólidos sedimentáveis pode causar danos às brânquias e dificultar as trocas gasosas e a excreção de amônia. Nesse sentido, os valores encontrados no presente estudo após a segunda semana (variando de 5 a 12 mL L^{-1} ; Figura 4) seriam mais indicados para as fases iniciais da criação de tilápias.

Em relação à temperatura da água, o valor médio de $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ficou abaixo do recomendado para o crescimento da espécie, cujo valor fica em torno de $24 \text{ }^\circ\text{C}$ a $28 \text{ }^\circ\text{C}$ (Timmons & Ebeling, 2010). Entretanto, ficou dentro dos padrões recomendados para o cultivo de hortaliças no sistema de balsas flutuantes (Rakocy; Masser & Losordo, 2006). Como a temperatura ficou abaixo do recomendado para a criação de tilápia, teve-se um menor aproveitamento do alimento inserido ao sistema e, conseqüentemente, uma conversão alimentar de $2,18 \pm 0,96$ (Tabela II), acima de CA de outros cultivos aquapônicos, como o de Al-Hafedh *et al.* (2008), com uma CA de $1,30$, contudo o ciclo de cultivo dos colaboradores mais extenso. Mesmo com temperaturas e concentrações de sólidos não sendo o ideal para

a criação da espécie, ainda assim a CA não teve resultados tão diferentes de outros cultivos de tilápia em bioflocos como o de Hargreaves (2006) e Rakocy (2002), com CA de 1,83 e 1,90 respectivamente.

Sólidos totais: sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis

Os sólidos voláteis compreendem a matéria orgânica presente na água. Um manejo correto desses sólidos é um dos fatores que permite o sucesso de um sistema de recirculação aquícola (Chen; Stechey & Malone, 1994). As diferenças de sólidos voláteis presentes no efluente dos peixes podem estar relacionadas à temperatura da água (Figura 4), onde foram constatados os maiores níveis no momento em que a temperatura estava mais elevada em função da temperatura do ar mais alta. Nesse momento, os peixes provavelmente tiveram um melhor aproveitamento da ração, aumentando os níveis da matéria orgânica presente na água e possivelmente as quantidades de sólidos voláteis nesse compartimento. Já o acúmulo de sólidos voláteis observados no efluente das plantas pode ser em razão de que as plantas não conseguem absorver compostos orgânicos, somente elementos minerais dissolvidos na água, sem a capacidade, portanto, de diminuir a quantidade de sólidos voláteis nesse compartimento. Adicionalmente, o próprio compartimento pode estar atuando como barreira física e assim acumulando esta fração. Isso nos mostra uma possível falha de retenção de sólidos suspensos voláteis (matéria orgânica suspensa na água) pelos dispositivos de tratamento prévios.

Em relação aos sólidos fixos totais, estão compreendidos os minerais dispersos na água. Segundo Rakocy, Masser e Losordo (2016), essa classe de sólidos inclui os nutrientes oxidados, oriundos das fezes dos peixes e oxidação bacteriana, que estão dissolvidos na água e possibilitam a absorção pelas plantas, o que diminui, portanto, a necessidade de descarte de água (as plantas acumulam os elementos minerais em seus tecidos foliares, removendo nutrientes da água e transformando em biomassa), deixando a água adequada para o desenvolvimento dos animais. O decréscimo dos sólidos totais fixos no efluente do tanque dos peixes pode ter ocorrido em função da absorção de nutrientes pelos micro-organismos constituintes dos bioflocos, conforme ficou melhor explicado ao observar os valores de sólidos dissolvidos fixos na Figura 7. Alguns minerais, tais como carbonatos e bicarbonatos, são exaustivamente absorvidos pela comunidade microbiana quimioautotrófica e heterotrófica presente no BFT (Emerenciano *et al.*, 2017).

Sólidos suspensos totais: sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis

Um aumento elevado nos níveis de sólidos suspensos totais no efluente do tanque dos peixes na terceira semana pode estar atrelado ao manejo realizado pelo *airlift* e à reposição dos sólidos presentes nos sedimentadores, devolvendo ao tanque de engorda, manejo adotado no experimento para aumentar os níveis de sólidos no tanque dos peixes, desejável em sistemas BFT (Lenz *et al.*, 2017). Na Figura 6 é evidenciada uma elevação dos níveis dos sólidos suspensos voláteis no mesmo momento do aumento dos sólidos suspensos totais. Assim sendo, pode-se afirmar que o aumento na quantidade de sólidos suspensos totais no efluente dos peixes na última semana foi devido a um aumento dos sólidos suspensos voláteis nesse compartimento. Nos sólidos suspensos voláteis estão contidos os micro-organismos, carbono orgânico (fonte de alimento para os mesmos) e nutrientes, constituintes do biofloco (Avnimelech, 2015). Em suma, pode-se avaliar que

houve um incremento na quantidade de bioflocos no tanque de criação de peixes durante o período experimental (Figura 3). Para a produção de tilápia em RAS, sem a integração com bioflocos, é recomendado que as concentrações de sólidos suspensos fiquem abaixo de 20 mg L^{-1} (Timmons & Ebeling, 2010). Contudo, no presente experimento foram obtidas concentrações mais elevadas durante todo o período experimental com média de $137 \pm 128,78 \text{ mg L}^{-1}$. Esses valores estão situados dentro dos níveis recomendados e observados em sistemas de produção de BFT para espécies tropicais, como é o caso da tilápia. Em uma revisão proposta por Emerenciano *et al.* (2017), concentrações abaixo de 500 mg L^{-1} são tidas como normais para o sistema BFT. Em trabalhos mais recentes com tilápias em BFT, Mohammadi, Adorian e Rafiee (2020) citam valores médios de sólidos suspensos de $\sim 300 \text{ mg L}^{-1}$, com variações de 45 a 690 mg L^{-1} em 50 dias de cultivo. Em um período mais longo de cultivo de 112 dias, Mohammadi *et al.* (2021) observaram valores médios de $\sim 1.000 \text{ mg L}^{-1}$. Comparando esses valores com os valores obtidos no presente estudo, observa-se que o acoplamento dos sistemas de filtração e compartimento hidropônico interferiram drasticamente na concentração de sólidos suspensos do sistema.

Os sólidos suspensos fixos podem figurar como, por exemplo, restos de ração presentes no sistema. Sua presença em um sistema aquapônico é desejável até certas concentrações (Nelson & Pade, 2007). Percebe-se, a partir da análise da Figura 6, que foram constatados maiores níveis desses sólidos no efluente dos peixes, seguido do *sump* e, por último, no efluente das plantas. Essa redução pode demonstrar a eficácia no tratamento do RAS, contendo maiores concentrações desses sólidos no efluente do tanque dos peixes durante todo o experimento, com uma diminuição destes até o *sump*, o que é positivo para RAS. Valores ainda inferiores no efluente das plantas podem ser explicados pelo fato de haver oxigenação constante no compartimento hidropônico (balsas flutuantes), o que pode ter auxiliado também na fragmentação desses sólidos. Além disso, as raízes das plantas podem servir de substrato para fixação desses sólidos, o que também pode ter ocorrido neste experimento. Um aumento nas quantidades após a segunda semana pode estar relacionado à limpeza efetuada no compartimento, quando foi realizada a sifonagem do fundo dos tanques (Lenz *et al.*, 2017), sendo que no revolvimento do fundo pode ter ocorrido a suspensão de sólidos sedimentados no compartimento, aumentando os níveis no efluente das plantas.

Se retirada grande parte dos sólidos suspensos de um sistema de aquaponia, as possibilidades de mineralização de nutrientes diminuem, sendo necessária a suplementação mineral. Essa ação gera um aumento nos custos operacionais e na complexidade do sistema e, ainda, bactérias ali presentes competem com micro-organismos patogênicos, diminuindo a possibilidade de doenças nas plantas (Rakocy; Masser & Losordo, 2006). Contudo, sólidos em excesso no biofiltro prejudicam a eficiência do processo de nitrificação pelas bactérias (Eding *et al.*, 2006), bem como quantidades demasiadas de sólidos suspensos no compartimento hidropônico podem colmatar as raízes das plantas, diminuindo a capacidade de absorção de nutrientes e podendo levar até mesmo à morte (Rakocy; Masser & Losordo, 2006).

Sólidos dissolvidos totais: sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis

Nos sistemas de aquaponia, os sólidos dissolvidos são considerados desejáveis, visto que é na parcela desses sólidos que estão contidos os minerais que favorecem o desenvolvimento das plantas. São desejados principalmente os sólidos dissolvidos fixos, que não apresentam material orgânico, sendo estes passíveis de serem absorvidos pelas plantas.

O requerimento de sólidos dissolvidos totais para plantas em sistemas aquapônicos é menor que o requerimento de sistemas hidropônicos com variação de 200 a 400 mg L⁻¹, visto que o aporte e a ciclagem de nutrientes em sistemas de aquaponia ocorrem diariamente (Rakocy; Masser & Losordo, 2006).

Níveis de sólidos dissolvidos no *sump* podem demonstrar que o funcionamento do processo de filtragem esteve constante durante o período experimental, possivelmente com taxas de nitrificação e remoção de sólidos sem altas variações, como ficou demonstrado na Figura 7. Um decréscimo dos sólidos dissolvidos no efluente dos peixes a partir da segunda semana de cultivo pode estar atrelado ao comportamento dos sólidos em um sistema BFT, no qual os sólidos dissolvidos podem ter-se acoplado aos sólidos em suspensão e servir de alimento como fonte proteica a partir de compostos nitrogenados NH₃ e NO₂ para os micro-organismos (Emerenciano; Gaxiola & Cuzon, 2013). Assim, corrobora-se o crescimento dos bioflocos no tanque dos peixes a partir da segunda semana, evidenciado pelo aumento dos sólidos sedimentáveis (Figura 3). Em relação à concentração de sólidos dissolvidos no efluente das plantas, ocorreu um decréscimo ao longo do tempo, o que demonstra a absorção de nutrientes presentes na água pelas plantas, transformando em biomassa vegetal, como ficou evidenciado no trabalho anterior publicado por Lenz *et al.* (2017).

Entre os sólidos dissolvidos estão contidos os íons passíveis de serem absorvidos pelas plantas. Através da concentração de nutrientes dissolvidos na água do sistema de aquaponia com BFT (Figura 5) é possível verificar que nutrientes como nitrito e nitrato estiveram com concentrações muito próximas a 0,00 durante todo o período experimental, enquanto foi observado uma redução na concentração de fosfato na água. Em um estudo comparando a produção de tilápia em RAS e BFT, Luo *et al.* (2014) relataram que os níveis de nitrito e fosfato dissolvidos na água foram menores no cultivo em BFT comparado ao RAS, já os teores de nitrato acumulados na água foram superiores no cultivo em RAS em relação ao cultivo em BFT.

Contudo, sistemas de produção em bioflocos após alguns meses também tendem a acumular nitratos (Emerenciano *et al.*, 2017). Isso se dá em razão dos agregados poderem servir como substrato para colonização de bactérias quimioautotróficas (nitrificantes) (Hargreaves, 2013), levando ao acúmulo desse nutriente no sistema (Azim & Little, 2008), uma vez que a oxigenação nos tanques é abundante, diminuindo as possibilidades de desnitrificação e ocorrendo na ausência de oxigênio. Portanto, a integração com a produção de plantas, aquaponia, pode diminuir os teores de nitratos na água, tanto em BFT como em RAS, uma vez que as plantas absorvem esse elemento transformando em biomassa. Em suma, a integração aquaponia e BFT pode ser considerada uma alternativa para melhorar a qualidade de água do ambiente e produzir mais um produto de interesse econômico.

Possivelmente houve uma predominância de bactérias heterotróficas durante a experimentação (28 dias) devido à colonização de essas bactérias terem um crescimento cerca de dez vezes mais rápido que as bactérias nitrificantes (Hargreaves, 2006). Com um crescimento acelerado, as bactérias heterotróficas absorvem a amônia (N - NH₄) dissolvida na água e transformam em biomassa microbiana (proteína), auxiliando na alimentação dos peixes (Schneider *et al.*, 2005). As comunidades de bactérias quimioautotróficas (i.e. nitrificantes) se estabilizam no sistema entre 20 e 40 dias aproximadamente e então são responsáveis por dois terços da assimilação de amônia (Emerenciano *et al.*, 2017). Nesse sentido, os bioflocos possuem a capacidade de reter nutrientes na matéria orgânica presente na água. Pode ser que com a evolução do sistema BFT e predominância de bactérias heterotró-

ficas ao longo do período experimental, maiores teores de sólidos sedimentáveis (Figura 3) e sólidos suspensos (Figura 4) também podem explicar uma diminuição nas concentrações de sólidos dissolvidos no efluente de peixes.

Amônia, nitrito, nitrato e ortofosfato

O fosfato é um íon que tem alta afinidade com compostos orgânicos (Holford, 1997). Dependendo do pH da solução aquapônica, ele pode ficar indisponível para plantas e níveis de pH acima de 7,0 impulsionam a precipitação de formas de fosfato de cálcio para o lodo (Becquer *et al.*, 2014). Em baixas concentrações ele pode limitar o crescimento das plantas, já que é considerado um nutriente essencial (Marschner, 2012). Além disso, foram observados níveis $<1,00 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_3^- dissolvidos na solução aquapônica, o que pode ser considerado como limitante para o crescimento de plantas (Wonkgkiev *et al.*, 2017). Mesmo com níveis desses nutrientes abaixo do considerado ideal para crescimento de plantas, foi constatado um decréscimo na quantidade de sólidos dissolvidos na água, sinalizando a absorção de minerais e o acúmulo em biomassa de planta. Já é previamente conhecido que o fósforo é pouco solúvel na água, estando retido em maiores quantidades nos sólidos sedimentáveis, enquanto o nitrogênio é retido em maiores quantidades nos sólidos suspensos e dissolvidos (Dalsgaard & Pedersen, 2011). Isso mostra a importância do manejo de sólidos em sistemas de aquaponia, visto que os nutrientes apresentam dinâmicas antagônicas em relação à solubilidade na água, o que influencia diretamente na produção de plantas. Faz-se necessário melhorar o manejo de sistemas de aquaponia, principalmente referente ao fósforo que é descartado junto ao lodo como efluente, diminuindo consideravelmente a quantidade deste mineral na solução aquapônica, indesejável em sistemas de aquaponia. Delaide *et al.* (2016) já demonstraram que a mineralização de nutrientes do lodo e a reutilização do sobrenadante como fonte de suplementação nutricional para as plantas em sistemas de aquaponia aumentaram a sua produtividade em relação às plantas produzidas sem suplementação, não sendo necessária a complementação de nutrientes minerais externos para atingir melhores produtividades de cultivares.

Plantas

No presente estudo, a produtividade alcançada das variedades de alface roxa, lisa e crespa foi de $1,21 \pm 0,14$; $1,13 \pm 0,26$ e $1,29 \pm 0,22 \text{ kg m}^{-2}$ respectivamente (Tabela I). Esses valores registrados ficaram abaixo de outros cultivos aquapônicos, como o de Pantanella *et al.* (2010) em um cultivo de 17 dias com densidade de peixes de 8 kg m^{-3} (peso médio 24 g), atingindo uma produtividade de $2,71 \text{ kg m}^{-2}$ para a variedade de alface romana. Vale ressaltar que os autores suplementaram a água inicial de cultivo com quantidade de nutrientes K ($1,70 \text{ mmol L}^{-1}$), P ($0,4 \text{ mmol L}^{-1}$), S ($0,6 \text{ mmol L}^{-1}$), Mg ($0,6 \text{ mmol L}^{-1}$) e Fe ($36 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$), o que possivelmente resultou em melhor produtividade comparado ao presente estudo. Já Pinho, Molinari e Mello (2017), cultivando as mesmas três variedades de alface, roxa, lisa e crespa, com efluente de uma criação de tilápia em bioflocos (21 dias), obtiveram produtividades de $0,40$; $1,73$ e $1,23 \text{ kg m}^{-2}$ respectivamente, com maior produtividade da alface lisa em relação ao presente trabalho e menores produtividades das demais variedades. Essa variação pode estar atrelada ao momento em que o experimento foi realizado, já que o presente experimento se deu no inverno, diferentemente desses autores, que realizaram a experimentação no verão. Possivelmente uma melhor adaptação da variedade roxa ao inverno e da lisa ao verão proporcionou os resultados de produtividade diferenciados em cada época.

O presente trabalho elucidou a dinâmica dos sólidos em um sistema de aquaponia de cunho experimental. O conhecimento dessa dinâmica é importante, pois o acompanhamento da flutuação dos níveis de sólidos ao longo de um cultivo de aquaponia com BFT auxilia no entendimento do funcionamento e na eficácia dos dispositivos filtrantes, além de fornecer um parecer com maior acurácia sobre as condições de cultivo. Com dados de sólidos em diferentes compartimentos é possível verificar o funcionamento do processo de filtragem e auxiliar na tomada de decisão para melhorar as condições de qualidade de água. Sistemas de aquaponia com BFT necessitam níveis adequados de sólidos em suspensão no tanque dos animais e, por outro lado, maiores quantidades de sólidos dissolvidos no tanque de plantas. Assim sendo, é necessário um manejo de retenção de sólidos após o efluente de peixes que consigam reter uma parte de sólidos suspensos e, posteriormente, um tratamento de água que promova a quebra do restante dos sólidos suspensos e mineralize os nutrientes contidos, aumentando os níveis de sólidos dissolvidos para o cultivo hidropônico.

CONCLUSÃO

Os sólidos totais variaram entre os compartimentos com valores médios de 600,88 mg L⁻¹ no efluente do tanque dos peixes, 615,83 mg L⁻¹ no *sump* e 546,94 mg L⁻¹ no efluente das plantas. Foi averiguada uma maior variação nas quantidades de sólidos suspensos no efluente do tanque dos peixes da terceira para quarta semana de experimentação, com um aumento de 67 para 330 mg L⁻¹. Na classe de sólidos dissolvidos totais houve uma diminuição de 551 para 282 mg L⁻¹ e 501 para 416 mg L⁻¹ no efluente dos peixes e plantas respectivamente. Os compostos nitrogenados estiveram com níveis baixos durante todo o período experimental; já os níveis de ortofosfato dissolvidos na água apresentaram decréscimo ao longo do tempo. Os autores identificaram que estudos adicionais devem ser feitos visando a integração de sistemas de aquaponia com BFT e gerando dados dinâmicos entre sólidos e nutrientes, com intuito de atingir produtividades de peixes e plantas com competitividade comercial.

REFERÊNCIAS

- Avnimelech Y. *Biofloc technology: a practical guide book, 3rd edn.* The World Aquaculture Society, 258 p., Baton Rouge, 2015.
- Azim, M.E.; Little, D.C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v. 283, n. 1, p. 29–35, 2008.
- Becquer, A.; Trap, J.; Irshad, U.; Ali, M. A.; Claude, P. From soil to plant, the journey of P through trophic relationships and ectomycorrhizal association. *Frontiers in plant science*, v. 5, p. 548, 2014.
- Bridgewater, L. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. *American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF)*, 1360 p., Washington, D.C., 2012.

Chen, S.; Stechey, D.; Malone, R. F. Suspended solids control in recirculating aquaculture systems. *Developments in aquaculture and fisheries science*, v. 27, p. 61-61, 1994.

Chen, S.; Coffin, D. E.; Malone, R. F. Sludge production and management for recirculating aquacultural systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 28, n. 4, p. 303-315, 1997.

Dalsgaard, J.; Pedersen, P. B. Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, v. 313, n. 1-4, p. 92-99, 2011.

Delaide, B.; Goddek, S.; Gott, J.; Soyeurt, H.; Jijakli, M. H. Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Sucriner*) growth performance in complemented aquaponic solution outperforms hydroponics. *Water*, v. 8, n. 10, p. 467, 2016.

Eding, E. H.; Kamstra, A.; Verreth, J.A.J.; Huisman, E. A.; Klapwijk, A. Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: a review. *Aquacultural Engineering*, v. 34, n. 3, p. 234-260, 2006.

Emerenciano, M.; Gaxiola, G.; Cuzon, G. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. In: Biomass now-cultivation and utilization. InTech, Rijeka, 2013.

Emerenciano, M. G. C.; Martínez-Córdova, L. R.; Martínez-Porchas, M.; Miranda-Baeza, A.). Biofloc technology (BFT): a tool for water quality management in aquaculture. *Water quality*, v. 5, p. 92-109, 2017.

Hargreaves, J.A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 34(3): 344-363, 2006.

Hargreaves, J.A. 2013 Biofloc production systems for aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center, 11p. Disponível em: <<http://2kjj1d3odhc3296co7jhe511.wpengine.netdnacdn.com/files/2013/09/SRAC-Publication-No.-4503-Biofloc-Production-Systems-for-Aquaculture.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2019.

Holford, I. C. R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Soil Research*, v. 35, n. 2, p. 227-240, 1997.

Hopkins, J.S.; Sandifer, P.A.; Browdy, C. Sludge management in intensive pond culture of shrimp: effect of management regime on water quality, sludge characteristics, nitrogen extinction, and shrimp production. *Aquacultural Engineering* v. 13, p. 11-30, 1994.

Kotzen, B.; Emerenciano, M.G.C.; Moheimani, N.; Burnell, G.M. Aquaponics: Alternative Types and Approaches, p 301 - 330. In: Goddek S., Joyce A., Kotzen B., Burnell G. (eds) *Aquaponics Food Production Systems*. Springer, 619p., Cham, 2019.

Lenz, G. L.; Durigon, E. G.; Lapa, K. R.; Emerenciano, M. G. C. Lettuce (*Lactuca sativa*) production with effluent from a tilapia culture maintained in BFT and low salinity. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 43, n. 4, p. 614-630, 2017.

Luo, G.; Gao, Q.; Wang, C.; Lie, W.; Sun, D.; Li, L.; Tan, H. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, v. 422, p. 1-7, 2014.

- Marschner, P. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants 3^a ed.* Academic Press, 651p., 2012.
- Metcalf e Eddy. *Wastewater engineering: treatment and reuse.* 4th ed. Boston: McGraw Hill, 1819 p., 2004.
- Mohammadi, G.; Adorian, T. J.; Rafiee, G. Beneficial effects of *Bacillus subtilis* on water quality, growth, immune responses, endotoxemia and protection against lipopolysaccharide-induced damages in *Oreochromis niloticus* under biofloc technology system. *Aquaculture Nutrition*, v. 26, n. 5, p. 1476-1492, 2020.
- Mohammadi, G.; Rafiee, G.; Tavabe, K. R.; Abdel-Latif, H. M.; Dawood, M. A. The enrichment of diet with beneficial bacteria (single-or multi-strain) in biofloc system enhanced the water quality, growth performance, immune responses, and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v. 539, p. 736640, 2021.
- Nelson, R. L.; Pade, J. S. Aquaponic equipment the clarifier. *Aquaponics Journal*, v.4, n. 47, p. 30-31, 2007.
- Pantarella, E.; Cardarelli, M.; Colla; G. Rea; E. Marcucci. Aquaponics vs. hydroponics: production and quality of lettuce crop. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 927 p.* 887-893, 2010.
- Pinho, S.M., D. Molinari, G.L. Mello, K.M. Fitzsimmons and M.G.C. Emerenciano.. Effluent from a Biofloc Technology (BFT) Tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*, v. 103, p. 146-153, 2017
- Rakocy, J. E. 2002 An integrated fish and field crop system for arid areas. In: *Ecological aquaculture: the evolution of the blue revolution*, p. 263-285.
- Rakocy, J.; Masser, M. P.; Losordo, T. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics-Integrating fish and Plant Culture. SRAC Publication No. 454. *Southern Regional Aquaculture Center, United States Department of Agriculture*, 16 p., 2006.
- Rakocy, J.; Masser, M. P.; Losordo, T. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. SRAC 454. *Southern Regional Aquaculture Center, United States Department of Agriculture* 2016.
- Ray A.J.; Lewis B.L.; Browdy C.L.; Leffler J.W. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, v. 299, n. 1-4, p. 89-98, 2010.
- Schneider, O.; Sereti I, V.; Eding, E.H.; Verreth, J. A. J. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, v. 32, n. 3, p. 379-401, 2005.
- Timmons, M.B; Ebeling, J.M. *Recirculating aquaculture.* 3rd ed. NRAC Publication Cayuga Aqua Ventures, 975p., Ithaca, NY, 2010.
- Wongkiew, S.; Hu, Z.; Chandran, K.; Lee, J. W.; Khanal, S. K. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural engineering*, v. 76, p. 9-19, 2017.