



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA**

DAVI DE HOLANDA CAVALCANTE

**SINERGISMO ENTRE PERIFÍTON E BIOFLOCOS NO CULTIVO INTENSIVO DE
JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO**

**FORTALEZA
2017**

DAVI DE HOLANDA CAVALCANTE

**SINERGISMO ENTRE PERIFÍTON E BIOFLOCOS NO CULTIVO INTENSIVO DE
JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO**

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Engenharia de Pesca do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá.

**FORTALEZA
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C364s Cavalcante, Davi de Holanda.
Sinergismo entre perifíton e bioflocos no cultivo intensivo de juvenis de tilápia do Nilo / Davi de Holanda Cavalcante. – 2017.
103 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá.

1. Piscicultura. 2. Limnocultura. 3. Qualidade de água. 4. Amônia. I. Título.

CDD 639.2

DAVI DE HOLANDA CAVALCANTE

**SINERGISMO ENTRE PERIFÍTON E BIOFLOCOS NO CULTIVO INTENSIVO DE
JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO**

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Engenharia de Pesca do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá.

Aprovada em: ___ / ___ / _____

BANCA EXAMINADORA

Professor Marcelo Vinícius do Carmo e Sá, PhD (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Professor Dr. Felipe de Azevedo Silva Ribeiro
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Professor Dr. Glacio Souza Araújo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Aldeney Andrade Soares Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Professora Dr^a. Elenise Gonçalves de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

RESUMO

O trabalho foi constituído de quatro experimentos consecutivos que foram realizados com o objetivo de determinar o grau de sinergismo existente entre perifíton e bioflocos no cultivo intensivo de juvenis de tilápia do Nilo. No primeiro experimento foi realizado um arranjo fatorial 2 x 2, cujo os fatores avaliados foram bioflocos (BFT) e perifíton, em dois níveis cada um, ausência e presença. Os tanques dos tratamentos Controle e Perifíton apresentaram maiores concentrações de nitrogênio amoniacal total (NAT) quando comparados aos tratamentos BFT e Biofíton. O fator de conversão alimentar (FCA) dos peixes foi melhor nos tanques nos quais os bioflocos estavam presentes, quando comparado aos tanques sem bioflocos. Concluiu-se que o sistema de cultivo de peixes baseado em bioflocos remove significativamente mais amônia da água que os sistemas mais tradicionais, tais como em águas verdes e aqueles baseados no uso de substratos submersos (perifíton). No segundo experimento os resultados de peso corporal final, taxa de crescimento específico e produtividade de peixe foram maiores ($p < 0,05$) nos tanques nos quais se fez o ajuste da relação C: N da água, quando comparado aos tanques sem esse ajuste. Concluiu-se que o sistema de cultivo de peixe baseado em substrato (perifíton) não é indicado para cultivos intensivos em aquicultura, nos quais há grande entrada de alimento artificial. No terceiro experimento foram testados os seguintes fatores, substratos submersos (presença ou ausência) e restrição alimentar (não e sim). A presença de substratos submersos nos tanques para desenvolvimento de perifíton não alterou de modo significativo a concentração de nitrito da água. Portanto, assim como ocorrido para amônia, a instalação das estruturas submersas nos tanques não apresentou efeito purificador da água, tendo em vista que o nitrito é um composto tóxico aos peixes cultivados. Logo, não se obteve nenhuma vantagem zootécnica no presente trabalho pela instalação de estruturas submersas para perifíton em tanques BFT. O último experimento foi constituído de nove tratamentos, com quatro repetições cada um. Os animais foram cultivados em tanques convencionais (águas verdes), com ajuste da relação C: N da água (bioflocos), e com integração entre bioflocos e perifíton (biofíton). Em cada sistema de cultivo, houve oferta regular ou sob restrição (-15% e -30%) de ração artificial. A instalação das estruturas submersas em tanques com bioflocos não foi capaz de elevar a remoção de amônia e nitrito da água. Nos sistemas com bioflocos, o nível de restrição alimentar de 15% não causou prejuízo ao ganho em peso animal. A instalação de estruturas submersas para perifíton não afetou de modo significativo o peso corporal final dos peixes cultivados.

Palavras Chaves: Amônia. Limnocultura. Piscicultura. Qualidade de água.

ABSTRACT

The work consisted of four consecutive experiments that were carried out with the objective of determining the degree of synergism between the periphyton and bioflocs without intensive cultivation of Nile tilapia juveniles. In the first experiment, a 2 x 2 factorial arrangement was performed, where the factors were perforated in bioflocs and periphyton, in two levels each, absence and presence. The tanks of the Control and Periphyton treatments had higher concentrations of NAT when compared to the BFT and Biophyton treatments. The feed conversion factor (FCA) of the fish was better in the tanks in which the bioflocos, when compared to the tanks without bioflocos. It was concluded that the bioflocos based fish culture system removes significantly more ammonia from the water than more traditional systems, such as in green waters and based they do not use submerged substrates (periphyton). ($P < 0.05$) Our tanks were used to adjust the C: N ratio of water when compared to tanks without this adjustment. It was concluded that the fish farming system is not suitable for intensive farming in aquaculture. In the experiment it was not tested with the following substrates, submerged substrates (presence or absence) and food restriction (no and yes). The presence of submerged substrates in the tanks for development of periphyton did not significantly alter a concentration of nitrite in the water. Thus, as occurred for ammonia, the installation of submerged structures in the tanks did not present a water purifying effect, since nitrite is a toxic compound for cultured fish. Therefore, no zootechnical advantage was obtained without the work of installing submerged structures for periphyton in BFT tanks. The last experiment consisted of nine treatments, with four replicates each. The animals were cultivated in waste waters (green waters), with adjustment of the C: N ratio of water (bioflocs), and integration between bioflocs and periphyton (biophyton). In each cultivation system, there was a regular or restricted supply (-15% and -30%) of artificial feed. The installation of submerged structures in tanks with bioflocos is not able to raise the removal of water and nitrite from the water. In systems with bioflocs, the level of feed restriction of 15% did not cause damage to the gain in animal weight. The installation of submerged structures to the periphyton did not significantly affect the final body weight of the cultured fish.

Keywords: Ammonia. Fish culture. Limonoculture. Water quality.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1 Transparência da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15:1 para o desenvolvimento de bioflocos..... 37
- Figura 2 pH nictimeral da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, providos ou não de estruturas submersas para desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15:1 para o desenvolvimento de bioflocos..... 42
- Figura 3 Oxigênio dissolvido nictimeral da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, providos ou não de estruturas submersas para desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15:1 para o desenvolvimento de bioflocos..... 43
- Figura 4 Produtividade primária líquida da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, providos ou não de estruturas submersas para desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15:1 para o desenvolvimento de bioflocos..... 44

CAPÍTULO 3

- Figura 1 Produtividade primária bruta (PPB), taxa de respiração (TR) e produtividade primária líquida (PPL) da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, mantidos por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, sob elevada densidade de estocagem (72 peixes m⁻³). Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton e tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos (média ± d.p.; n = 5)..... 59

CAPÍTULO 4

- Figura 1 Sólidos sedimentáveis na água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo estocados por 10 semanas em tanques com relação C: N da água ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifíton, sendo submetidos ou não à restrição alimentar (-30%)..... 72
- Figura 2 Concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, estocados por 10 semanas em tanques com relação C: N da água ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifíton, sendo submetidos não restrição alimentar (-30%)..... 73

Figura 3	Produtividade primária líquida (PPF) da água, no início e no final do cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, estocados por 10 semanas em tanques com relação C: N da água ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifíton, sendo submetidos ou não à restrição alimentar (-30%).....	76
Figura 4	Contagem bacteriana inicial e final da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, estocados por 10 semanas em tanques com relação C: N da água ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifíton, sendo submetidos ou não à restrição alimentar (-30%).....	77

CAPÍTULO 5

Figura 1	Concentração de matéria orgânica em tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo.....	93
Figura 2	Concentração de fósforo reativo em tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo.....	94
Figura 3	Fator de conversão alimentar de juvenis de tilápia do Nilo	97
Figura 4	Taxa de eficiência proteica de juvenis de tilápia do Nilo	98

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1	pH e condutividade elétrica da água de cultivo de tanques de polietileno de 250 L estocados com juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (peso corporal = $1,63 \pm 0,07$ g), providos ou não com estruturas submersas para desenvolvimento de perifiton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos.....	38
Tabela 2	Qualidade de água de tanques de cultivo de polietileno de 250 L estocados com juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (peso corporal = $1,63 \pm 0,07$ g), providos ou não com estruturas submersas para desenvolvimento de perifiton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos	40
Tabela 3	Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (peso corporal = $1,63 \pm 0,07$ g) estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos	45

CAPÍTULO 3

Tabela 1	pH e condutividade elétrica da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> , com peso corporal inicial de $1,56 \pm 0,07$ g, mantidos por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, sob elevada densidade de estocagem (72 peixes m^{-3}). Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton e tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos	55
Tabela 2	Qualidade da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> , com peso corporal inicial de $1,56 \pm 0,07$ g, mantidos por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, sob elevada densidade de estocagem (72 peixes m^{-3}). Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton e tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos	57
Tabela 3	Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> , com peso corporal inicial de $1,56 \pm 0,07$ g, mantidos por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, sob elevada densidade de estocagem (72 peixes m^{-3}). Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton e tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos	60
Tabela 4	Qualidade dos efluentes de tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> , após 10 semanas. Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton e tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos	62

CAPÍTULO 4

Tabela 1	Qualidade da água de tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo (peso corporal = $0,99 \pm 0,04$ g) com relação C: N da água ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifíton, sendo submetidos ou não à restrição alimentar	74
Tabela 2	Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo (peso corporal = $0,99 \pm 0,04$ g), mantidos em tanques de cultivo com relação C: N ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifíton, sendo submetidos ou não à restrição alimentar	79

CAPÍTULO 5

Tabela 1	pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade e dureza total de tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo	90
Tabela 2	Concentrações de nitrogênio amoniacal total (NAT), NH_3 , nitrito e nitrato em tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo	92
Tabela 3	Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo	96

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1	REVISÃO DE LITERATURA	13
1.1	A tecnologia de bioflocos (BFT)	13
1.2	Bioflocos como alimento	16
1.3	Efeito dos bioflocos sobre a qualidade da água	19
1.4	Relação entre bioflocos e perifíton	21
1.5	Controle de doenças por bioflocos	23
	REFERÊNCIAS	25
2	OBJETIVOS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO	31
2.1	Objetivo geral	31
2.2	Objetivos específicos	31

CAPÍTULO 2

	REMOÇÃO DE AMÔNIA E NITRITO DO CULTIVO DA TILÁPIA NILÓTICA EM SISTEMA INTEGRADO BIOFLOCOS-PERIFÍTON	32
	RESUMO	32
	ABSTRACT	32
1	INTRODUÇÃO	33
2	MATERIAL E MÉTODOS	34
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.1	Qualidade de água	37
3.2	Desempenho zootécnico	44
	REFERÊNCIAS	47

CAPÍTULO 3

	INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS PERIFÍTON E BIOFLOCOS NO CULTIVO INTENSIVO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO	50
	RESUMO	50
	ABSTRACT	50
1	INTRODUÇÃO	51
2	MATERIAL E MÉTODOS	52
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
3.1	Qualidade de água	55
3.2	Desempenho zootécnico	59
3.3	Qualidade de efluentes	61
4	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	63

CAPÍTULO 4

	EFEITOS DO PERIFÍTON EM TANQUES BFT DE PISCICULTURA SUBMETIDOS À RESTRIÇÃO ALIMENTAR	66
	RESUMO	66
	ABSTRACT	66

1	INTRODUÇÃO	67
2	MATERIAL E MÉTODOS	69
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
3.1	Qualidade físico-química da água	71
3.2	Qualidade microbiológica da água	76
3.3	Desempenho zootécnico	78
4	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS	81

CAPÍTULO 5

CULTIVO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO, *Oreochromis niloticus*, EM SISTEMAS CONVENCIONAL, BIOFLOCOS E BIOFÍTON SOB RESTRIÇÃO ALIMENTAR

	RESUMO	84
	ABSTRACT	84
1	INTRODUÇÃO	85
2	MATERIAL E MÉTODOS	86
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
3.1	Qualidade de água	89
3.2	Desempenho zootécnico	95
4	CONCLUSÃO	99
	REFERÊNCIAS	100

CAPÍTULO 6

1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
---	----------------------------	-----

CAPÍTULO 1

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 A tecnologia de bioflocos - BFT

A tecnologia de bioflocos é uma técnica para melhorar a qualidade da água na aquicultura, equilibrando carbono e nitrogênio no sistema. É um método sustentável para controlar a qualidade da água, com valor adicional pela disponibilidade de proteína microbiana como fonte de alimento. Desta forma, o sistema BFT oferece uma ferramenta de aquicultura sustentável que contempla simultaneamente os aspectos ambientais, sociais e econômicos (AVNIMELECH, 1999).

Ao se adicionar fonte de carbono na água de cultivo, o desenvolvimento de bactérias heterotróficas é facilitado. Estas bactérias absorvem o nitrogênio inorgânico presente na água, havendo redução na concentração destes compostos que são tóxicos aos animais cultivados (HARI *et al.* 2004).

Além de proporcionar um aumento no crescimento de bactérias heterotróficas, o BFT, fornece proteína bacteriana aos animais, reduzindo a demanda por suplementação alimentar, com conseqüente redução dos custos por alimentação e redução dos níveis de nitrogênio tóxico no cultivo, bem como nos efluentes (AVNIMELECH, 2007).

Os bioflocos são formados por agregados de bactérias, protozoários, metazoários, microalgas, cianobactérias, larvas de invertebrados, fezes, restos de animais mortos e de exoesqueletos (EMERENCIANO *et al.* 2007). Esse sistema apresenta diversas vantagens, como redução do uso de água, menor risco de introdução e disseminação de doenças, possibilidade do uso de dieta com baixos níveis de proteína, além do incremento significativo da produção.

Esses sistemas de cultivo, sem a renovação ou com mínima renovação de água, se baseiam no uso de tanques altamente oxigenados e fertilizados com fontes ricas em carbono com o objetivo de estimular o surgimento de uma comunidade bacteriana predominantemente heterotrófica, a qual tem capacidade para assimilar os compostos nitrogenados e transformá-los em proteína microbiana (AVNIMELECH, 2009).

A necessidade da redução dos impactos ambientais, gerados pelo descarte de efluentes ricos em nutrientes e matéria orgânica, é fundamental para a aquicultura. O sistema BFT

surge como uma alternativa aos sistemas convencionais para minimizar a emissão de efluentes. Desta forma, o sistema BFT se apresenta como um sistema sustentável e ambientalmente correto, minimizando assim, impactos ambientais resultantes da liberação de efluentes ricos em nutrientes e matéria orgânica, bem como, minimizando o uso de água necessária ao cultivo (KRUMMENAUER *et al.*, 2012).

Os benefícios desta tecnologia são bem conhecidos para o cultivo de camarão e pouco conhecidos para o cultivo de peixes. Crab *et al.* (2012) afirmam que tilápias cultivadas em tanques BFT crescem bem, mesmo quando recebem alimentos contendo baixo teor de proteína, sendo a ingestão de bioflocos um fator compensatório pela escassez de proteína na ração.

O sistema BFT beneficia o cultivo de organismos aquáticos. Fuentes, Rostro e Vergara (2013) observaram, no cultivo de camarões da Malásia (*Macrobrachium rosenbergii*), que a correção da relação carbono: nitrogênio para 20: 1 apresenta melhores resultados de crescimento, peso final e ganho em peso. Além disso, esses autores verificaram que os níveis de proteína e lipídeos foram maiores nos camarões cultivados segundo a tecnologia BFT, mostrando que a mesma contribuiu para uma melhor nutrição e maior eficiência alimentar, além da manutenção de bons níveis de qualidade da água.

Além de proporcionar uma possível redução nos níveis de proteína bruta da ração, sem trazer prejuízo aos animais cultivados, o sistema de cultivo BFT é eficiente no processo de oxidação da amônia, em compostos como nitrito e nitrato, por bactérias heterotróficas. Desta forma, traz as vantagens de se utilizar ração com baixo teor de proteínas, melhor qualidade de água, redução no nitrito e nitrato, além de reduzir os impactos ambientais da aquicultura (CORREIA *et al.*, 2014).

O cultivo de bioflocos é tão eficiente quanto os sistemas de recirculação de água, com a vantagem de reduzir o consumo de ração (?) e não necessitar de tratamentos intensivos e contínuos da água de cultivo. Esparza-Leal, Cardozo, Wasielesky (2015) compararam dois sistemas de cultivo durante o cultivo de pós larvas de camarões, um sistema com bioflocos e outro com águas claras, onde se tinha recirculação e renovação da água de 2000% ao dia, com posterior tratamento em filtros. Os pesquisadores observaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos para sobrevivência e peso final das pós-larvas estocadas nas densidades de 6000 e 9000 organismos m⁻³.

A correção da relação carbono: nitrogênio da água estimula o desenvolvimento do bioflocos. Bakar *et al.* (2015) testaram diferentes relações de C: N no cultivo do bagre Africano, *Clarias gariepinus*. Após cultivar por um período sem a presença de bioflocos,

estes foram estimulados a se desenvolver com a elevação da relação C: N. Os autores verificaram que a relação C: N de 15:1 foi a mais efetiva na remoção de amônia na água,. Nesta relação houve uma remoção de até 98% da amônia presente na água de cultivo.

Lorenzo *et al.* (2016a) testaram diferentes relações C: N para estimulação de bioflocos durante o cultivo de larvas de camarão marinho, *Litopenaeus vannamei*. Estes autores verificaram que houve uma redução maior nas concentrações de amônia na água, quando as relações C: N eram iguais a 12,5: 1 e 15: 1, em comparação com a relação C: N de 10: 1, resultado que mostra que há necessidade de uma relação maior que 10: 1 de C: N para favorecer o desenvolvimento das bactérias heterotróficas.

Diferentes fontes de carbono podem ser utilizadas para a estimulação do crescimento dos bioflocos no cultivo. Vilani *et al.* (2016) testaram duas diferentes fontes de carbono, farelo de arroz e melação, no cultivo de camarões. Estes verificaram que não houve diferenças no crescimento, na sobrevivência e na qualidade de água, quando comparadas as duas fontes de carbono. Conforme os autores, este é um fator importante que deve ser considerado na hora de decidir qual fonte de carbono utilizar e determinar a de menor custo e maior oferta na região, observando a composição de carbono que o insumo oferece.

De acordo com Krummenauer *et al.* (2016) o cultivo de bioflocos pode ser realizado em menores volumes de água comparados a outros sistemas de cultivo. Estes autores observaram que não houve diferença quando se comparou três diferentes profundidades da coluna d'água, mantendo-se a mesma área de fundo. Quando se reduz o volume de cultivo, com manutenção de produtividade, se promove uma economia na utilização de água. Os autores verificaram ainda que as concentrações de compostos nitrogenados não foram alteradas, mostrando que o bioflocos foi mais produtivo, em relação ao volume utilizado, nas profundidades mais rasas.

O sistema BFT permite uma maior produção por unidade de área, evitando ou minimizando danos ambientais significativos, minimizando o fluxo de agentes patogênicos e a descarga de efluentes ricos em nutrientes para o meio ambiente (LORENZO *et al.* 2016b). Estes autores, verificaram que não houve prejuízo no desempenho zootécnico ao se intensificar o cultivo de pós larvas de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* até densidades de 350 larvas por litro, alcançando índices de produtividade adequados e sem deterioração da qualidade da água.

1.2 Bioflocos como alimento

Os flocos bacterianos presentes no sistema BFT servem como fonte de alimento para tilápias. Conformes achados de Avnimelech (2007), os flocos bacterianos estão presentes no sistema como fonte de alimentação 24 h por dia. Ainda segundo o autor, a redução de 30% no fornecimento de ração convencional, em um sistema de bioflocos, não trouxe prejuízos ao crescimento dos peixes. Isso porque os flocos bacterianos promove a ciclagem proteica, fazendo com que menos ração fosse utilizada, diminuindo assim a demanda por proteína externa.

A produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) pode ser até 45% superior nos sistemas BFT em comparação com os sistemas convencionais de cultivo, mostrando que os bioflocos contribuem claramente para o crescimento e a produção dos peixes. A utilização de bioflocos é eficiente, mostrando que as tilápias que foram cultivadas com uma oferta de alimento contendo uma menor quantidade de proteína bruta, mas com a presença de bioflocos, tiveram um bom crescimento (AZIM; LITTLE, 2008).

Segundo Azim, Little e Bron (2008), em sistemas de cultivo de alta densidade, a alimentação suplementar com ração é necessária, isso porque os flocos bacterianos não são capazes de suprir totalmente a quantidade de alimento necessária aos organismos. Esses mesmos autores, entretanto, verificaram que durante o cultivo de tilápias, em sistema BFT, uma redução na quantidade de proteína bruta na ração de 35% para 22% não afetou o crescimento dos animais cultivados.

Apenas 25% da proteína ofertada aos animais, sob a forma de ração, é incorporada aos peixes cultivados (AVNIMELECH; KOCHBA, 2009). Esses autores afirmaram que a maior parte da proteína ofertada é perdida sob a forma de excreção pelos animais cultivados ou pelo não aproveitamento da ração. Além disso, durante o cultivo no sistema BFT, os flocos bacterianos incorporam a proteína desperdiçada no meio, tornando-a novamente disponível na forma de alimento.

Uma dieta balanceada para camarões, à base de proteínas vegetais, pode substituir uma dieta mais onerosa, à base de proteína animal, sem trazer prejuízo aos animais cultivados em sistemas de bioflocos (RAY *et al.*, 2010). Esses autores demonstraram ainda que a remoção do excesso de partículas em suspensão na água pode melhorar a qualidade de água, assim como promover um melhor desempenho zootécnico dos animais cultivados.

Os bioflocos produzidos no sistema BFT, após serem secos, podem substituir parcialmente a farinha de peixe na formulação de rações para tilápias nilóticas, sem trazer

prejuízo ao crescimento destes organismos (KUHN *et al.*, 2010). Outro efeito benéfico demonstrado no trabalho foi a recuperação da qualidade da água utilizada para o crescimento dos bioflocos.

Os bioflocos contribuem de forma significativa para a nutrição dos organismos cultivados. Em trabalho realizado com camarões marinhos *Litopenaeus vannamei*, XU *et al.* (2012) verificaram que os bioflocos não apenas desempenham papel importante como fonte de alimentação, contribuindo para um maior crescimento dos organismos, como também mantêm uma boa qualidade de água do cultivo. Os autores concluíram que bioflocos é uma tecnologia sustentável pois reduz o custo de alimentação e a dependência da farinha de peixe, bem como acarreta menores impactos ambientais.

O sistema de cultivo baseado em bioflocos proporciona um melhor crescimento para tilápias GIFT quando comparado a um sistema de recirculação (LUO *et al.*, 2014). Esses autores, entretanto, observaram um acúmulo de amônia e nitrito no sistema BFT, mostrando que o bioflocos não foram eficientes na redução de compostos nitrogenados.

O cultivo de camarões marinhos *L. vannamei*, em sistema de bioflocos, proporcionou uma redução dos níveis de proteína bruta presente na ração, sem causar prejuízos ao crescimento dos animais (JATOBA *et al.*, 2014). Esse estudo demonstrou que a redução dos níveis de proteína bruta de 36%, até próximo a 30%, não afetou o desempenho zootécnico dos animais cultivados, além de ter proporcionado um melhor resultado de qualidade de água, com menores níveis de amônia. Esses autores verificaram ainda que a redução da proteína bruta da ração para valores próximos a 24% afetou o crescimento dos camarões, sendo que estes cresceram menos que os demais.

O nível de proteína bruta na ração de camarões marinhos *L. vannamei* pode ser reduzido de 35 para 25%, durante o cultivo em sistema de bioflocos, sem que haja prejuízo ao desempenho zootécnico dos camarões, permitindo, com isso, a redução do insumo mais oneroso na formulação das rações (XU; PAN, 2014). Esses autores, entretanto, verificaram uma redução no crescimento dos animais ao se diminuir percentualmente a quantidade de proteína bruta para 20%.

O tamanho da partícula dos flocos bacterianos, em um sistema de cultivo BFT, não influencia no seu consumo pelos organismos cultivados, seja para tilápia, *O. niloticus*, camarões, *L. vannamei*, ou mexilhões, *Perna viridis*. Porém, o tamanho da partícula influencia na composição centesimal dos bioflocos e na retenção do nitrogênio pelas bactérias (EKASARI *et al.*, 2014).

Em estudo realizado em 2015, Cardona *et al.* testaram a eficiência da utilização de ração comercial em sistema de águas claras, comparado ao sistema de bioflocos, no cultivo de camarões da espécie *Litopenaeus stylirostris*. Estes pesquisadores observaram que, no sistema com bioflocos, os camarões utilizaram cerca de 40% de seu alimento a partir do alimento natural disponível. Portanto, os bioflocos, além de servirem como alimento natural, estimularam a atividade enzimática, promovendo maior crescimento dos camarões cultivados, aumentando também a sobrevivência dos camarões.

Bioflocos cultivados com diferentes fontes de carbono têm qualidades diferentes (WEI; LIAO; WANG, 2016). Estes autores testaram as seguintes fontes de carbono: glucose, amido e glicerol. Encontraram como resultado que a utilização de glucose como fonte de carbono gerou bioflocos com maior teor de proteína, quando comparado com as duas outras fontes testadas. O maior teor de lipídeos foi observado quando se utilizou o amido como fonte de carbono. Diante dos resultados, os autores sugeriram que a escolha da fonte de carbono utilizada para o crescimento de bioflocos é de primordial importância.

Os bioflocos servem como alimento natural para os animais cultivados, suprimindo deficiências ou falta de alimento artificial durante o cultivo. Braga *et al.* (2016) testaram dois tipos de ração, em cultivo de camarões, *Litopenaeus vannamei*, em sistema com bioflocos: uma ração adequada para sistemas semi-intensivos e outra indicada para sistema super-intensivos, ambas com mesma quantidade de proteína bruta. Estes autores verificaram que não houve diferença entre os pesos finais dos camarões alimentados com as duas rações, mostrando que a presença de bioflocos supriu uma possível deficiência nutricional entre as rações testadas.

Os bioflocos podem ser utilizados como substitutivo parcial de fonte de proteína na alimentação de camarões (KHATOON *et al.* 2016). Esses autores verificaram que a substituição da ração comercial, a um nível máximo de 50%, por bioflocos secos, não trouxe prejuízos ao crescimento e sobrevivência dos animais cultivados, mostrando a promissora relevância que o bioflocos têm como fonte de proteína para aquicultura.

Os bioflocos podem ser importante fonte de alimento natural nas fases iniciais de cultivo dos peixes. Em estudo realizado em 2016, Ekasari *et al.* testaram o sistema de bioflocos para a reprodução do bagre africano (*Clarias gariepinus*). Os autores compararam a taxa de fecundidade, o desenvolvimento embrionário e a qualidade larval entre os sistemas com e sem bioflocos. Estes verificaram que a taxa de fecundidade é semelhante entre os sistemas e que há uma maior sobrevivência das larvas e um maior comprimento do corpo final, quando os animais são reproduzidos e mantidos em sistema de bioflocos.

Além de aumentar a proteína disponível ao consumo dos animais cultivados, os bioflocos têm uma alta taxa de digestibilidade (LIU et al. 2016a). Estes autores testaram a digestibilidade dos bioflocos por tilápias do Nilo, *Oreochromis niloticus*, e verificaram que o coeficiente de digestibilidade é maior que 60%, mostrando que a biomassa dos bioflocos é um alimento com alta capacidade de aproveitamento pelos animais.

1.3 Efeito dos bioflocos sobre a qualidade da água

O sistema bioflocos oferece a possibilidade de manter uma boa qualidade de água nos sistemas de cultivo e produzir alimento adicional para os organismos cultivados. O valor nutricional dos bioflocos, bem como as suas características morfológicas, são dependentes de um grande conjunto de parâmetros operacionais como intensidade de movimentação da água de cultivo, concentração de oxigênio dissolvido, fonte de carbono orgânico, temperatura e pH (SCHRYVER *et al.*, 2008).

Em diferentes condições de cultivo, a tecnologia de bioflocos mostra-se mais eficiente quando comparada com outras técnicas tradicionais de cultivo. Os bioflocos mostram-se eficientes mesmo em condições de baixa radiação solar, que podem servir como sumidouros de compostos nitrogenados e fonte de alimentação para os animais cultivados (CRAB *et al.*, 2009).

A relação C: N ótima para o desenvolvimento de bioflocos no cultivo está entre 10 -15: 1 (SCHRYVER; VERSTRAETE, 2009). Esses autores verificaram que essa relação de C: N removeu até 98% dos compostos nitrogenados presentes na água de reatores, tendo-se obtido teor de proteína bruta de 57% nos flocos bacterianos formados.

A composição dos bioflocos pode variar de acordo com a fonte de carbono utilizada para correção da relação C: N. A composição dos bioflocos, entretanto, não interfere na diminuição de compostos nitrogenados como amônia e nitrito (CRAB *et al.*, 2010). Estes autores sugerem ainda que o cultivo no sistema de bioflocos propicia um melhor crescimento de pós-larvas de camarões *M. rosenbergii*, quando comparado com camarões da mesma espécie, cultivados sem a presença de bioflocos.

O sistema BFT é eficiente na remoção de amônia na água. Uma concentração de cerca de 10 mg L⁻¹ de amônia pode ser quase completamente removida, no prazo de 5 h após a adição de glicose, na relação C: N de 10: 1, e isso sem o acúmulo de nitrito e nitrato na água (ASADUZZAMAN et al., 2010).

Por outro lado, a presença do bioflocos no cultivo afeta negativamente o pH e a alcalinidade total na água, fazendo com que os valores dessas variáveis sejam reduzidos para menos que 6,5 e 35 mg L⁻¹, respectivamente (FURTADO; POERSCH; WASIELESKY, 2011). Esses autores verificaram que durante o cultivo de camarões *L. vannamei*, sem a correção da alcalinidade da água durante o cultivo em sistema BFT, houve um prejuízo no fator de conversão alimentar (FCA) dos animais, onde este foi duas vezes maior do que nos tratamentos onde houve correção da alcalinidade total. Esses autores afirmam que a correção da alcalinidade da água com o bicarbonato de sódio e hidróxido de cálcio é mais eficiente quando comparado ao carbonato de sódio. Além disso, a qualidade da água e o desempenho zootécnico dos animais cultivados foram afetados negativamente quando a alcalinidade caiu abaixo de 100 mg L⁻¹ de CaCO₃ e um pH menor que 7, por períodos prolongados.

A redução na concentração de amônia ocorre quando se tem o estímulo para crescimento dos bioflocos (adição de fonte de carbono). A redução de amônia e nitrato no sistema BFT ocorre simultaneamente, em um curto período de tempo (6 horas), mostrando que essa redução de amônia não é devida apenas ao processo de nitrificação, mas também pela incorporação proteica do bioflocos (LUO *et al.*, 2013).

A densidade de flocos bacterianos durante o cultivo no sistema BFT influencia a concentração de compostos tais como amônia, nitrito e oxigênio dissolvido (SCHVEITZER *et al.* 2013a). Esses autores testaram três diferentes concentrações de sólidos totais dissolvidos: 200; 600 e 800 mg L⁻¹, tendo verificado que as concentrações de 200 mg L⁻¹ não foram suficientes para obtenção de efeitos benéficos na redução de amônia e nitrito na água, prejudicando os animais cultivados. Nos tratamentos onde a densidade de flocos bacterianos foi de 800 mg L⁻¹, a concentração de oxigênio dissolvido no cultivo foi significativamente menor, tendo afetado os animais cultivados.

O sistema BFT de cultivo pode ser realizado sob condições de total ausência de luz (BALOI *et al.*, 2013). Esses autores verificaram que não houve diferença entre as concentrações de compostos como amônia, nitrito e fósforo durante o cultivo, totalmente no escuro, e o cultivo totalmente no claro. Nesse trabalho, porém, os camarões *L. vannamei* atingiram um maior crescimento quando foram submetidos a uma exposição ininterrupta da luz.

Uma vez que a comunidade de bioflocos esteja estabelecida no sistema de cultivo, as concentrações de amônia e nitrito estarão controladas, mantendo-se abaixo dos níveis prejudiciais ao cultivo (XU *et al.*, 2016). Esses autores testaram diferentes relações C: N no

cultivo de camarões, verificando que após sete semanas de cultivo, em todas as relações testadas, os níveis de amônia e nitrito foram baixos, mantendo-se uma qualidade de água desejável ao longo de todo cultivo.

O sistema de cultivo em bioflocos (BFT) favorece o consumo da alcalinidade e, conseqüentemente, a redução do pH da água de cultivo (MARTINS *et al.*, 2017). Esses autores avaliaram a manutenção da alcalinidade e do pH da água com a aplicação de bicarbonato de sódio (NaHCO_3), hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e carbonato de cálcio (CaCO_3), no sistema BFT, durante o cultivo de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Os autores encontraram que todos os compostos testados foram capazes de corrigir as reduções de alcalinidade e pH, sendo que o bicarbonato de sódio se mostrou mais eficiente que os demais compostos testados.

1.4 Relação entre bioflocos e perifíton

O perifíton que cresce sobre substratos submersos também ajuda no controle da qualidade da água e serve como uma fonte de alimento natural para a espécie de cultivo. O perifíton, ou biofilme, caracteriza-se como uma comunidade complexa de organismos aquáticos aderidos a substratos submersos. Esse conjunto contém bactérias, fungos, protozoários, fitoplâncton, zooplâncton, organismos bentônicos e detritos (AZIM; ASAEDA, 2005).

O uso de substratos submersos para desenvolvimento do perifíton, em conjunto com a manipulação da relação C: N na água, em cultivos de peixes, é uma estratégia promissora (UDDIN *et al.*, 2006). Esses autores relataram que tanto a sobrevivência como o crescimento de camarões de água doce foram significativamente mais elevados com a instalação de substratos, em comparação com o sistema tradicional de cultivo sem substratos.

Na aquicultura, a ração é um dos maiores insumos da produção. Portanto, uma tecnologia que controla a qualidade de água e ainda produz alimento no local do cultivo é um trunfo em relação a outras tecnologias. Entre as estratégias para remoção de amônia durante o cultivo de organismos aquáticos, destaca-se o perifíton e os bioflocos, que fornecem uma fonte de alimentação de baixo custo e maior eficiência de conversão alimentar (CRAB *et al.*, 2007).

O sistema de cultivo de bioflocos, combinado com a utilização de substratos submersos para desenvolvimento de perifíton, beneficiou o crescimento de camarões *M. rosenbergii* por propiciar redução no teor de nitrogênio inorgânico na água. Além disso, houve aumento no

número de bactérias heterotróficas totais, com maior quantidade de proteína disponível aos camarões, e melhoria na produtividade do cultivo (ASADUZZAMAN *et al.*, 2008).

A adição de substratos submersos para o desenvolvimento de perifíton, a um sistema baseado em bioflocos, beneficiou a produção de camarões *M. rosenbergii* através da redução na concentração de compostos nitrogenados na água, aumento na disponibilidade de plâncton, perifíton, bioflocos, além de ter melhorado a sobrevivência e a produtividade. Adicionalmente, houve benefícios econômicos nesse sistema de produção (ASADUZZAMAN *et al.*, 2009).

Embora o uso de substratos submersos seja considerado benéfico para a cultivo de peixes e camarões, alguns estudos indicam que a sua presença em tanques de crescimento não afeta o desempenho dos animais no cultivo ou a qualidade da água (AUDELO-NARANJO *et al.*, 2011). Esses autores afirmaram que a diversidade de condições experimentais em que os substratos são utilizados, tais como a espécie, sistema de cultivo, densidade de estocagem, área do substrato, afetam o desempenho desse sistema.

A presença de bioflocos na água de cultivo não afetou o desenvolvimento do fitoplâncton. O fitoplâncton apresentou crescimento rápido, com predomínio de formas unicelulares e pequenas colônias de algas verdes (clorofíceas) e diatomáceas (SCHRADER; GREEN; PERSCHBACHER, 2011). Esses autores verificaram que a biomassa de fitoplâncton, determinada através da concentração de clorofila na água, gradualmente aumentou em todos os tanques, ao longo do cultivo.

De modo semelhante, a presença de substratos durante o cultivo em um sistema BFT não afetou o desenvolvimento dos bioflocos (SCHVEITZER *et al.*, 2013b). Esses autores observaram que as variáveis de qualidade de água foram controladas, principalmente, pela comunidade microbiana associada aos flocos em suspensão na água, em detrimento do perifíton presente nos substratos. Os resultados encontrados mostraram ainda que o substrato utilizado teve um efeito positivo no crescimento dos camarões cultivados *L. vannamei*.

O perifíton é eficiente na remoção de nitrogênio e fósforo da água (LIU *et al.* 2016b). Esses autores verificaram em um sistema de tratamento de água, combinado com perifíton, maior eficiência na remoção de compostos nitrogenados e fosfatados, evidenciando a capacidade de depuração do perifíton. Os autores afirmaram que a capacidade de remoção de compostos nitrogenados aumentou em até 65% e de compostos fosfatados em até 85%, quando comparado ao sistema de tratamento de água sem a presença de perifíton.

1.5 Controle de doenças por bioflocos

Além da possibilidade de manter ao mesmo tempo uma boa qualidade de água nos sistemas de cultivo e produzir alimentação adicional para os organismos cultivados, a tecnologia de bioflocos permite um maior desenvolvimento de microrganismos nos sistemas de produção, que podem ser úteis na elevação da resistência às doenças, principalmente em cultivos de elevada densidade de estocagem (ZHAO *et al.*, 2012).

O cultivo de organismos aquáticos no sistema BFT proporciona um aumento na resposta imune desses animais (XU; PAN, 2013). Esses autores demonstraram que a resposta imune de camarões *L. vannamei* cultivados em bioflocos foi maior quando comparado ao de animais cultivados em águas claras, com elevada renovação de água.

Uma grande variação na composição dos bioflocos é observada devido a utilização de diferentes fontes de carbono, para a elevação da relação C: N, e também da biota natural presente na água de cultivo (ANAND *et al.*, 2014). Esses autores verificaram que a maior parte da comunidade microbiana desenvolvida nos bioflocos pertencia aos gêneros *Vibrio*, *Bacillus* e *Lactobacillus*. Além desses agregados de partículas de matéria orgânica, comunidades de zooplâncton, rotíferos e uma pequena quantidade de microalgas autotróficas também foram observadas. Esses autores atribuem a menor dominância de comunidade autotrófica devido à falta de luz solar direta no interior dos bioflocos. A presença de grupos diversificados de bactérias, especialmente *Bacillus* sp. e *Lactobacillus* sp., indica que os bioflocos podem ser considerados como uma fonte potencial de probióticos.

Existe um efeito sinérgico entre o probiótico e os bioflocos na água de cultivo. A presença de bioflocos na água, inicialmente utilizados para atenuar problemas de qualidade de água, pode limitar a contaminação na água de cultivo, evitando assim uma propagação de agentes patogênicos (AGUILERA-RIVERA *et al.*, 2014).

A aplicação da tecnologia de bioflocos no cultivo da tilápia do Nilo, durante a fase de reprodução e larvicultura, melhorou a qualidade e o desempenho das larvas produzidas (EKASARI *et al.*, 2015). Esses autores mostraram que houve aumento na sobrevivência das pós-larvas quando a reprodução foi realizada em cultivo de bioflocos. Além disso, houve maior sobrevivência das larvas, após infecção com a bactéria patógena *Streptococcus agalactiae*.

O sistema de cultivo BFT exerce um efeito probiótico sobre os organismos cultivados (POLI; SCHVEITZER; NUÑER, 2015). Esses autores afirmaram que pós-larvas de jundiá, *Rhamdia quelen*, cultivadas em sistema convencional, apresentaram infestação pelo

protozoário *Ichthyophthirius multifiliis*, enquanto que no sistema BFT essa infestação foi inibida. Além disso, os indivíduos cultivados no sistema BFT apresentaram sobrevivência quatro vezes maior.

A eficiência dos bioflocos na remoção de amônia e nitrito da água pode ser ampliada pela adição de inoculo de *Bacillus* sp. (BOOPATHY; KERN & CORBIN, 2015). Estes autores demonstraram que além de aumentar o processo de remoção de compostos nitrogenados, o consórcio com *Bacillus* sp. apresenta propriedades probióticas, suprimindo o crescimento de patógenos na água como o *Vibrio harveyi*.

Animais cultivados em sistema BFT apresentam respostas imunológicas melhores. Em estudo publicado em 2015, Ferreira *et al.* isolaram bactérias do gênero *Bacillus* sp. e testaram seu potencial para afetar a qualidade de água, o desempenho e os parâmetros imunológicos durante o cultivo de camarões. Não houve diferença no desempenho dos camarões cultivados. Houve ainda uma redução na quantidade de *Vibrio* sp. na água dos grupos tratados com *Bacillus*, diminuindo a carga de agentes patogênicos na água.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA-RIVERA, D.; PRIETO-DAVO, A.; ESCALANTE, K.; CHAVEZ, C.; CUZON, G.; GAXIOLA, G. Probiotic effect of FLOC on *Vibrios* in the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 424-425, p. 215-219, 2014.
- ANAND, P.S.S.; KOHLI, M.P.S.; KUMAR, S.; SUNDARAY, J.K.; ROY, D.S.; VENKATESHWARLU, G.; SINHA, A.; PAILAN, G. H. Effect of dietary supplementation of biofloc on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 418-419, p. 108-115, 2014.
- ASADUZZAMAN, M.; WAHAB, M.A.; VERDEGEM, M.C.J.; ADHIKARY, R.K.; RAHMAN, S.M.S.; AZIM, M.E.; VERRETH, J.A.J. Effects of carbohydrate source for maintaining a high C:N ratio and fish driven re-suspension on pond ecology and production in periphyton based freshwater prawn culture systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 301, n. 1-4, p. 37-46. 2010.
- ASADUZZAMAN, M.; WAHAB, M.A.; VERDEGEM, M.C.J.; BENERJEE, S.; AKTER T.; HASAN. M.M.; AZIM M.E. Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 287, n. 3-4, p. 371-380, 2009.
- ASADUZZAMAN, M.; WAHAB, M.A.; VERDEGEM, M.C.J.; HUQUE, S.; SALAM, M.A.; AZIM, M.E. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 280, n. 1-4, p. 117-123, 2008.
- AUDELO-NARANJO, J.M.; MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L.R.; VOLTOLINA, D.; GÓMEZ-JIMÉNEZ, S. Water quality, production parameters and nutritional condition of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) grown intensively in zero water exchange mesocosms with artificial substrates. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 42, n. 9, p. 1371-1377, 2011.
- AVNIMELECH, Y. **Biofloc technology – A practical guide book**. The Word Aquaculture Society. Batom Rouge, Lousiana. 2009.
- AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 176, n. 3-4, p. 227-235. 1999.
- AVNIMELECH, Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. **Aquaculture**. Amsterdam, v. 264, n. 1-4, p. 140-147, 2007.
- AVNIMELECH, Y. KOCHBA, M. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using ¹⁵N tracing. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 287, n. 1-2, p. 163-168, 2009.
- AZIM, M. E., LITTLE, D. C. BRON, J. E. Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture.

Bioresource Technology, Essex, v. 99, n. 9, p. 3590-3599, 2008.

AZIM, M.E.; ASAEDA, T. Periphyton structure diversity and colonization. In: AZIM, M.E.; BEVERIDGE, M.C.M.; VAN DAM, A.A.; VERDEGEM, M.C.J. (Eds.).

Periphyton: Ecology, Exploitation and Management. CABI Publishing, 2005. pp. 15–34.

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**, Amsterdam, v. 283, n.1-4, p. 29–35, 2008.

BAKAR, N. S. A.; NASIR, N. M.; LANANAN, F.; HAMID, S. H. A.; LAM, S. S.; JUSOH, A. Optimization of C/N ratios for nutrient removal in aquaculture system culturing African catfish, (*Clarias gariepinus*) utilizing Bioflocs Technology. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Barking, v.102, p. 100-106, 2015.

BALOI, M.; ARANTES, R.; SCHVEITZER, R.; MAGNOTTI, C.; VINATEA, L. Performance of Pacific shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 52, p. 39 - 44, 2013.

BOOPATHY, R.; KERN, C.; CORBIN, A. Use of Bacillus consortium in waste digestion and pathogen control in shrimp aquaculture. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Barking, v. 102, p. 159–164, 2015.

BRAGA, A.; MAGALHÃES, V.; HANSON, T.; MORRIS, T. C.; SAMOCHA, T. M. The effects of feeding commercial feed formulated for semi-intensive systems on *Litopenaeus vannamei* production and its profitability in a hyper-intensive biofloc-dominated system. **Aquaculture Reports**, v.3, p. 172–177, 2016.

CARDONA, E.; LORGEUX, B.; GEFFROY, C.; RICHARD, P.; SAULNIER, D.; GUEGUEN, Y.; GUILLOU, G.; CHIM, L. Relative contribution of natural productivity and compound feed to tissue growth in blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) reared in biofloc: Assessment by C and N stable isotope ratios and effect on key digestive enzymes. **Aquaculture**, Amsterdam, v.448, p. 288–297, 2015.

CORREIA, E.S.; WILKENFELD, J.S.; MORRIS, T.C.; WEI, L.; PRANGNELL, D.I.; SAMOCHA, T.M. Intensive nursery production of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* using two commercial feeds with high and low protein content in a biofloc-dominated system. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 59, p. 48-54, 2014.

CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 270, p. 1-14, 2007.

CRAB, R.; CHIELENS, B.; WILLE, M.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 41, n. 4, p. 559-567, 2010.

- CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 356-357, p. 351-356, 2012.
- CRAB, R.; KOCHVA, M.; VERSTRAETE, W.; AVNIMELECH, Y. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 40, n. 3, p. 105-112, 2009.
- EKASARI, J.; ANGELA, D.; WALUYO, S.H.; BACHTIAR, T.; SURAWIDJAJA, E.H.; BOSSIER, P.; SCHRYVER, P. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 426-427, p. 105-111, 2014.
- EKASARI, J.; RIVANDI, D.R.; FIRDAUSI, A.P.; SURAWI, E.H.; ZAIRIN, M.; BOSSIER, P.; SCHRYVER, P. Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 441, p. 72-77, 2015.
- EKASARI, J.; SUPRAYUDI, M. A.; WIYOTO, W.; HAZANAH, R. F.; LENGGARA, G. S.; SULISTIANI, R.; ALKAHFI, M.; ZAIRIN, M. Biofloc technology application in African catfish fingerling production: The effects on the reproductive performance of broodstock and the quality of eggs and larvae. **Aquaculture**, Amsterdam, v.464, p. 349–356, 2016.
- EMERENCIANO, M.G.; WASIELESKY, W.J.; SOARES, R.B.; BALLESTER, E.C.; IZEPI, E.M.; CAVALLI, R.O. Crescimento e sobrevivência do camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) na fase de berçário em meio heterotrófico. **Acta Scientiarum. Biological sciences**, Maringá, v.29. p1- 7. 2007.
- ESPARZA-LEAL, H. M.; CARDOZO, A. C.; WASIELESKY, W. Performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in indoor nursery tanks at high stocking density in clear-water versus biofloc system. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 68, p. 28-34, 2015.
- FERREIRA, G. S.; BOLÍVAR, C. N.; PEREIRA, S. A.; GUERTLER, C.; VIEIRA, F. N., W. Q.; MOURIÑO, J. L. P.; SEIFFERT. Microbial biofloc as source of probiotic bacteria for the culture of *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 448, p. 273–279, 2015.
- FURTADO, P.S.; POERSCH, L.H.; WASIELESKY, W. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 321, n. 1-2, p. 130-135, 2011.
- HARI, B.; KURUP, B.M.; VARGHESE, J.T.; SCHRAMA, J.W.; VERDEGEM, M.C.J. Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 241, n. 1-4, p. 179-194, 2004.
- JATOBÁ, A.; SILVA, J.S.; VIEIRA, F.N.; MOURINO, J.L.P.; SEIFFERT, W.Q.; TOLEDO, T. M. Protein levels for *Litopenaeus vannamei* in semi-intensive and biofloc

systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 432, p. 365-371, 2014.

KHATOON, H.; BANERJEE, S.; YUAN, G. T. G.; HARIS, N.; IKHWANUDDIN, M.; AMBAK, M. A.; ENDUT, A. Biofloc as a potential natural feed for shrimp postlarvae. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Barking, v.113, p. 304-309, 2016.

KRUMMENAUER, D.; POERSCH, L. H.; FÓES, G.; LARA, G.; WASIELESKY, W. Survival and growth of *Litopenaeus vannamei* reared in Bft System under different water depths. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 465, p. 94–99, 2016.

KRUMMENAUER, D.; SEIFERT, C.A.; POERSCH, L.H.; FOES, G.K.; LARA, G.R.; WASIELESKY, W. Cultivo de camarões marinhos em sistema de bioflocos: análise da reutilização da água. **Atlântica**, Rio Grande, v. 34, n. 2, p. 103-111, 2012.

KUHN, D.D.; LAWRENCE, A.L.; BOARDMAN, G.D.; PATNAIK, S.; MARSH, L.; FLICK, G.J. Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 303, p. 28–33, 2010.

LIU, J.; WANG, F.; LIU, W.; TANG, C.; WU, C.; WU, Y. Nutrient removal by up-scaling a hybrid floating treatment bed (HFTB) using plant and periphyton: From laboratory tank to polluted river. **Bioresource Technology**, Essex, v.207, p. 142–149, 2016b.

LIU, W.; LUO, G.; TAN, H.; SUN, D. Effects of sludge retention time on water quality and bioflocs yield, nutritional composition, apparent digestibility coefficients treating recirculating aquaculture system effluent in sequencing batch reactor. **Aquacultural Engineering**, Essex, v.72, p. 58–64, 2016a.

LORENZO, M. A.; CANDIA, E. W. S.; SCHLEDER, D. D.; REZENDE, P. C.; SEIFFERT, W. Q.; VIEIRA, F. N. Intensive hatchery performance of Pacific white shrimp in the biofloc system under three different fertilization levels. **Aquacultural Engineering**, Essex, v.72, p. 40–44, 2016a.

LORENZO, M. A.; POLI, M. A.; CANDIA, E. W. S.; SCHLEDER, D. D.; RODRIGUES, M. S.; GUIMARÃES, A. M.; SEIFFERT, W. Q.; VIEIRA, F. N. Hatchery performance of the pacific white shrimp in biofloc system using different stocking densities. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 75, p. 46–50, 2016b.

LUO, G. Z.; AVNIMELECH, Y.; PAN, Y.F.; TAN, H.X. Inorganic nitrogen dynamics in sequencing batch reactors using biofloc technology to treat aquaculture sludge. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 53, p. 73-79, 2013.

LUO, G.; GAO, Q.; WANG, C.; LIU, 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**, Amsterdam, v. 422-42, p. 1-7, 2014.

MARTINS, G. B.; TAROUÇO, F.; ROSA, C. E.; ROBALDO, R. B. The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system: water quality,

growth performance and oxidative stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 468, p. 10–17, 2017.

PÉREZ-FUENTES, J.A.; PÉREZ-ROSTRO, C.I.; HERNÁNDEZ-VERGARA, M.P. Pond-reared Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii* with the biofloc system. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 400-401, p. 105-110, 2013.

POLI, M.A; SCHVEITZER, R.; NUÑER, A. P.O. The use of biofloc technology in a South American catfish (*Rhamdia quelen*) hatchery: Effect of suspended solids in the performance of larvae. **Aquacultural engineering**, Essex, v. 66, p. 17-21, 2015.

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 Engineering**, Essex, v. 299, p. 89 - 98, 2010.

SCHRADER, K.K.; GREEN, B.W.; PERSCHBACHER, P.W. Development of phytoplankton communities and common off-flavors in a biofloc technology system used for the culture of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 45, p. 118 - 126, 2011.

SCHRYVER, P.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 277, n. 3-4, p. 125-137, 2008.

SCHRYVER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 3, p. 1162-1167, 2009.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; BALOI, M.F.; COSTODIO P.F.S.; ARANA, L.V.; SEIFFERT, W.Q.; ANDREATTA, E.R. Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 54, p. 93-103, 2013b.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; COSTÓDIO, P.F.C.; SANTO, C.M.E.; ARANA, L.V.; SEIFFERT, W.Q.; ANDREATTA, E.R. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 56, p. 59-70, 2013a.

UDDIN, M.S.; AZIM, M.E.; WAHAB, M.A.; VERDEGEM, M.C.J. The potential of mixed culture of genetically improved farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in periphyton-based systems. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 37, p. 241–247, 2006.

VILANI, F. G.; SCHVEITZER, R.; ARANTES, R. F.; VIEIRA, F. N.; SANTO, C. M. E. ; SEIFFERT, W. Q. Strategies for water preparation in a biofloc system: Effects of carbon source and fertilization dose on water quality and shrimp performance. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 74, p. 70–75, 2016.

WEI, Y. F.; LIAO, S. A.; WANG, A. The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs, **Aquaculture**, Amsterdam, v. 465, p. 88–93, 2016.

XU, W. J.; MORRIS, T. C.; SAMOCHA, T. M. Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 453, p. 169–175, 2016.

XU, W.J.; PAN, L.Q. Evaluation of dietary protein level on selected parameters of immune and antioxidant systems, and growth performance of juvenile *Litopenaeus vannamei* reared in zero-water exchange biofloc-based culture tanks. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 426-427, p. 181-188, 2014.

XU, W.J.; PAN, L.Q. Enhancement of immune response and antioxidant status of *Litopenaeus vannamei* juvenile in biofloc-based culture tanks manipulating high C/N ratio of feed input. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 412-413, p. 117-124, 2013.

XU, W.J.; PAN, L.Q.; ZHAO, D.H.; HUANG, J. Preliminary investigation into the contribution of bioflocs on protein nutrition of *Litopenaeus vannamei* fed with different dietary protein levels in zero-water exchange culture tanks. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 350-353, p. 147-153, 2012.

ZHAO, P.; HUANG, J.; WANG, X.H.; SONG, X.L.; YANG, C.H.; ZHANG, X.G.; WANG, G.C. The application of bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of *Marsupenaeus japonicus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 354-355, p. 97-106, 2012.

2 OBJETIVOS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO

2.1 Objetivo geral

Determinar, através da observação de variáveis de qualidade de água, de desempenho zootécnico, microbiológicas e de qualidade de efluentes, o grau de sinergismo existente entre perifíton e bioflocos no cultivo intensivo de juvenis de tilápia do Nilo.

2.2 Objetivos específicos

- . (1) Quantificar a contribuição dos bioflocos no crescimento de tilápias do Nilo, *Oreochromis niloticus*, cultivadas em tanques;
- . (2) Avaliar os efeitos de diferentes níveis de arraçoamento sobre o crescimento dos peixes e sobre a produtividade do bioflocos (BFT);
- . (3) Avaliar os efeitos da adição de melação sobre o crescimento dos peixes e sobre a produtividade do bioflocos (BFT);
- . (4) Avaliar os efeitos da presença de substratos submersos sobre o crescimento dos peixes;
- . (5) Avaliar os efeitos dos níveis de arraçoamento, da adição de melação e presença de substratos submersos sobre a qualidade da água dos tanques de cultivo.

CAPÍTULO 2

REMOÇÃO DE AMÔNIA E NITRITO DO CULTIVO DA TILÁPIA NILÓTICA EM SISTEMA INTEGRADO BIOFLOCOS-PERIFÍTON

RESUMO - Uma solução para aumentar a produtividade aquícola de modo sustentável é incrementar o aproveitamento de alimentos naturais presentes nos tanques de cultivo, tais como bioflocos e perifíton. Além de possuírem valor nutricional, os bioflocos e perifíton são também agentes sumidouros de nitrogênio e de compostos tóxicos na água. O presente trabalho teve por objetivo comparar a remoção de amônia e nitrito da água entre diferentes sistemas de cultivo e verificar se há algum benefício no desempenho zootécnico dos animais cultivados. O delineamento experimental do trabalho foi em arranjo fatorial 2 x 2. Os fatores avaliados foram bioflocos e perifíton, em dois níveis cada um, ausência e presença. Desse modo, foram constituídos os quatro tratamentos do trabalho (Controle, Perifíton, Bioflocos e Biofíton). Os tanques dos tratamentos Controle e Perifíton apresentaram maiores concentrações de NAT quando comparados aos tratamentos BFT e Biofíton. A concentração de fósforo reativo (PO_4^{3-}) na água foi maior nos tanques dos tratamentos que receberam bioflocos (BFT e Biofíton), quando comparado aos tanques dos tratamentos nos quais os bioflocos estavam ausentes (Controle e Perifíton). O fator de conversão alimentar (FCA) dos peixes foi melhor nos tanques nos quais os bioflocos estavam presentes, quando comparado aos tanques sem bioflocos. Concluiu-se que o sistema de cultivo de peixes baseado em bioflocos remove significativamente mais amônia da água que os sistemas mais tradicionais, tais como em águas verdes e aqueles baseados no uso de substratos submersos (perifíton).

Palavras-chave: Aquicultura. *Oreochromis*. Qualidade de água.

ABSTRACT - One solution to increase aquaculture productivity in a sustainable way is to increase the use of natural food present in the culture tanks, such as bioflocos and periphyton. Besides their nutritional value, bioflocos and periphyton are also agents remover of nitrogen and toxic compounds in water. This study aimed to compare the removal of ammonia and nitrite in the water between different cropping systems and check whether there is any benefit on the performance of farmed animals. The experimental design of the study was a factorial 2 x 2. The factors evaluated were bioflocos and periphyton at two levels each, absence and

presence. Thus, the work were consisted of four treatments (Control, Periphyton, Bioflocos and Biofiton). Tanks and Control of Periphyton treatments showed higher concentrations of NAT compared to BFT and Biofiton treatments. The concentration of reactive phosphorus (PO_4^{3-}) in water was greater in treatments receiving tanks bioflocos (BFT and Biofiton) compared to tanks of treatments in which bioflocos were absent (Control and Periphyton). The feed conversion factor (FCA) was better in fish tanks in which bioflocos were present, compared to tanks without bioflocos. It was concluded that the system of cultivation of fish based on bioflocos removes significantly more ammonia water than more traditional systems such as green waters and those based on the use of submerged substrates (periphyton).

Key-words: Aquaculture. *Oreochromis*. Water quality.

1 INTRODUÇÃO

O uso de estratégias alimentares inadequadas, com o fornecimento excessivo de ração aos animais cultivados, sem a devida consideração à capacidade de suporte dos tanques, não é raro em piscicultura intensiva. Nessa situação, há grande acúmulo de resíduos orgânicos nas unidades produtivas, oriundos de sobras de ração e, principalmente, das fezes dos peixes cultivados (CYRINO *et al.*, 2010). Guo *et al.* (2009) avaliam que apenas 30% de todo o fósforo e nitrogênio presentes nas rações artificiais ofertadas aos peixes são recuperados na biomassa despescada. Green, Brandon e Hardy (2002) afirmam que ao final do cultivo, a liberação dos efluentes da piscicultura nos corpos de água receptores provoca eutrofização, com consequências danosas ao meio ambiente. Uma solução para aumentar a produtividade aquícola de modo sustentável é incrementar o aproveitamento de alimentos naturais, tais como bioflocos e perifiton. Além do valor nutricional, os bioflocos e perifiton são também agentes sumidouros de nitrogênio, fósforo e de compostos tóxicos presentes na água (ASADUZZAMAN *et al.*, 2008; AZIM; LITTLE, 2008).

A aquicultura realizada segundo a tecnologia dos bioflocos (BFT) consiste na manipulação da comunidade microbiana do tanque de cultivo pelo ajuste da relação C: N da água (CRAB *et al.*, 2009; RAY; DILLON; LOTZ, 2011). O sistema BFT propicia o cultivo de animais aquáticos em altas densidades de estocagem de uma forma sustentável. Isso ocorre porque a imobilização da amônia pelas bactérias heterotróficas dos bioflocos ocorre mais rapidamente que a realizada pelo processo de nitrificação (CRAB *et al.*, 2012). Estima-se que

a taxa de crescimento das bactérias heterotróficas é dez vezes maior que a verificada para as bactérias nitrificantes (HARI *et al.*, 2004; XU *et al.*, 2012; SCHVEITZER *et al.*, 2013a).

Já a aquicultura baseada no uso de substratos visa o desenvolvimento de biofilmes constituídos por algas e bactérias (perifiton), que se desenvolvem naturalmente sobre quaisquer substratos submersos presentes na água de cultivo (AZIM *et al.*, 2004; SCHRADER; GREEN; PERSCHBACHER, 2011). O perifiton pode ser utilizado como alimento de forma eficiente pela tilápia, contribuindo na nutrição desses animais (ASADUZZAMAN *et al.*, 2009). Além disso, os substratos colocados nas unidades de cultivo são colonizados por bactérias nitrificantes que, ao removerem amônia e nitrito da água, atuam como filtros biológicos (AZIM *et al.*, 2004; SCHVEITZER *et al.*, 2013b).

Apesar dos benefícios do sistema BFT de cultivo em relação ao aumento na produtividade e à remoção de amônia da água (RAY; DILLON; LOTZ, 2011; LUO *et al.*, 2013), há, em geral, acúmulo de nitrito na água nos tanques (LIU *et al.*, 2014; LUO *et al.*, 2014). O sistema baseado em substrato, por sua vez, apresenta baixa taxa de remoção de amônia na água, quando comparado ao sistema BFT (SCHVEITZER *et al.*, 2013b).

Com o intuito de obter sinergismo entre esses sistemas de cultivo, propõe-se o sistema integrado bioflocos-perifiton (biofiton), no qual coexistem bactérias heterotróficas e perifiton dentro das unidades produtivas. O sistema biofiton de cultivo de peixe busca uma maior eficiência na remoção de compostos indesejáveis presentes na água de cultivo, combinando a remoção de amônia realizada pelos bioflocos, com a remoção de nitrito praticada pelo perifiton.

O presente trabalho teve por objetivo comparar a remoção de amônia e nitrito da água entre diferentes sistemas de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo (em águas verdes, baseado em substratos, BFT e biofiton) e verificar se há algum benefício na combinação desses dois sistemas alternativos de cultivo, perifiton e bioflocos, no desempenho zootécnico dos animais cultivados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola – LCTA, pertencente ao Departamento de Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, localizado no *Campus* Universitário do Pici, Fortaleza, Ceará. Juvenis masculinizados de tilápia do Nilo, com peso corporal de $1,23 \pm 0,07$ g foram obtidos de um produtor da região e transportados até as instalações do laboratório.

Inicialmente, os peixes foram mantidos por 4 dias em um tanque circular de 1000 L para aclimação às condições laboratoriais. Nessa fase, os peixes foram alimentados 4 vezes ao dia, às 08:00h, 11:00h, 14:00h e 17:00h, com ração comercial balanceada para peixes tropicais onívoros, contendo 49,4% de proteína bruta, na taxa de 10% do peso vivo dia⁻¹.

No início do experimento, nove juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*; peso corporal = 1,63 ± 0,07 g), foram estocados em cada tanque circular de polietileno de 250 L. O experimento teve duração de dez semanas. Os peixes receberam rações comerciais fornecidas diariamente às 08:00h, 11:00h, 14:00h e 17:00h. Inicialmente foi ofertado ração na quantidade de 8,9% do peso vivo/dia, esse valor foi ajustado semanalmente ao longo do cultivo, terminando com 3,1% do peso vivo/dia. Durante o experimento foram utilizadas três rações, a primeira utilizada foi a ração farelada contendo 49,4% de proteína bruta; a segunda utilizada foi a ração com granulometria de 0,8-1,2 mm que continha 43,4% de proteína, por último foi utilizado ração com granulometria de 2-3 mm, esta continha 35,9% de proteína bruta.

Foram constituídos os seguintes tratamentos: Controle: sistema convencional de cultivo de juvenis de tilápia, em tanques com águas verdes, sem substratos submersos ou ajuste da relação C: N da água; Perifíton: sistema de cultivo baseado em substrato, em tanques com substratos submersos para perifíton, mas sem ajuste da relação C: N da água; Bioflocos: sistema bioflocos de cultivo, em tanques sem substratos submersos para perifíton, mas com ajuste da relação C: N da água para 15: 1 pela aplicação periódica de melaço em pó à água; Biofíton: sistema misto de cultivo (bioflocos + perifíton), em tanques com substratos submersos e ajuste da relação C: N para 15: 1 com melaço em pó. Cada tratamento teve cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Para os tratamentos que continham substratos submersos (Perifíton e Biofíton), foram utilizadas duas placas de polietileno interligadas transversalmente, dispostas verticalmente na coluna d'água e com uma área útil de 0,90 m² (135% da área do espelho d'água do tanque). Nos tratamentos Controle e Perifíton, houve aeração noturna da água dos tanques (18:00h – 06:00h), a partir da 3ª semana de cultivo, com a utilização de um compressor radial de 2,5 CV. Nos tanques dos tratamentos Bioflocos e Biofíton, houve aeração contínua (24 h) da água desde o 1º dia de cultivo até o final.

O delineamento experimental do trabalho foi em blocos ao acaso (DBC), em arranjo fatorial 2 x 2. Os fatores avaliados foram bioflocos e perifíton, em dois níveis cada um, ausência e presença. Desse modo, foram constituídos os quatro tratamentos do trabalho (Controle, Perifíton, Bioflocos e Biofíton), os quais foram distribuídos em cinco blocos com

quatro tanques cada um. O cálculo da quantidade de melaço em pó aplicado diariamente à água de cultivo, nos tanques dos tratamentos Bioflocos e Biofiton, foi feito de acordo com as orientações de Avnimelech (1999), utilizando-se das informações do manejo alimentar (% proteína bruta da ração e quantidade de ração ofertada diariamente). Não houve troca de água em nenhum dos tanques de cultivo durante todo o período experimental, apenas reposição de água para manutenção do nível inicial.

Para caracterização físico-química da água de cultivo, as seguintes variáveis foram monitoradas sistematicamente: pH da água (medidor de pH mPA210 - MS Tecnopon®), transparência da água (disco de Secchi), temperatura e condutividade elétrica (condutivímetro CD-850), diariamente; nitrogênio amoniacal total (NAT; método do indofenol) e oxigênio dissolvido (OD; Oxímetro 55 - YSI), semanalmente; nitrito (método da sulfanilamida), nitrato (método da coluna redutora de Cd), alcalinidade total (titulação com solução-padrão de H₂SO₄), dureza total (titulação com solução-padrão de EDTA), fósforo reativo (método do azul de molibdênio), matéria orgânica (método do oxigênio consumido) e produtividade primária fitoplanctônica (método dos frascos claro e escuro), quinzenalmente. O cálculo da concentração de NH₃ foi feito pela aplicação dos valores de NAT, pH e temperatura da água à Fórmula de Emerson (El-Shafai *et al.*, 2004). Essas determinações de qualidade de água foram realizadas de acordo com as metodologias descritas pela APHA (1999). Na 9ª semana experimental, foi realizado o monitoramento nictimeral (24 h) da concentração de OD, além de pH e temperatura, das águas de cultivo. Para isso, amostras de água dos tanques de cultivo foram coletadas nos seguintes horários: 08:00, 12:00, 16:00, 20:00, 24:00, 04:00 e 08:00h (sete horários de coleta).

O desempenho zootécnico dos juvenis de tilápia foi avaliado pela observação dos seguintes indicadores: sobrevivência, peso corporal final, ganho em peso semanal, taxa de crescimento específico ($TCE = [\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})]/\text{dias de cultivo} \times 100$), produtividade de pescado, fator de conversão alimentar ($FCA = \text{ração consumida}/\text{ganho em peso}$) e taxa de eficiência proteica ($TEP = \text{ganho em peso}/\text{proteína consumida}$).

As variáveis de qualidade de água e desempenho produtivo foram analisadas através de ANOVA bifatorial para experimentos em blocos casualizados. Quando houve diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas duas a duas através do teste de Tukey (ZAR, 1996). As pressuposições de distribuição normal e de homogeneidade de variância foram checadas antes das análises. Os dados em porcentagem e razão foram analisados após transformação para arcosseno. O nível de significância de 5% foi adotado em

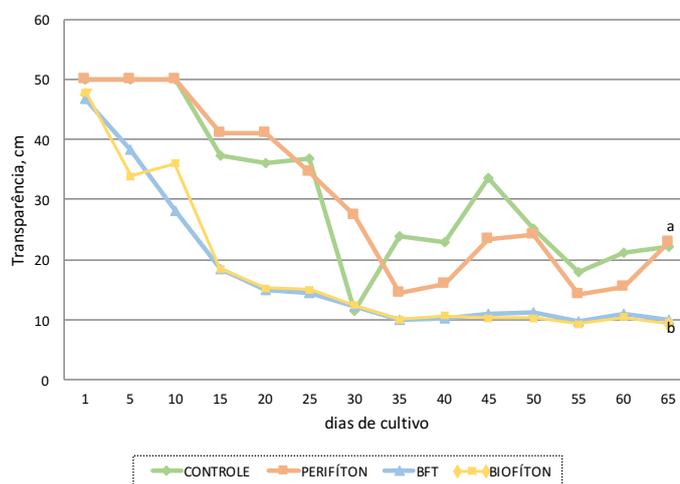
todos os testes estatísticos aplicados. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares SPSS 15.0 for Windows e Excel 2010.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade de água

Ao final de 65 dias de cultivo, os tanques dos tratamentos Controle e Perifiton apresentaram uma maior ($p < 0,05$) transparência da água, quando comparados aos tanques dos tratamentos BFT e Biofíton (Figura 1). Já no dia 15º do cultivo, a transparência da água nos tanques BFT e Biofíton atingiu valores em torno de 20 cm, chegando a 10 cm no 35º dia do cultivo. Nos tanques dos tratamentos Controle e Perifiton, a transparência da água estava em torno de 40 cm, no 15º dia de cultivo, atingido valores menores que 10 cm no 35º dia do cultivo, assim permanecendo até o final do experimento.

Figura 1. Transparência da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15:1 para o desenvolvimento de bioflocos. Controle: bioflocos e perifíton ausentes. Perifíton: bioflocos ausente e perifíton presente. BFT: bioflocos presente e perifíton ausente. Biofíton: bioflocos e perifíton presentes. Letras diferentes na última análise indicam diferença estatística ($P < 0,05$).



Nos tanques dos tratamentos Controle e Perifíton, a redução da transparência da água foi causada principalmente pelo aumento da biomassa fitoplanctônica, que gradualmente se elevou ao longo do cultivo, assim como por porções do perifíton que se destacaram das estruturas submersas. Já a rápida diminuição da transparência da água observada nos tanques BFT e Biofíton foi ocasionada pela elevada concentração de sólidos em suspensão água, constituídos, na maior parte, de matéria orgânica e bioflocos. Há geralmente uma relação

inversa entre o desenvolvimento fitoplanctônico e bacteriano, sendo que os bioflocos podem crescer até 40 vezes mais que o fitoplâncton (AVNIMELECH, 1999). Resultados semelhantes a esses foram observados por Schrader *et al.* (2011), que verificaram que a transparência da água de cultivo foi rapidamente reduzida nos tanques BFT. No presente trabalho, a elevada turbidez da água dos tanques BFT e Biofíton não prejudicou o desempenho zootécnico dos peixes cultivados (Tabela 3).

Nos tanques onde o bioflocos estavam ausentes (Controle e Perifíton), o pH da água de cultivo foi maior ($p < 0,05$) do que nos tanques onde os bioflocos estavam presentes (BFT e Biofíton; Tabela 1). A redução do pH da água nos tanques BFT e Biofíton pode ser explicada pela redução da produtividade fitoplanctônica nesses tratamentos. Nos tanques BFT e Biofíton, havia uma predominância de organismos heterotróficos no meio de cultivo que, durante o processo de respiração, liberavam CO_2 na água, promovendo sua acidificação (FURTADO; POERSCH; WASILESKY, 2011). Embora menor, o pH da água nos tanques BFT e Biofíton se mantiveram dentro da faixa de adequação para juvenis de tilápia. A condutividade elétrica da água foi maior ($p < 0,05$) nos tanques em que havia bioflocos quando comparado aos tanques sem bioflocos, indicativo da maior concentração de matéria orgânica da água. A condutividade elétrica nos tanques com bioflocos não ultrapassou o limite máximo para a aquicultura que é de $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (BOYD; TUCKER, 1998).

Tabela 1 - pH e condutividade elétrica da água de cultivo de tanques de polietileno de 250 L estocados com juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = $1,63 \pm 0,07$ g), providos ou não com estruturas submersas para desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos (média \pm d.p.; $n = 5$).

Variável	Bioflocos	Perifíton	
		ausente	presente
pH	ausentes	$8,66 \pm 0,56$ A ¹	$8,73 \pm 0,49$ A
	presentes	$8,47 \pm 0,26$ B	$8,48 \pm 0,27$ B
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	ausentes	$589,3 \pm 84,9$ B	$583,4 \pm 59,9$ B
	presentes	$793,4 \pm 149,3$ A	$781,3 \pm 114,1$ A
Probabilidade da ANOVA bifatorial			
Fator		pH	Condutividade
Perifíton		ns ²	ns
Bioflocos		<0,05	<0,001
Perifíton x Bioflocos		ns	ns

¹ Para cada variável, diferentes letras maiúsculas na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, indica ausência de significância estatística entre as médias ($P > 0,05$); ² Não significativo ($P > 0,05$)

Os tanques dos tratamentos Controle e Perifíton (bioflocos ausentes) apresentaram maiores concentrações de NAT quando comparados aos tratamentos BFT e Biofíton

(bioflocos presentes; Tabela 2). As menores concentrações de NAT nos tanques com bioflocos demonstra que a biomassa bacteriana foi mais eficiente que o fitoplâncton na remoção de compostos nitrogenados da água de cultivo. Resultados semelhantes aos do presente trabalho foram obtidos por Avnimelech e Kochba (2009). Não houve diferença entre os tanques dos tratamentos BFT e Biofíton para as concentrações de NAT da água. Esse resultado indica que a maior presença do perifíton nos tanques não aumentou a remoção de compostos nitrogenados da água. Luo *et al.* (2013) verificaram que houve redução nas concentrações de amônia da água quando se estimulava o crescimento de bioflocos. Esses autores observaram ainda que houve uma redução simultânea nas concentrações de amônia e nitrato na água, mostrando que houve imobilização bacteriana de ambos os compostos. No presente trabalho, a concentração de amônia não ionizável (NH_3) foi maior ($p < 0,05$) nos tanques dos tratamentos nos quais os bioflocos estavam ausentes.

Não houve diferença significativa para a concentração de nitrito (NO_2^-) na água para ambos os fatores analisados (perifíton e bioflocos; Tabela 2). Esse resultado é corroborado pelas observações de Liu *et al.* (2014) e Luo *et al.* (2014). Esses autores constataram que houve acúmulo de nitrito nos tanques BFT ao longo do cultivo. Diferentemente do observado por Ray, Dillon e Lotz (2011) e Crab *et al.* (2009), os bioflocos dos tanques BFT e Biofíton não foram eficientes na remoção de nitrito da água. Em relação à concentração de nitrato (NO_3^-), houve diferença significativa para o fator bioflocos (ausência ou presença), sendo que os tanques dos tratamentos que desenvolveram bioflocos (BFT e Biofíton) apresentaram uma maior concentração de NO_3^- em relação aos tanques nos quais os bioflocos estavam ausentes (Controle e Perifíton). Resultados semelhantes foram obtidos por Krummenauer *et al.* 2012, que verificaram acúmulo de nitrito e nitrato na água durante o cultivo de camarões em sistema com bioflocos. Como o desenvolvimento de bioflocos na água geralmente inibe o processo de nitrificação, já que há competição entre esses dois grupos de bactérias, torna-se difícil explicar a maior concentração de nitrato nos tanques com bioflocos.

Não houve diferença significativa para concentração de NO_3^- na água em relação à ausência ou à presença de perifíton nos tanques. Esses resultados indicam que o perifíton não foi eficiente na remoção de nitrato da água. Embora o perifíton possa agir como filtro biológico do sistema e remover compostos nitrogenados da água (AZIM *et al.*, 2004), em sistemas intensivos de cultivo, onde altas concentrações desses compostos são incorporadas diariamente ao sistema, através do arraçoamento, o perifíton provavelmente não será capaz de absorver tamanha carga de nitrato. Isso mostra que os sistemas de cultivo de peixes baseados em substratos têm uma capacidade limitada para remover elevadas concentrações de

compostos nitrogenados da água.

Tabela 2 - Qualidade de água de tanques de cultivo de polietileno de 250 L estocados com juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = $1,63 \pm 0,07$ g), providos ou não com estruturas submersas para desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos (média \pm d.p.; n = 5).

Variável	Bioflocos	Perifíton								
		ausente	presente							
NAT ¹ (mg L ⁻¹)	ausentes	0,79 \pm 0,20 A ²	0,65 \pm 0,21 A							
	presentes	0,37 \pm 0,12 B	0,35 \pm 0,19 B							
NH ₃ (mg L ⁻¹)	ausente	0,41 \pm 0,26 A	0,40 \pm 0,23 A							
	presente	0,12 \pm 0,06 B	0,07 \pm 0,05 B							
Nitrito (mg L ⁻¹)	ausente	0,05 \pm 0,08	0,03 \pm 0,04							
	presente	0,05 \pm 0,07	0,06 \pm 0,08							
Nitrato (mg L ⁻¹)	ausente	0,35 \pm 0,26 A	0,36 \pm 0,25 A							
	presente	1,18 \pm 0,18 B	1,43 \pm 0,31 B							
Fósforo reativo (mg L ⁻¹)	ausente	0,28 \pm 0,14 B	0,15 \pm 0,14 B							
	presente	0,61 \pm 0,07 A	0,57 \pm 0,15 A							
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	ausente	7,06 \pm 1,76 B	6,86 \pm 1,55 B							
	presente	7,83 \pm 0,75 A	7,85 \pm 0,69 A							
Alcalinidade total (mg L ⁻¹ eq. CaCO ₃)	ausente	117,31 \pm 15,29 A	122,3 \pm 17,77 A							
	presente	76,22 \pm 1,46 B	76,8 \pm 2,25 B							
Dureza total (mg L ⁻¹ eq. CaCO ₃)	ausente	122,81 \pm 22,54 B	124,35 \pm 18,18 B							
	presente	299,44 \pm 48,13 A	293,77 \pm 26,72 A							
Matéria Orgânica (mg L ⁻¹)	ausente	211,5 \pm 33,3 A	204,4 \pm 43,3 A							
	presente	349,9 \pm 38,2 B	349,0 \pm 46,3 B							
Gás Sulfídrico (mg L ⁻¹)	ausente	0,80 \pm 0,58	1,00 \pm 0,47							
	presente	1,14 \pm 0,03	0,93 \pm 0,38							
Probabilidade da ANOVA bifatorial										
Fator	NAT	Nitri.	NH ₃	Nitra.	Fósf.	Oxig.	Alcal.	Durez	M.O.	H ₂ S
Perifíton	ns ³	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bioflocos	<0,05	ns	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	ns
Per. x Bio.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹ Nitrogênio amoniacal total; ² Para cada variável, diferentes letras maiúsculas na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey (P<0,05); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, indica ausência de significância estatística entre as médias (P>0,05); ³ Não significativo (P>0,05)

A concentração de fósforo reativo (PO₄³⁻) na água foi maior (p<0,05) nos tanques dos tratamentos que receberam bioflocos (BFT e Biofíton), quando comparado aos tanques dos tratamentos nos quais os bioflocos estavam ausentes (Controle e Perifíton). A maior concentração de fósforo reativo na água nos tanques com bioflocos sugere que houve uma maior mineralização da matéria orgânica, quando comparado aos tanques Controle e

Perifíton. Além de competir com o fitoplâncton por nutrientes, os bioflocos, por reduzirem a quantidade de luz dentro da água, diminuem a absorção de fósforo da água pelo fitoplâncton. Furtado *et al.* (2011) verificaram que os bioflocos foram ineficientes na remoção de fosfatos da água quando estes estavam presentes em grandes quantidades. Resultados contrários a esses foram obtidos por Ray *et al.* (2011), que verificaram redução na concentração de fosfato na água, nos tanques com bioflocos.

Houve diferença significativa para a concentração de oxigênio dissolvido (OD) na água entre os tanques dos tratamentos onde o bioflocos estavam ausentes ou presentes, sendo que nos tanques onde o bioflocos estavam presentes (BFT e Biofíton), as concentrações de OD foram maiores (Tabela 2). Enquanto que os tanques dos tratamentos Controle e Perifíton receberam aeração apenas noturna (18:00 às 06:00 horas), os tanques dos tratamentos BFT e Biofíton receberam aeração forçada de forma contínua. Dessa forma, os tanques Controle e Perifíton ficavam diariamente, das 06:00 às 18:00 h, sujeitos às alterações na concentração de oxigênio dissolvido causadas pela fotossíntese fitoplanctônica. Por outro lado, não houve diferença significativa para a concentração de OD na água em relação à presença ou ausência de perifíton no tanque.

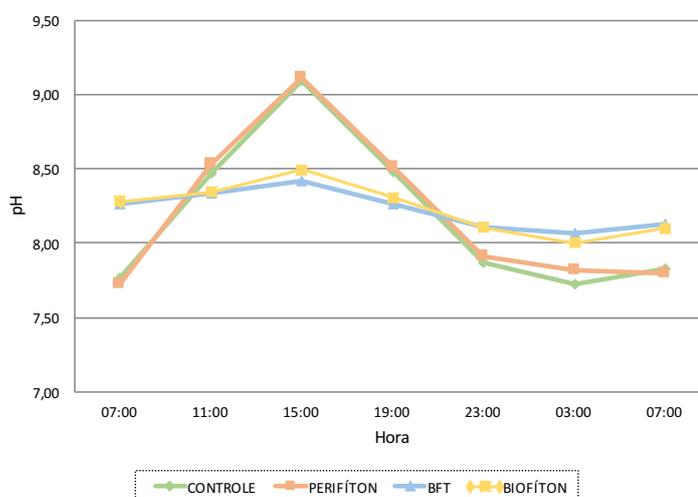
A alcalinidade total da água (Tabela 2) foi maior ($p < 0,05$) nos tanques onde os bioflocos estavam ausentes (Controle e Perifíton), quando comparados aos tanques nos quais os bioflocos estavam presentes (BFT e Biofíton). Nos sistemas de cultivo baseados em bioflocos, há um aumento no número de organismos heterotróficos e uma diminuição no número dos autotróficos nos tanques (AZIM *et al.*, 2008). Com isso, há, nos tanques com bioflocos, uma predominância dos processos de respiração e decomposição, em detrimento da fotossíntese, com conseqüente acidificação e redução da alcalinidade da água. Para os sistemas de cultivo baseados em bioflocos, sugere-se a calagem da água de cultivo quando sua alcalinidade total cai abaixo de $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ eq. CaCO}_3$. Nesse sentido, Furtado, Poersch, Wasielesky, (2011) concluíram que o hidróxido de cálcio e bicarbonato de sódio são compostos eficientes para aumentar a alcalinidade da água nos sistemas BFT, ao passo que o carbonato de sódio não o é. No presente trabalho, não se verificou diferença significativa para a alcalinidade total da água entre os tanques com ou sem perifíton.

A dureza total da água de cultivo foi significativamente maior nos tanques nos quais os bioflocos estavam presentes (BFT e Biofíton), em relação aos tanques nos quais os bioflocos estavam ausentes (Controle e Perifíton; Tabela 2). O melaço que foi aplicado aos tanques BFT e Biofíton contém cálcio na sua composição (ROSTAGNO, 2011), explicando desse modo a maior dureza total da água naqueles tanques. Os tanques com bioflocos (BFT e

Biofíton) apresentaram maiores concentrações de matéria orgânica na água ($p < 0,05$) do que os tanques sem bioflocos (Controle e Perifíton). Com o desenvolvimento dos bioflocos, há um aumento exponencial na quantidade de matéria orgânica presente nos tanques de cultivo (ASADUZZAMAN *et al.*, 2008). Nesses tanques, busca-se manter a matéria orgânica suspensa na água a partir da intensa aeração fornecida aos tanques (CRAB *et al.*, 2012).

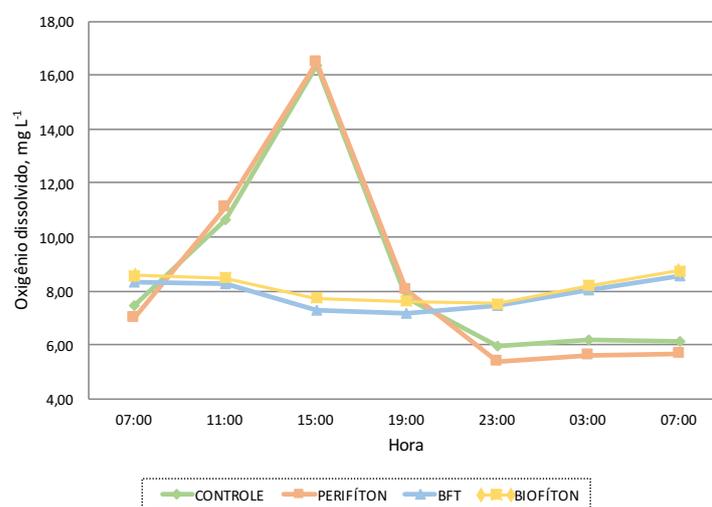
Durante o monitoramento nictimeral, os valores de pH da água para os tanques dos tratamentos BFT e Biofíton se mantiveram estáveis em todos os horários (Figura 2). Para esses dois tratamentos, o pH da água variou de um mínimo de aproximadamente 8, no horário de 03:00h, até um valor máximo próximo a 8,5, no horário de 15:00h. Nesse caso, portanto, a amplitude de variação para os valores de pH foi de 0,50. Já os valores de pH da água dos tanques dos tratamentos Controle e Perifíton apresentaram uma variação mais acentuada quando comparada aos demais tratamentos (BFT e Biofíton). Os valores de pH da água dos tanques Controle e Perifíton variaram de 7,7, no horário de 03:00h, até um máximo de 9,1, no horário de 15:00h. Nesse caso, a amplitude de variação do pH da água foi de 1,4. Esses resultados mostram que o fitoplâncton interfere de forma mais intensa e direta no pH da água do que a atividade das bactérias heterotróficas, que são predominantes nos sistemas baseados em bioflocos. Com isso, é esperado uma maior estabilidade físico-química da água de cultivo nos sistemas BFT e Biofíton do que nos sistemas mais convencionais (em águas verdes e baseados em substratos).

Figura 2. pH nictimeral da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, providos ou não de estruturas submersas para desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15:1 para o desenvolvimento de bioflocos. Controle: bioflocos e perifíton ausentes. Perifíton: bioflocos ausente e perifíton presente. BFT: bioflocos presente e perifíton ausente. Biofíton: bioflocos e perifíton presentes



A variação nictimeral da concentração de oxigênio dissolvido na água dos tanques dos tratamentos Controle e Perifíton foi muito maior do que a observada nos tanques dos tratamentos BFT e Biofíton (Figura 3). Nos tanques dos tratamentos Controle e Perifíton, a concentração de OD apresentou um valor máximo no horário de 15:00h, com valores acima de 16 mg L^{-1} , e um valor mínimo entre os horários de 23:00 e 07:00h, onde concentrações tão baixas quanto 6 mg L^{-1} foram verificadas. Nos tanques dos tratamentos BFT e Biofíton, a concentração de OD na água ficou em torno de 8 mg L^{-1} , em todos os horários. A aeração artificial contínua da água proporcionou uma maior estabilidade na concentração de oxigênio dissolvido quando comparado ao sistema misto, ou seja, oxigenação natural, a partir da liberação de oxigênio pelo fitoplâncton, e aeração noturna. Entretanto, deve-se atentar para concentração de sólidos sedimentáveis na água nos sistemas de cultivo baseados em bioflocos, pois níveis muito elevados de bioflocos na água podem causar forte depleção no oxigênio dissolvido (SCHVEITZER *et al.*, 2013a).

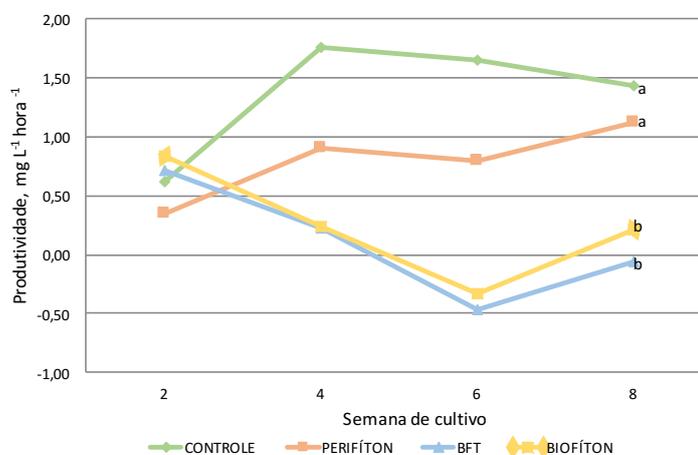
Figura 3. Oxigênio dissolvido nictimeral da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, providos ou não de estruturas submersas para desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15:1 para o desenvolvimento de bioflocos. Controle: bioflocos e perifíton ausentes. Perifíton: bioflocos ausente e perifíton presente. BFT: bioflocos presente e perifíton ausente. Biofíton: bioflocos e perifíton presentes



Após 8 semanas de cultivo, foi observado diferença significativa entre a produtividade primária fitoplanctônica líquida dos tanques dos tratamentos Controle e Perifíton, quando comparados aos tratamentos BFT e Biofíton (Figura 4). Os tanques Controle e Perifíton apresentaram uma maior produtividade primária líquida ($p < 0,05$) do que a observada nos tratamentos BFT e Biofíton (Figura 4). A partir da 4ª semana de cultivo, os tanques dos tratamentos BFT e Biofíton apresentaram produtividade primária líquida menor que 0 mg L^{-1}

hora⁻¹. Desse modo, a quarta semana de cultivo pode ser considerada o momento a partir do qual os sistemas BFT e Biofiton estavam “maduros”. Quando a produtividade primária do fitoplâncton passa a ser negativa, o meio de cultivo passa a ser consumidor de oxigênio dissolvido (HARI *et al.*, 2004).

Figura 4. Produtividade primária líquida da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, providos ou não de estruturas submersas para desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15:1 para o desenvolvimento de bioflocos. Controle: bioflocos e perifíton ausentes. Perifíton: bioflocos ausente e perifíton presente. BFT: bioflocos presente e perifíton ausente. Biofiton: bioflocos e perifíton presentes. Letras diferentes na última análise indicam diferença estatística (P<0,05)



3.2 Desempenho zootécnico

Não houve diferença significativa para sobrevivência dos peixes cultivados entre os diferentes tratamentos (Controle, Perifíton, BFT e Biofiton; Tabela 3). O peso corporal final dos peixes não diferiu de modo significativo entre os tratamentos. De igual modo, a taxa de crescimento específico (TCE) dos peixes cultivados também não diferiu significativamente entre os tratamentos. No presente trabalho, não houve diferença significativa para produtividade do pescado entre os diferentes tratamentos. Esses resultados diferem dos obtidos por Schweitzer *et al.* (2013b), que observaram efeito positivo dos substratos submersos e dos bioflocos no cultivo dos camarões, melhorando a sobrevivência e o crescimento dos indivíduos; e por Azim e Little (2008), onde as tilápias cultivadas na presença de bioflocos apresentaram um melhor crescimento corporal.

No presente trabalho, os esperados efeitos positivos dos sistemas BFT e Biofítton sobre o crescimento dos peixes não foram observados devido, provavelmente, ao manejo alimentar não-restritivo que foi empregado na alimentação dos animais, que supriu todas as exigências nutricionais dos peixes cultivados, e a rusticidade da tilápia nilótica, que possibilita ganho em peso corporal satisfatório mesmo em condições inadequadas de qualidade de água. As vantagens zootécnicas do sistema BFT de cultivo de peixes se tornam mais evidentes quando se faz alguma restrição alimentar (menor uso de rações artificiais) ou se emprega altíssimas densidades de estocagem (sistemas super-intensivos de cultivo). Neste trabalho, entretanto, nenhuma dessas duas situações estavam presentes

Tabela 3. Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (peso corporal = 1,63 ± 0,07g) estocados por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton e que tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15:1 para o desenvolvimento de bioflocos (média ± d.p.; n = 5).

Variável	Bioflocos	Perifíton	
		ausente	presente
Sobrevivência (%)	ausentes	91,11 ± 4,97	95,56 ± 6,09
	presentes	91,11 ± 9,30	84,44 ± 6,09
Peso corporal final (g)	ausente	33,55 ± 4,76	35,24 ± 3,79
	presente	36,04 ± 2,09	36,96 ± 3,24
TCE ¹ (% dia ⁻¹)	ausente	4,33 ± 0,21	4,36 ± 0,17
	presente	4,43 ± 0,12	4,47 ± 0,10
Produtividade de pescado (kg m ⁻³)	ausente	1,14 ± 0,16	1,26 ± 0,07
	presente	1,23 ± 0,09	1,16 ± 0,04
FCA ²	ausente	0,90 ± 0,12 A ⁴	0,82 ± 0,02 A
	presente	0,78 ± 0,04 B	0,80 ± 0,02 B
TEP ³	ausente	3,36 ± 0,39 B	3,63 ± 0,09 B
	presente	3,78 ± 0,22 A	3,86 ± 0,36 A

Probabilidade da ANOVA bifatorial

Fator	Peso	Produt.	Sobrev.	FCA	TEP	TCE
Perifíton	ns ⁵	ns	ns	ns	ns	ns
Bioflocos	ns	ns	ns	<0,05	<0,05	ns
Perifíton x Bioflocos	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹ Taxa de crescimento específico (TCE) = [(Ln peso final - Ln peso inicial)/dias de cultivo] x 100; ² Taxa de conversão alimentar (FCA) = ração ofertada (g)/ganho em peso (g); ³ Taxa de eficiência proteica (TEP) = ganho em peso (g)/proteína consumida (g); ⁴ Para cada variável, diferentes letras maiúsculas na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey (P<0,05); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, indica ausência de significância estatística entre as médias (P>0,05); ⁵ Não significativo (P>0,05)

O fator de conversão alimentar (FCA) dos peixes foi melhor ($p < 0,05$) nos tanques nos quais os bioflocos estavam presentes (BFT e Biofiton), quando comparado aos tanques sem bioflocos (Controle e Perifiton). Em todos os tratamentos, os resultados de FCA foram menores do que 1. Esses resultados sugerem que parte das exigências nutricionais dos peixes dos tratamentos BFT e Biofiton foram atendidas pela ingestão de bioflocos. Esse fato também foi observado nos trabalhos de Asaduzzaman *et al.* (2009) e Luo *et al.* (2014).

A taxa de eficiência proteica (TEP) foi maior ($p > 0,05$) nos tanques nos quais os bioflocos foram estimulados (BFT e Biofiton). Maiores taxas de eficiência proteica resultam em detritos orgânicos (fezes) com menores concentrações de proteína. Como consequência, haverá menores concentrações de NAT liberadas para o meio de cultivo. Desse modo, a tecnologia de bioflocos pode ser uma estratégia sustentável para o cultivo de peixes, pois reduz os custos com a alimentação dos animais, bem como causa menores impactos ambientais (XU *et al.*, 2012).

Concluiu-se que o sistema de cultivo de peixes baseado em bioflocos remove significativamente mais amônia da água que os sistemas mais tradicionais de cultivo, tais como em águas verdes e aqueles baseados no uso de substratos submersos (perifiton). Com isso, o piscicultor poderá adotar, de forma segura, maiores densidades de estocagem nas unidades BFT de cultivo. Entretanto, o esperado sinergismo entre os bioflocos e o perifiton, na melhoria da qualidade da água de cultivo e do desempenho zootécnico dos juvenis de tilápia, não foi observado. Portanto, a integração dos sistemas de cultivo bioflocos e perifiton (sistema biofiton de cultivo), nas condições existentes no presente trabalho, não mostrou nenhuma vantagem em relação ao emprego do sistema BFT “puro”.

REFERÊNCIAS

- APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and waste water**. 20th ed. New York: American Public Health Association, 1999. 1325 p.
- ASADUZZAMAN, M.; WAHAB, M. A.; VERDEGEM, M. C. J.; HUQUE, S.; SALAM, M.A.; AZIM, M.E. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 280, n. 1-4, p. 117-123, 2008.
- ASADUZZAMAN, M.; WAHAB, M.A.; VERDEGEM, M.C.J.; BENERJEE, S.; AKTER T.; HASAN. M.M.; AZIM M.E. Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 287, n. 3-4, p. 371-380, 2009.
- AVNIMELECH, Y. Carbon and nitrogen ratio as a control element in Aquaculture systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 176, n. 3-4, p. 227–235, 1999.
- AVNIMELECH, Y. KOCHBA, M. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using ¹⁵N tracing. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 287, n. 1-2, p. 163-168, 2009.
- AZIM, M.E.; WAHAB, M.A.; BISWAS, P.K.; ASAEDA, T.; FUJINO, T.; VERDEGEM, M.C.J. The effect of periphyton substrate density on production in freshwater polyculture ponds. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 232, n. 1-4, p. 441–453, 2004.
- AZIM, M. E., LITTLE, D. C. BRON, J. E. Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 9, p. 3590-3599, 2008.
- 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**, Amsterdam, v. 283, n.1-4, p. 29–35, 2008.
- BOYD, C. E., TUCKER, C. S. **Pond Aquaculture Water Quality Management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. 700p.
- CRAB, R.; KOCHVA, M.; VERSTRAETE, W.; AVNIMELECH, Y. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 40, n. 3, p. 105-112, 2009.
- CRAB, R. DEFROIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 356-357, p. 351-356, 2012.
- CYRINO, J. E. P.; BICUDO, A.J.A.; SADO, R.Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J.K. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 68-87, 2010.

EL-SHAFAI, S.A.; EL-GOHARY, F.A. NASR, F.A.; STEEN, N.P.; GIJZEN, H.J. Chronic ammonia toxicity to duckweed-fed tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 232, n. 1-4, p. 117-127, 2004.

FURTADO, P. S. POERSCH, L. H. WASIELESKY, W. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 321, n. 1-2, p. 130-135, 2011.

GREEN, J.A.; BRANDON, E.L.; HARDY, R.H. Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 2. Production-scale study. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 8, n. 4, p.291-298, 2002.

GUO, L.; LI, Z.; XIE, P.; NI, L. Assessment effects of cage culture on nitrogen and phosphorus dynamics in relation to fallowing in a shallow lake in China. **Aquaculture International**, London, v. 17, n. 3, p. 229-241, 2009.

HARI, B.; KURUP, B.M., VARGHESE, J.T.; SCHRAMA, J.W.; VERDEGEM, M.C.J. Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 241, n. 1-4, p. 179-194, 2004.

KRUMMENAUER, D.; SEIFERT, C.A.; POERSCH, L.H.; FOES, G.K.; LARA, G.R.; WASILIELESKY, W. Cultivo de camarões marinhos em sistema de bioflocos: análise da reutilização da água. **Atlântica**, Rio Grande, v. 34, n. 2, p. 103-111, 2012.

LIU, L.; HU, Z.; DAI, X.; AVNIMELECH, Y. Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 418-419, p. 79-86, 2014.

LUO, G.; AVNIMELECH, Y. PAN, Y.; TAN, H. Inorganic nitrogen dynamics in sequencing batch reactors using biofloc technology to treat aquaculture sludge. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 52, p. 73-79, 2013.

LUO, G.; GAO, Q.; WANG, C.; LIU, 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**, Amsterdam, v. 422-42, p. 1-7, 2014.

RAY, A. J., DILLON, K. S., LOTZ, J. M. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 45, n. 3, p. 127-136, 2011.

ROSTAGNO, H. S. **Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; COSTODIO, P.F.S.; SANTO, C.M.E.; ARANA, L.V.; SEIFFERT, W.Q.; ANDREATTA, E.R. Effect of different biofloc levels on microbial

activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 56, p. 59-70, 2013a.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; BALOI, M.F.; COSTODIO, P.F.S.; ARANA, L.V.; SEIFFERT, W.Q.; ANDREATTA, E.R. Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 54, p. 93-103, 2013b.

SCHRADER, K. K.; GREEN, B.W.; PERSCHBACHER, P.W. Development of phytoplankton communities and common off-flavors in a biofloc technology system used for the culture of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 45, n. 3, p. 118-126, 2011.

XU, W.; PAN, L.; ZHAO, D.; HUANG, J. Preliminary investigation into the contribution of bioflocs on protein nutrition of *Litopenaeus vannamei* fed with different dietary protein levels in zero-water exchange culture tanks. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 350-353, p. 147-153, 2012.

ZAR J. H. **Biostatistical Analysis**. Prentice-Hall: Upper Saddle River. NJ, USA. 1996. 662 p.

CAPÍTULO 3

INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS PERIFÍTON E BIOFLOCOS NO CULTIVO INTENSIVO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO

RESUMO – A diminuição na oferta de alimento artificial na piscicultura sem prejuízo zootécnico pode ser conseguida através do aumento da oferta de alimento natural aos animais cultivados. Nesse sentido, as alternativas mais promissoras são o uso de substratos artificiais e a tecnologia de bioflocos. O presente trabalho teve por objetivo determinar os efeitos da integração do sistema baseado em substrato (perifíton) com o sistema baseado no ajuste da relação C: N da água (bioflocos), no cultivo intensivo de juvenis de tilápia do Nilo ($1,56 \pm 0,07$ g), sobre variáveis de qualidade de água, desempenho zootécnico e qualidade de efluentes, após 10 semanas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2 x 2, com quatro tratamentos e cinco repetições cada. Os fatores em teste foram os seguintes “Estruturas submersas” (ausência e presença) e “Ajuste da relação C: N da água” (não e sim). Os resultados de peso corporal final, taxa de crescimento específico e produtividade de peixe foram maiores ($p < 0,05$) nos tanques nos quais se fez o ajuste da relação C: N da água, quando comparado aos tanques sem esse ajuste. A presença das estruturas submersas nos tanques não afetou de modo significativo essas mesmas variáveis. Concluiu-se que o sistema de cultivo de peixe baseado em substrato (perifíton) não é indicado para cultivos intensivos em aquicultura, nos quais há grande entrada de alimento artificial.

Palavras-chave: Aquicultura. *Oreochromis*. Limnocultura.

ABSTRACT - Lower delivery of artificial food to fish culture without growth performance impairment can be accomplished through the increase of the natural food delivery to the rearing animals. In this sense, the most promising alternatives are the use of the artificial substrates and the bioflocs technology. The present work has aimed at determine the effects of the integration of the substrate-based (periphyton) with the C: N ratio of water-based system, in the intensive culture of Nile tilapia juveniles (1.56 ± 0.07 g), upon variables of water quality, growth performance and effluents quality, after 10 weeks. The experimental design adopted was in randomized blocks at a 2 x 2 factorial mode with four treatments and five repetitions each. The tested factors were the following: “Submerged structures” (absence or

presence) and “Adjustment of the C: N ratio of water” (no and yes). The results of final body weight, specific growth rate and fish yield were higher ($p < 0.05$) in the tanks in which there was the adjustment of the C: N ratio of water, when compared to the tanks without that adjustment. The presence of the submerged structures in the tanks has not significantly affected those same variables. It was concluded that the periphyton-based system is not indicated to intensively performed aquaculture in which there is a high deliverance of artificial food.

Key-words: Aquaculture. *Oreochromis*. Limnoculture.

1 INTRODUÇÃO

Em geral, os sistemas de piscicultura intensiva estão baseados na oferta de grandes quantidades de alimento artificial (rações balanceadas) aos animais cultivados. Essa característica, entretanto, além de implicar em elevados custos financeiros, também acarreta em custos ambientais, uma vez que grande parte da ração ofertada aos animais é desperdiçada para o meio na forma de fezes (AVNIMELECH, 1999). Esses detritos orgânicos, ricos em nitrogênio e fósforo, podem causar a eutrofização dos ecossistemas naturais quando lançados diretamente nos corpos de água receptores (GREEN; SCHRADER; PERSCHBACHER, 2014). Uma alternativa ao uso intensivo de alimento artificial na piscicultura é o aumento na oferta de alimento natural aos animais cultivados (AZIN; LITTLE, 2008). Dentre as soluções atualmente propostas, destacam-se o uso de substratos artificiais e a tecnologia de bioflocos (BFT).

Diferentes substratos artificiais submersos podem ser instalados em tanques de cultivo de peixes e camarões com o objetivo de promover o desenvolvimento de perifíton e, com isso, obter melhor qualidade de água e maior eficiência alimentar (ASADUZZAMAN *et al.*, 2008; AZIN; LITTLE, 2008). O perifíton é formado por uma complexa comunidade de organismos aquáticos que aderem aos substratos submersos, sendo formado por bactérias, fungos, protozoários, fitoplâncton, zooplâncton, além de detritos. O perifíton serve como fonte de nutrientes aos peixes cultivados (SCHVEITZER *et al.*, 2013). Alguns estudos, entretanto, não têm observado benefícios claros da presença de substratos submersos sobre o desempenho dos animais ou a qualidade da água dos tanques de cultivo (KUMLU; EROLDGAN; SAGLAMTIMUR, 2001).

A tecnologia de bioflocos em aquicultura (BFT) visa a remoção de compostos

eutrofizantes e tóxicos da água, tais como amônia, nitrito e fosfato, e sua imobilização na biomassa bacteriana (bioflocos), através do ajuste da relação C: N da água. Os bioflocos formados, além de controlar a qualidade da água de cultivo, podem ainda ser utilizados como fonte de alimento natural pelos animais (AVNIMELECH, 1999; CRAB *et al.*, 2007). Contudo, a base de conhecimentos atualmente disponível sobre o sistema BFT ainda se encontra pouco desenvolvida. A contribuição dos bioflocos na produção de pescado ainda não foi devidamente quantificada (CRAB, *et al.*, 2012), nem está claro a importância relativa das bactérias heterotróficas na manutenção da qualidade da água e como fonte alimentar (AZIN; LITTLE, 2008; ANAND *et al.*, 2014).

Uma alternativa à adoção isolada desses sistemas, ainda não plenamente avaliada, é a integração entre essas duas tecnologias de cultivo (perifiton e bioflocos). Alguns autores sugerem que o perifiton e os bioflocos podem agir de forma sinérgica na melhoria da qualidade da água e como fonte alimentar aos organismos cultivados (AZIN; LITTLE, 2008; SCHVEITZER *et al.*, 2013). O presente trabalho teve por objetivo determinar, no cultivo intensivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, os efeitos da integração do sistema baseado em substrato (perifiton) com o sistema baseado no ajuste da relação C: N da água (bioflocos) sobre variáveis de qualidade de água, desempenho zootécnico e qualidade de efluentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola, LCTA – pertencente ao Departamento de Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, localizado na cidade de Fortaleza, Ceará. Um mil juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*; $1,12 \pm 0,05$ g) sexualmente revertidos para machos foram obtidos a partir de piscicultores locais. Estes juvenis foram mantidos por cinco dias em tanque de polietileno com volume útil de 1000 litros e providos de aeração constante. A alimentação dos peixes se deu quatro vezes ao dia (08:00, 11:00, 14:00 e 17:00h) com ração farelada contendo 45% de proteína bruta. A quantidade ofertada foi de 10% ao dia da biomassa estocada.

No início do experimento os peixes, com peso médio de $1,56 \pm 0,07$ g, foram transferidos para vinte tanques de polietileno de 250 litros, na densidade de dezoito peixes tanque⁻¹. O trabalho foi conduzido por dez semanas (14 de abril de 2014 a 23 de junho de 2014).

Para alimentação dos peixes durante o experimento foi fornecida ração, quatro vezes ao dia às 08:00, 11:00, 14:00 e 17:00h, na proporção de 10,5% do peso total dos peixes ao dia no início do experimento, essa taxa foi sendo ajustada e reduzida ao longo do experimento a cada 14 dias através de pesagem dos indivíduos (biometrias parciais), sendo que na última semana de cultivo a taxa de ração ofertada ao dia foi de 2,6% do peso corporal. Inicialmente foi ofertada ração farelada para peixes onívoros contendo 45% de proteína bruta, após 4 semanas a alimentação foi alterada para ração peletizada de granulometria de 0,8-1,2 mm contendo 39% de proteína bruta, e nas duas últimas semanas de cultivo foi ofertado ração peletizada com granulometria de 2-3 mm e 35% de proteína bruta.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC) com quatro tratamentos e cinco repetições cada. Os tratamentos foram testados segundo 2 fatores, perifiton (ausência e presença) e bioflocos (ausência e presença). Desta forma formou-se os 4 tratamentos: Controle: sistema convencional de cultivo sem presença de substratos e sem ajuste da relação C:N da água; Perifiton: sistema baseado em substratos, sem o ajuste da relação C:N da água; Bioflocos: sistema baseado em bioflocos com ajuste da relação C:N da água, sem a presença de substratos; Biofíton: sistema combinado de cultivo (perifiton e bioflocos), com a presença de substratos e ajuste da relação C:N da água.

Para desenvolvimento do perifiton nos tanques onde estes eram estimulados foram inseridas duas placas planas de polietileno, dispostas verticalmente na coluna d'água, perfazendo uma área correspondente a 135% da área de fundo de cada tanque ($0,90 \text{ m}^2$). A estimulação do desenvolvimento de bioflocos foi realizada através da correção da relação C:N para 15:1 através da aplicação de melaço em pó. O cálculo da quantidade de melaço que foi aplicado diariamente à água de cultivo, nos tanques dos tratamentos Bioflocos e Biofíton, foi realizado de acordo com as orientações de Avnimelech (1999), a partir de informações do manejo alimentar (% proteína bruta da ração e quantidade de ração ofertada diariamente).

Nos tanques dos tratamentos Bioflocos e Biofíton, houve aeração contínua (24 h) da água do início ao final do cultivo. Nos tratamentos Controle e Perifiton, a aeração foi noturna (18:00 - 06:00 h) a partir da 3ª semana de cultivo até o final do experimento. Para o fornecimento da aeração foi utilizado um compressor radial de 2,5 CV.

Não foi realizada troca de água em nenhum dos tanques de cultivo durante o período experimental, apenas reposição de água para manutenção do nível inicial. Houve reposição dos peixes mortos apenas na primeira semana de experimento, após este período os peixes mortos foram contabilizados para cálculo da sobrevivência final.

Água sub-superficial dos vinte tanques foram coletadas para determinação físico-química. Diariamente, duas vezes ao dia (08:00 e 15:00h), foram determinados o pH (medidor de pH mPA210 - MS Tecnopon®), transparência da água (disco de Secchi), condutividade elétrica (condutivímetro CD-850) e a temperatura. Semanalmente foram mensuradas as concentrações de oxigênio dissolvido (OD; Oxímetro 55 - YSI), nitrogênio amoniacal total (NAT; método do indofenol) e matéria orgânica (método do oxigênio consumido). Quinzenalmente foram determinadas as concentrações de nitrito (método da sulfanilamida), nitrato (método da coluna redutora de Cd), fósforo (método do azul de molibdênio), alcalinidade total (titulação com solução-padrão de H₂SO₄), dureza total (titulação com solução-padrão de EDTA), produtividade primária fitoplanctônica (método dos frascos claro e escuro) e sulfetos dissolvidos totais (método da titulação com solução-padrão de Na₂S₂O₃). O cálculo da concentração de NH₃ foi feito pela aplicação dos valores de NAT, pH e temperatura da água à Fórmula de Emerson (El-Shafai *et al.*, 2004). A partir da concentração de sulfeto dissolvido total, determinou-se a concentração de H₂S, de acordo com Boyd (2000). Essas determinações de qualidade de água foram realizadas de acordo com as metodologias descritas pela APHA (1999).

Os parâmetros zootécnicos avaliados foram: peso corporal final (g), sobrevivência (%), fator de conversão alimentar (FCA= ração consumida/ganho em peso), taxa de crescimento específico (TCE = [Ln (peso final) - Ln (peso inicial)]/dias de cultivo) x 100), produtividade do pescado e taxa de eficiência protéica (TEP = ganho em peso/proteína consumida).

Os dados são apresentados aqui como média ± desvio padrão. As pressuposições de distribuição normal e de homogeneidade de variância foram checadas antes das análises. Os dados em percentagem e razão foram analisados após transformação para arcosseno. Os dados de desempenho zootécnico e qualidade da água foram submetidos ao teste de ANOVA bifatorial (perifiton x bioflocos) e as médias quando diferentes significativamente, foram comparadas pelo teste de Tukey (ZAR, 1996). Todos os testes foram realizados com o auxílio dos softwares SPSS 15.0 for Windows e Excel 2010. O nível mínimo de significância foi estabelecido em $p < 0,05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade de água

Não houve diferença significativa entre os tanques de cultivo para o pH da água devido à presença ou ausência de estruturas submersas ($p > 0,05$). Entretanto, o ajuste da relação C: N da água afetou de modo significativo o pH da água, sendo que os menores valores de pH foram observados nos tanques onde a relação C: N foi ajustada para 15: 1 (Tabela 1). A decomposição do melaço em pó aplicado à água de cultivo libera CO_2 para o meio que faz a alcalinidade cair e acidifica a água (RAY, DILLON, LOTZ, 2011), como pode ser comprovado pelos resultados de CO_2 e alcalinidade apresentados na Tabela 2.

A concentração de CO_2 livre na água de cultivo foi maior ($p < 0,05$) nos tanques nos quais se ajustou a relação C: N da água para 15: 1 (Bioflocos e Biofítton), quando comparado aos tanques onde o ajuste da relação C: N não ocorreu (Controle e Perifítton). A presença ou não de estruturas submersas não afetou de modo significativo a concentração de CO_2 livre da água (Tabela 2). Nos tanques sem ajuste da relação C: N da água (Controle e Perifítton), a alcalinidade total da água foi significativamente maior do que nos tanques com relação C: N ajustada para 15: 1 (Bioflocos e Biofítton). Logo, a aplicação de melaço em pó aos tanques deve ser acompanhada pelo monitoramento da alcalinidade da água para prevenção de acidez (FURTADO, POERSCH, WASIELESKY, 2011).

Tabela 1 - pH e condutividade elétrica da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, com peso corporal inicial de $1,56 \pm 0,07$ g, mantidos por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, sob elevada densidade de estocagem (72 peixes m^{-3}). Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifítton e tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos (média \pm d.p.; $n = 5$).

Variável	Ajuste da relação C: N da água	Estruturas submersas	
		Ausentes	Presentes
pH	Não	$8,10 \pm 0,60$ A ¹	$8,13 \pm 0,61$ A
	Sim	$7,02 \pm 0,18$ B	$7,03 \pm 0,17$ B
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Não	400 ± 25 B	379 ± 23 B
	Sim	740 ± 34 A	698 ± 45 A

Probabilidade da ANOVA bifatorial			
Fator	pH	Condutividade elétrica	
Estrutura submersa	ns ²	ns	
Ajuste relação C: N	<0,001	<0,001	
Estrutura x Relação C: N	ns	ns	

¹ Para cada variável, médias com letras maiúsculas distintas na mesma coluna são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); as médias de pH e condutividade elétrica não diferiram entre si para o fator "estruturas submersas" ($P > 0,05$); ² Não significativo ($P > 0,05$)

Não houve diferença significativa entre as concentrações de oxigênio dissolvido na água dos diferentes tanques de cultivo por efeito dos fatores estruturas submersas e ajuste da relação C: N da água. Esse resultado sugere que a aeração artificial fornecida aos tanques que receberam aplicações de melão foi suficiente para suprir o aumento na demanda por OD. A condutividade elétrica (CE) da água diferiu de modo significativo apenas por conta do ajuste da relação C: N da água, sendo que os tanques com relação C: N ajustada para 15: 1 apresentaram maiores valores de CE (Tabela 1).

Os maiores valores de dureza da água foram observados nos tanques que receberam ajuste da relação C: N da água (Bioflocos e Biofíton). O melão de cana de açúcar contém cálcio na sua composição, explicando assim o aumento na dureza da água nesses tanques (ROSTAGNO, 2011). A colocação das estruturas submersas para desenvolvimento de perifíton nos tanques não afetou de modo significativo a dureza da água (Tabela 2).

Os tanques com ajuste da relação C: N da água (Bioflocos e Biofíton) apresentaram concentrações significativamente menores de NAT que os tanques sem ajuste. A presença das estruturas submersas nos tanques não afetou a concentração de NAT da água de cultivo ($p > 0,05$; Tabela 2). Esses resultados demonstram que a capacidade dos bioflocos em remover amônia da água é bem superior a do perifíton e que a integração dos dois sistemas (Biofíton) não traz melhoria significativa na qualidade da água em relação ao sistema BFT convencional (EKASARI *et al.*, 2014; GREEN, 2015). Portanto, não se recomenda a colocação de estruturas submersas em tanques de cultivo intensivo de peixes, por tal prática não trazer benefícios claros ao produtor.

A concentração de nitrito na água foi menor ($p < 0,05$) nos tanques com ajuste da relação C: N (Bioflocos e Biofíton), quando comparado aos tanques sem ajuste (Controle e Perifíton). Resultados semelhantes de acumulação de nitrito na água de cultivo foram observados por Liu *et al.* (2014), Luo *et al.* (2014) e Zhao *et al.* (2014). Portanto, além de amônia, os bioflocos também são capazes de remover nitrito da água, que é um composto tóxico para peixes e camarões (KRUMMENAUER *et al.*, 2012). Não houve diferença significativa entre as concentrações de nitrito dos tanques com e sem as estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton (Tabela 2). Os tanques dos tratamentos Bioflocos e Biofíton apresentaram maiores concentrações de nitrato que os demais tanques (Controle e Perifíton; Tabela 2). Krummenauer *et al.* (2012) afirmam que, ao contrário da amônia e nitrito, o nitrato é pouco tóxico aos organismos cultivados. Logo, a elevação na concentração de nitrato da água, por efeito do ajuste da relação C: N, não é motivo de preocupação aos produtores. O nitrato somente se torna tóxico aos peixes em concentrações muito elevadas, acima de 1 g L^{-1}

(KUHN *et al.*, 2010). A colocação das estruturas submersas nos tanques não alterou de modo significativo as concentrações de nitrato da água.

Tabela 2 - Qualidade da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, com peso corporal inicial de $1,56 \pm 0,07$ g, mantidos por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, sob elevada densidade de estocagem (72 peixes m^{-3}). Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton e tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos (média \pm d.p.; $n = 5$).

Variável	Ajuste da relação C: N da água	Estruturas submersas	
		Ausentes	Presentes
Oxigênio dissolvido ($mg L^{-1}$)	Não	$5,02 \pm 1,40^1$	$5,17 \pm 0,92$
	Sim	$6,70 \pm 0,97$	$6,69 \pm 0,99$
CO ₂ livre ($mg L^{-1}$)	Não	$5,49 \pm 0,70 B^2$	$6,02 \pm 0,68 B$
	Sim	$8,96 \pm 0,89 A$	$9,49 \pm 0,69 A$
Alcalinidade total ($mg L^{-1}$ eq. CaCO ₃)	Não	$148,2 \pm 17,7 A$	$137,9 \pm 12,3 A$
	Sim	$52,7 \pm 9,6 B$	$38,24 \pm 6,5 B$
Dureza total ($mg L^{-1}$ eq. CaCO ₃)	Não	$80,9 \pm 10,1 A$	$69,1 \pm 10,4 A$
	Sim	$260,2 \pm 25,9 B$	$236,5 \pm 37,9 B$
NAT ³ ($mg L^{-1}$)	Não	$0,85 \pm 0,19 A$	$0,79 \pm 0,17 A$
	Sim	$0,23 \pm 0,10 B$	$0,19 \pm 0,09 B$
Nitrito ($mg L^{-1}$)	Não	$1,85 \pm 0,20 A$	$1,70 \pm 0,22 A$
	Sim	$0,70 \pm 0,16 B$	$0,70 \pm 0,17 B$
Nitrato ($mg L^{-1}$)	Não	$21,94 \pm 2,34 B$	$18,39 \pm 3,27 B$
	Sim	$40,20 \pm 4,12 A$	$41,07 \pm 4,05 A$
Fósforo reativo ($mg L^{-1}$)	Não	$0,19 \pm 0,09 B$	$0,20 \pm 0,07 B$
	Sim	$0,59 \pm 0,12 A$	$0,56 \pm 0,15 A$
Matéria Orgânica ($mg L^{-1}$)	Não	$196,0 \pm 23,0 B$	$189,0 \pm 23,1 B$
	Sim	$310,1 \pm 33,3 A$	$315,4 \pm 42,2 A$

Probabilidade da ANOVA bifatorial

Fator	Oxig.	CO ₂	Alcal.	Durez	NAT	Nitri.	Nitra.	Fósf.	M.O.
Estrutura	ns ⁴	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Rel. C: N	ns	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	0,001	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1
Est. x C: N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

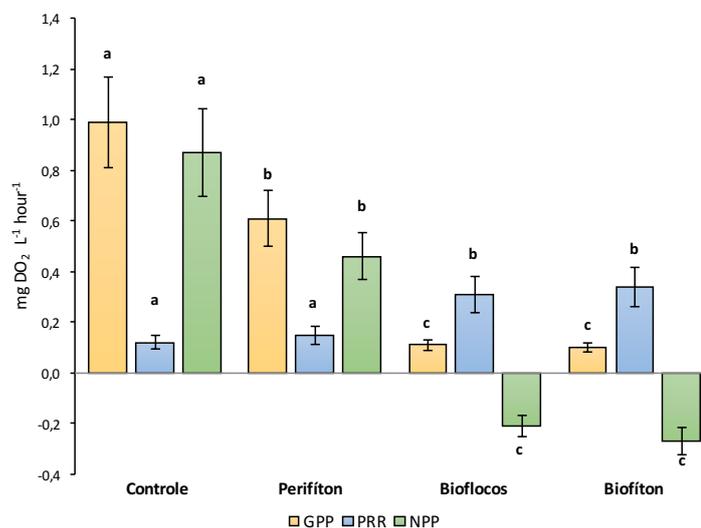
¹ Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas ($P > 0,05$); ² Para cada variável, médias com letras maiúsculas distintas na mesma coluna são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ³ Nitrogênio amoniacal total; ⁴ Não significativo ($P > 0,05$).

A concentração de fósforo reativo na água de cultivo foi significativamente maior nos tanques que receberam o ajuste da relação C: N da água. Esse resultado sugere aumento na taxa de mineralização da matéria orgânica devida a maior comunidade bacteriana presente nos tanques que receberam o ajuste da relação C: N da água (BALOI *et al.*, 2013; SILVA; WASIELESKY; ABREU, 2013). Essa sugestão é apoiada pelos resultados de CE da água que foram maiores nos tanques ajustados. Já a instalação das estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton não influenciou a concentração de fósforo reativo da água ($p > 0,05$; Tabela 2). De igual modo, a concentração de matéria orgânica na água de cultivo somente foi afetada de modo significativo pelo ajuste da relação C: N. Havia maior concentração de matéria orgânica na água dos tanques que receberam o ajuste da relação C: N ($p < 0,05$; Bioflocos e Biofíton). Com o florescimento dos bioflocos, há aumento exponencial na concentração de matéria orgânica na água, o que gera enorme demanda por OD. Daí os sistemas BFT apresentarem demanda por OD tão elevada (CRAB *et al.*, 2007).

A produtividade primária bruta (PPB) foi significativamente maior no tratamento Controle (relação C: N não ajustada + estruturas submersas ausentes; $PPB = 0,99 \text{ mg OD L}^{-1} \text{ hora}^{-1}$), em relação ao observado nos demais tanques, a qual foi seguida pela PPB do tratamento Perifíton (relação C: N não ajustada + estruturas submersas presentes; $PPB = 0,61 \text{ mg OD L}^{-1} \text{ hora}^{-1}$; Figura 1).

Não houve diferença significativa entre os resultados de PPB dos tratamentos Bioflocos ($PPB = 0,11 \text{ mg OD L}^{-1} \text{ hora}^{-1}$) e Biofíton ($PPB = 0,10 \text{ mg OD L}^{-1} \text{ hora}^{-1}$; Figura 1). A taxa de respiração do plâncton (TR) foi maior ($p < 0,05$) nos tanques Bioflocos e Biofíton ($0,31$ e $0,34 \text{ mg OD L}^{-1} \text{ hora}^{-1}$ respectivamente), quando comparados aos tanques Controle e Perifíton ($0,12$ e $0,15 \text{ mg OD L}^{-1} \text{ hora}^{-1}$ respectivamente). A produtividade primária líquida (PPL) foi maior nos tanques do tratamento Controle ($0,87 \text{ mg OD L}^{-1} \text{ hora}^{-1}$), em relação aos demais, sendo seguida pela PPL do tratamento Perifíton ($p < 0,05$; $PPL = 0,46 \text{ mg OD L}^{-1} \text{ hora}^{-1}$). Não houve diferença significativa entre os tanques dos tratamentos Bioflocos e Biofíton para PPL ($PPF = -0,21$ e $-0,27 \text{ mg OD L}^{-1} \text{ hora}^{-1}$ respectivamente).

Figura 1. Produtividade primária bruta (PPB), taxa de respiração (TR) e produtividade primária líquida (PPL) da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, mantidos por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, sob elevada densidade de estocagem (72 peixes m⁻³). Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton e tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos (média ± d.p.; n = 5). Controle: relação C: N da água não ajustada e estruturas submersas ausentes. Perifíton: relação C: N da água não ajustada e estruturas submersas presentes. BFT: relação C: N da água ajustada e estruturas submersas ausentes. Biofíton: relação C: N da água ajustada e estruturas submersas presentes.



Esses resultados demonstram que há competição entre fitoplâncton, perifíton e bioflocos pelos recursos abióticos disponíveis no tanque, de tal forma que o desenvolvimento de um dos grupos acarreta menor crescimento dos demais. Além disso, a maior turbidez da água nos tanques com bioflocos (Bioflocos e Biofíton) limita a produtividade do fitoplâncton e do perifíton pela menor disponibilidade de luz subaquática (SCHRADER; GREEN; PERSCHBACHER, 2011; GREEN; SCHRADER; PERSCHBACHER, 2014; HALFHIDE *et al.*, 2014).

3.2 Desempenho zootécnico

A sobrevivência dos peixes não foi afetada pelos dois fatores avaliados no presente trabalho, isto é, ajuste da relação C: N da água e colocação de estruturas submersas nos tanques de cultivo ($p > 0,05$; Tabela 3). A sobrevivência dos peixes em todos os tanques de cultivo foi superior a 84%.

Os resultados de peso corporal final, taxa de crescimento específico e produtividade de peixe foram maiores ($p < 0,05$) nos tanques dos tratamentos nos quais houve o ajuste da relação C: N da água (Bioflocos e Biofíton), quando comparado aos tanques onde não se fez o ajuste (Controle e Perifíton). O melhor desempenho dos peixes cultivados nos tanques com ajuste da relação C: N pode ser explicado pela melhor qualidade de água (menos NAT e

nitrito) e maior disponibilidade de alimento natural (bioflocos) aos peixes (CORREIA *et al.*, 2014; EKASARI *et al.*, 2015; POLI; SCHVEITZER; NUÑER, 2015).

A presença das estruturas submersas nos tanques não afetou de modo significativo essas mesmas variáveis zootécnicas ($p > 0,05$; Tabela 3). Esse resultado sugere que o fornecimento de dieta artificial (ração balanceada) aos peixes cultivados supriu integralmente as necessidades nutricionais desses indivíduos. A presença de substratos submersos nos tanques de cultivo poderia ter beneficiado o desempenho zootécnico somente se houvesse restrição na oferta de alimento artificial (SCHVEITZER *et al.*, 2013; JATOBÁ *et al.*, 2014), o que não aconteceu no presente trabalho. Portanto, os sistemas de cultivo em aquicultura baseados em substrato são indicados apenas para situações nas quais há baixa oferta de alimento artificial aos animais cultivados, tal como ocorre em pisciculturas familiares.

Tabela 3. Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, com peso corporal inicial de $1,56 \pm 0,07$ g, mantidos por 10 semanas em tanques de polietileno de 250 L, sob elevada densidade de estocagem (72 peixes m^{-3}). Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton e tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos (média \pm d.p.; $n = 5$).

Variável	Ajuste da relação C: N da água	Estruturas submersas	
		Ausentes	Presentes
Sobrevivência (%)	Não	$88,9 \pm 9,1^3$	$89,2 \pm 11,4$
	Sim	$85,5 \pm 9,3$	$84,4 \pm 9,9$
Peso corporal final (g)	Não	$24,35 \pm 1,04 B^4$	$26,04 \pm 2,07 B$
	Sim	$27,79 \pm 0,82 A$	$28,14 \pm 2,96 A$
TCE ¹ (% dia^{-1})	Não	$3,96 \pm 0,10 B$	$3,98 \pm 0,11 B$
	Sim	$4,22 \pm 0,06 A$	$4,21 \pm 0,08 A$
Produtividade de pescado ($kg m^{-3} ciclo^{-1}$)	Não	$1,56 \pm 0,13 B$	$1,48 \pm 0,25 B$
	Sim	$1,71 \pm 0,15 A$	$1,70 \pm 0,09 A$
FCA ²	Não	$1,33 \pm 0,06 A$	$1,34 \pm 0,10 A$
	Sim	$1,14 \pm 0,08 B$	$1,09 \pm 0,07 B$

Probabilidade da ANOVA bifatorial

Fator	Sobreviv	Peso.	TCE	Produt.	FCA
Estrutura submersa	ns ⁵	ns	ns	ns	ns
Ajuste relação C: N	ns	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Estrutura x C: N	ns	ns	ns	ns	ns

¹ Taxa de crescimento específico (TCE) = $[(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) / \text{dias de cultivo}] \times 100$; ² Fator de conversão alimentar aparente (FCA) = ração ofertada (g)/ganho em peso corporal (g); ³ Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas ($P > 0,05$); ⁴ Para cada variável, médias com letras maiúsculas distintas na mesma coluna são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ⁵ Não significativo ($P > 0,05$)

De modo semelhante, os peixes dos tratamentos Bioflocos e Biofiton apresentaram melhores resultados de FCA (fator de conversão alimentar) do que os animais dos tratamentos Controle e Perifiton ($P < 0,05$). Não houve diferença significativa entre os resultados de FCA dos peixes mantidos nos tanques Perifiton e Biofiton, quando comparado aos tratamentos Controle e Bioflocos, respectivamente (Tabela 3).

3.3 Qualidade de efluentes

As concentrações de oxigênio dissolvido dos efluentes dos tanques de cultivo foram menores ($p < 0,05$) para os tratamentos nos quais houve o ajuste da relação C: N da água para 15: 1, isto é, Bioflocos e Biofiton. Como a concentração de matéria orgânica é bem maior nos tanques com bioflocos (Bioflocos e Biofiton), a demanda desses tanques por OD também será proporcionalmente maior (SCHVEITZER *et al.*, 2013). Os efluentes dos sistemas de cultivo com ajuste da relação C: N não devem ser lançados no meio ambiente, mais sim reutilizados em novos ciclos produtivos, após o tratamento devido (CORREIA *et al.*, 2014; RAY; LOTZ, 2014). Não houve, entretanto, diferenças significativas para OD dos efluentes devido à presença ou não de estruturas submersas nos tanques. (Tabela 4).

A concentração de NAT nos efluentes dos tanques foram menores ($p < 0,05$) para os tratamentos com ajuste da relação C: N da água. Por outro lado, a colocação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton não afetou de modo significativo as concentrações de NAT dos tanques de cultivo ($p > 0,05$; Tabela 4).

A concentração de matéria orgânica dos efluentes dos tanques não foi afetada por nenhum dos dois fatores avaliados no presente trabalho ($p > 0,05$; Tabela 4). As concentrações de fósforo reativo nos efluentes dos tanques de cultivo foram maiores ($p < 0,05$) nos tratamentos onde houve o ajuste da relação C: N da água (Bioflocos e Biofiton). Esses resultados indicam que, exceto pelas menores concentrações de NAT, os efluentes de tanques BFT tem maior potencial eutrofizante que os efluentes de tanques convencionais de aquicultura (CRAB *et al.*, 2012; SILVA; WASIELESKY; ABREU, 2013; LIANG *et al.*; 2014).

Essa, portanto, é mais uma razão para não se descartar no meio ambiente a água dos tanques BFT, ao final do ciclo de produção, devendo a mesma ser reutilizada em sistemas fechados de produção. Novamente, não se verificou efeito significativo da presença de estruturas submersas sobre a concentração de fósforo reativo dos efluentes dos tanques de cultivo ($p > 0,05$; Tabela 4).

Tabela 4. Qualidade dos efluentes de tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, após 10 semanas. Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton e tiveram ou não a relação carbono/nitrogênio da água ajustada para 15: 1 para o desenvolvimento de bioflocos (média \pm d.p.; n = 5).

Variável	Ajuste da relação C: N da água	Estruturas submersas	
		Ausentes	Presentes
Oxigênio dissolvido	Não	4,19 \pm 0,50 A ²	4,27 \pm 0,63 A
	Sim	3,40 \pm 0,45 B	3,25 \pm 0,29 B
NAT ¹	Não	0,65 \pm 0,13 A	0,56 \pm 0,06 A
	Sim	0,33 \pm 0,08 B	0,39 \pm 0,12 B
Matéria orgânica	Não	68,5 \pm 12,3 ³	83, 0 \pm 13,4
	Sim	78,4 \pm 15,5	75,8 \pm 14,2
Fósforo reativo	Não	0,15 \pm 0,03 B	0,14 \pm 0,06 B
	Sim	0,24 \pm 0,05 A	0,26 \pm 0,08 A

Probabilidade da ANOVA bifatorial

Fator	Oxigênio	NAT	Matéria Orgân.	Fósforo
Estruturas submersas	ns ⁴	ns	ns	ns
Relação C: N	<0,05	<0,001	ns	<0,05
Estruturas x C: N	ns	ns	ns	ns

¹ Nitrogênio amoniacal total; ² Para cada variável, médias com letras maiúsculas distintas na mesma coluna são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (P<0,05); ³ Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas (P>0,05); ⁴ Não significativo (P>0,05).

4 CONCLUSÕES

Por não trazer benefícios limnológicos e produtivos claros, não há indicação para uso de estruturas submersas nos tanques em sistemas intensivos e superintensivos de cultivo de peixes, seja de forma isolada, seja de forma integrada ao sistema bioflocos (BFT);

A capacidade depuradora do perifiton na remoção de resíduos da água é bem menor quando comparada à capacidade dos bioflocos bacterianos;

Os sistemas de cultivo de peixe baseados em substrato (perifiton) são indicados apenas para cultivos semi-extensivos ou semi-intensivos nos quais há baixa oferta de dieta artificial; os sistemas de cultivo baseados em bioflocos (BFT) são indicados para cultivos intensivos e superintensivos em aquicultura, nos quais há grande entrada de alimentos artificiais.

REFERÊNCIAS

- ANAND, P. S. S. *et al.* Effect of dietary supplementation of biofloc on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 418–419, p. 108–115, 2014.
- APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and waste water**. 20th ed. New York: American Public Health Association, 1999. 1325 p.
- ASADUZZAMAN, M.; WAHAB, M.A.; VERDEGEM, M.C.J.; HUQUE, S.; SALAM, M.A.; AZIM, M.E. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 280, n. 1-4, p. 117-123, 2008.
- AVNIMELECH, Y. Carbon and nitrogen ratio as a control element in Aquaculture systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 176, n. 3-4, p. 227–235, 1999.
- 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**, Amsterdam, v. 283, n.1-4, p. 29–35, 2008.
- BALOI, M.; ARANTES, R.; SCHVEITZER, R.; MAGNOTTI, C.; VINATEA, L. Performance of Pacific shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 52, p. 39 - 44, 2013.
- BOYD, C. E. Effluent composition and water quality standards. Global. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 3, p. 61-66, 2000.
- CORREIA, E. S.; WILKENFELD, J.S.; MORRIS, T.C.; WEI, L.; PRANGNELL, D.I.; SAMOCHA, T.M. Intensive nursery production of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* using two commercial feeds with high and low protein content in a biofloc-dominated system. **Aquacultural Engineering**. Essex, v. 59, p. 48-54, 2014.
- CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 270, p. 1-14, 2007.
- CRAB, R. DEFROIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 356-357, p. 351-356, 2012.
- EKASARI, J.; ANGELA, D.; WALUYO, S.H.; BACHTIAR, T.; SURAWIDJAJA, E.H.; BOSSIER, P.; SCHRYVER, P. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 426-427, p. 105-111, 2014.
- EKASARI, J.; RIVANDI, D.R.; FIRDAUSI, A.P.; SURAWIDJAJA, E.H.; ZAIRIN, M.; BOSSIER, P.; SCHRYVER, P. Biofloc technology positively affects Nile tilapia

(*Oreochromis niloticus*) larvae performance. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 441, p. 72-77, 2015.

EL-SHAFI, S.A.; EL-GOHARY, F.A. NASR, F.A.; STEEN, N.P.; GIJZEN, H.J. Chronic ammonia toxicity to duckweed-fed tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 232, n. 1-4, p. 117-127, 2004.

FURTADO, P. S. POERSCH, L. H. WASIELESKY, W. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 321, n. 1-2, p. 130-135, 2011.

GREEN, B. W. Performance of a temperate-zone channel catfish biofloc technology production system during winter. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 64, p. 60-67, 2015.

GREEN, B. W. SCHRADER, K. K. PERSCHBACHER, P. W. Effect of stocking biomass on solids, phytoplankton communities, common off-flavors, and production parameters in a channel catfish biofloc technology production system. **Aquaculture research**, Oxford, v. 45, p. 1442-1458, 2014.

HALFHIDE, T.; AKERSTROM, A.; LEKANG, O.I.; GISLEROD, H.R.; ERGAS, S.J. Production of algal biomass, chlorophyll, starch and lipids using aquaculture wastewater under axenic and non-axenic conditions. **Algal research**, v. 6, p. 152-159, 2014.

JATOBÁ, A.; SILVA, B.C.; SILV, J.S.; VIEIRA, F.N. MOURINO, J.L.P.; SEIFFERT, W.Q.; TOLEDO, T.M. Protein levels for *Litopenaeus vannamei* in semi-intensive and biofloc systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 432, p. 365-371, 2014.

KRUMMENAUER, D.; SEIFERT, C.A.; POERSCH, L.H.; FOES, G.K.; LARA, G.R.; WASILIELESKY, W. Cultivo de camarões marinhos em sistema de bioflocos: análise da reutilização da água. **Atlântica**, Rio Grande, v. 34, n. 2, p. 103-111, 2012.

KUHN, D. D.; LAWRENCE, A.L.; BOARDMAN, G.D.; PATNAIK, S.; MARSH, L.; FLICK, G.J. Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 303, p. 28-33, 2010.

KUMLU, M. EROLDGAN, O. T. SAGLAMTIMUR, B. The effects of salinity and added substrates on growth and survival of *Metapenaeus monóceros* (Decapoda: Penaeidae) post-larvae. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 196, p. 177-188, 2001.

LIANG, W.; LUO, G.; TAN, H.; MA, N.; ZHANG, N.; LI, L. Efficiency of biofloc technology in suspended growth reactors treating aquacultural solid under intermittent aeration. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 59, p. 41-47, 2014.

LIU, L.; HU, Z.; DAI, X.; AVNIMELECH, Y. Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 418-419, p. 79-86, 2014.

LUO, G.; GAO, Q.; WANG, C.; LIU, 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**, Amsterdam, v. 422-42, p. 1-7, 2014.

POLI, M. A; SCHVEITZER, R. NUÑER, A. P. O. The use of biofloc technology in a South American catfish (*Rhamdia quelen*) hatchery: Effect of suspended solids in the performance of larvae. **Aquacultural engineering**, Essex, v. 66, p. 17-21, 2015.

RAY, A. J., DILLON, K. S., LOTZ, J. M. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. **Aquacultural Engineering**. Essex, v. 45, n. 3, p. 127-136, 2011.

RAY, A. J. LOTZ, J. M. Comparing a chemoautotrophic-based biofloc system and three heterotrophic-based systems receiving different carbohydrate sources. **Aquacultural engineering**, Essex, v. 63, p. 54 - 61, 2014.

ROSTAGNO, H. S. **Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SCHRADER, K. K.; GREEN, B.W.; PERSCHBACHER, P.W. Development of phytoplankton communities and common off-flavors in a biofloc technology system used for the culture of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 45, p. 118 - 126, 2011.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; BALOI, M.F.; COSTODIO, P.F.S.; ARANA, L.V.; SEIFFERT, W.Q.; ANDREATTA, E.R. Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 54, p. 93-103, 2013.

SILVA, K. R. WASIELESKY, W. ABREU, P. C. Nitrogen and Phosphorus Dynamics in the Biofloc Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the world aquaculture society**, Batom rouge, v. 44, 2013.

ZAR J. H. **Biostatistical Analysis**. Prentice-Hall: Upper Saddle River. NJ, USA. 1996. 662 p.

ZHAO, Z.; XU, Q.; LUO, L.; WANG, C.; LI, J.; WANG, L. Effect of feed C/N ratio promoted bioflocs on water quality and production performance of bottom and filter feeder carp in minimum-water exchanged pond polyculture system. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 434, p. 442 - 448, 2014.

CAPÍTULO 4

EFEITOS DO PERIFÍTON EM TANQUES BFT DE PISCICULTURA SUBMETIDOS À RESTRIÇÃO ALIMENTAR

RESUMO - Apenas uma pequena parte do carbono, nitrogênio e fósforo presentes nas rações fornecidas aos animais é recuperada no pescado produzido, sendo o restante desperdiçado para a água de cultivo. Uma das medidas que podem ser tomadas para aumentar a produção de pescado é promover maior retenção de nutrientes nesses sistemas de cultivo é a aplicação da tecnologia de bioflocos (BFT) e o uso de substratos artificiais, visando o desenvolvimento de perifíton. O objetivo do presente trabalho foi determinar os benefícios limnológicos e zootécnicos da instalação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton, em tanques BFT de piscicultura submetidos à restrição alimentar moderada. Foram testados os seguintes fatores, substratos submersos (presença ou ausência) e restrição alimentar (não e sim). A presença de substratos submersos nos tanques para desenvolvimento de perifíton não alterou de modo significativo a concentração de nitrito da água. Portanto, assim como ocorrido para amônia, a instalação das estruturas submersas nos tanques não apresentou efeito purificador da água, tendo em vista que o nitrito é um composto tóxico aos peixes cultivados. A presença das estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton não afetou de modo significativo o peso corporal final, TCE, produtividade do pescado e FCA. Logo, não se obteve nenhuma vantagem zootécnica no presente trabalho pela instalação de estruturas submersas para perifíton em tanques BFT. Conclui-se que a instalação de estruturas submersas para perifíton em tanques BFT de piscicultura não permite a redução das taxas regulares de arraçoamento (dieta artificial), sem prejuízo zootécnico.

Palavras-chave: Aquicultura. *Oreochromis*. Qualidade de água.

ABSTRACT - Only a small proportion of carbon, nitrogen and phosphorus present in the feed supplied to animals is recovered in the produced fish, the remainder being wasted for water cultivation. One of the measures that can be taken to increase fish production and promote greater retention of nutrients in these cropping systems is the

application of bioflocos technology (BFT) and the use of artificial substrates for the development of periphyton. The objective of this study was to determine the limnology and zootechnical benefits of installing submerged structures for the development of periphyton in BFT tanks of fish farming submitted to moderate food restriction. The following factors, submerged substrates (presence or absence) and food restriction were tested (no and yes). The presence of substrates submerged in tanks for development periphyton not significantly alter the concentration of nitrite in water. Therefore, as occurred for ammonia, the installation of structures submerged in the tanks showed no effect of purifying water, in order that nitrite is a toxic compound to farmed fish. The presence of submerged structures for the development of periphyton not significantly affected final body weight, SGR, Yield and FCR. So do not got no zootechnical advantage in this work for the installation of submerged structures for periphyton in BFT tanks. It follows that the installation of underwater structures to periphyton in a fish farming tank BFT does not allow the reduction of regular feeding rates (artificial diet) without losses.

Key-words: Aquaculture. *Oreochromis*. Water quality.

1 INTRODUÇÃO

Nos sistemas tradicionais de aquicultura, há grande ineficiência na utilização dos recursos aplicados aos mesmos, devido à significativa produção de resíduos gerados nesses cultivos. Apenas uma pequena parte do carbono, nitrogênio e fósforo presentes nas rações fornecidas aos animais é recuperada no pescado produzido, sendo o restante desperdiçado para a água de cultivo (BAUER *et al.*, 2012). Uma das medidas que podem ser tomadas para aumentar a produção de pescado e promover maior retenção de nutrientes nesses sistemas de cultivo é a aplicação da tecnologia bioflocos (BFT). Por meio de manipulação da relação carbono/nitrogênio da água, compostos tóxicos, tais como a amônia e o nitrito, e eutrofizantes, tal como o fósforo, podem ser convertidos em biomassa bacteriana assimilável pelos organismos cultivados (EMERENCIANO; GAXIOLA; CUZON, 2013).

Segundo Poli *et al.* (2015), o sistema de cultivo BFT é capaz de remover significativamente mais amônia da água que os sistemas mais tradicionais de cultivo. Com isso, o piscicultor poderá empregar, de forma segura, maiores densidades de

estocagem nas unidades de cultivo. Os bioflocos bacterianos, entretanto, exigem elevada concentração de oxigênio dissolvido na água para o seu correto desenvolvimento, já que a taxa de respiração microbiana é altíssima (FERREIRA *et al.*, 2015). Desse modo, a manutenção de elevada concentração de oxigênio dissolvido na água é vital para o sucesso da tecnologia BFT de cultivo.

O uso de substratos artificiais, submersos nas unidades de cultivo, visa o desenvolvimento de perifíton, que é uma complexa comunidade formada por diversos organismos, destacando-se as algas e as cianobactérias. O perifíton pode atuar como biofiltro e importante fonte de nutrientes para os animais cultivados (AZIM *et al.*, 2005). O perifíton, além de ser um alimento natural de alto valor nutricional para peixes e camarões, apresenta ainda baixíssimo custo ao produtor (ASADUZZAMAN *et al.*, 2010). Com o incremento alimentar propiciado pelos substratos submersos, é possível reduzir-se as taxas de arração praticadas e/ou substituir as rações utilizadas por outras mais baratas, com menor teor de proteína ou nutricionalmente incompletas, sem prejuízo zootécnico. Por outro lado, a capacidade depuradora do perifíton na remoção de resíduos da água é geralmente bem menor quando comparada à capacidade dos bioflocos bacterianos (SUGIURA *et al.*, 2006).

Recomenda-se o uso de sistemas de cultivo de peixe baseados em substrato (perifíton) em cultivos semi-extensivos ou semi-intensivos, nos quais há baixa oferta de dieta artificial. Já os sistemas de cultivo baseados em bioflocos (BFT) são indicados para cultivos intensivos e superintensivos em aquicultura, nos quais há grande entrada de alimentos artificiais (CAVALCANTE *et al.*, 2016).

A maior parte da proteína presente nas rações artificiais não é digerida pelos animais cultivados, sendo desperdiçada para o meio de cultivo. (BURFORD *et al.*, 2003). A conseqüente deterioração da qualidade da água propicia o surgimento de surtos de doenças e pode levar o produtor a amargar perdas financeiras (COCHRAN; COYLE; TIDWELL, 2009). Recomenda-se restringir a oferta de alimento artificial aos peixes e camarões cultivados de 5 – 15% do consumo voluntário (alimentação *ad libitum*), com o objetivo de diminuir as perdas de nutrientes para o meio e obter melhor fator de conversão alimentar (KOCH *et al.*, 2016).

Em trabalhos anteriores realizados em nosso laboratório, as estruturas submersas para perifíton não se mostraram eficientes na remoção de compostos nitrogenados da água e como suplemento alimentar para os animais cultivados. Naqueles trabalhos, entretanto, empregou-se taxas de arração regulares, tendo

havido abundante oferta de alimento artificial aos peixes. Especula-se que o perifíton ganhe importância como biofiltro e alimento natural em sistemas de cultivo nos quais se limite a entrada de alimento artificial nos tanques. O objetivo do presente trabalho foi determinar os benefícios limnológicos e zootécnicos da instalação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton, em tanques BFT de piscicultura submetidos à restrição alimentar moderada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Um mil juvenis masculinizados de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, foram obtidos junto a um produtor da região e transportados até as instalações do laboratório. O trabalho foi realizado no sistema de cultivo *outdoor* do laboratório, com a utilização de 20 tanques circulares de polietileno com volume útil de 250 L. Os juvenis de tilápia (peso corporal = $0,99 \pm 0,04$ g) foram distribuídos nos tanques na densidade de 9 peixes/tanque (36 peixes m^{-3}), sendo mantidos nesse sistema por 10 semanas.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial 2 x 2. A blocagem dos tratamentos foi necessária para eliminar os possíveis efeitos da posição do sol e dos ventos sobre as variáveis experimentais. Os fatores em teste foram os seguintes: 1 - substratos submersos (presença ou ausência) e 2 - restrição alimentar (não e sim). Em todos os tanques, houve o ajuste da relação C: N da água para 15: 1 pela aplicação de melaço em pó à água, de acordo com as orientações de Schryver e Verstraete (2009). Nos tanques dos tratamentos biofíton foram inseridas duas placas planas de polietileno. As placas foram dispostas verticalmente na coluna d'água e possuíam uma área de superfície correspondente a 135% da área de fundo de cada tanque ($0,90$ m^{-2}).

Inicialmente, utilizou-se ração comercial em pó para peixes tropicais (49,4% PB) para alimentação dos animais, na taxa diária de 10,5% da biomassa estocada em cada tanque. A taxa de arraçoamento foi ajustada em função do crescimento dos peixes, que foi acompanhado por biometrias quinzenais. A partir do peso corporal de 5 g, foi fornecida uma ração comercial peletizada (43,4% PB; 0,8 – 1,2 mm), na taxa de 4,7% da biomassa estocada ao dia. Nos tratamentos onde houve restrição alimentar, a taxa de arraçoamento dos peixes foram reduzidas em 30 %. Os horários de alimentação dos peixes foram as 08:00, 11:00, 14:00 e 17:00h. Não houve troca de

água nos tanques de cultivo durante todo o período experimental, apenas reposição de água para manutenção do nível inicial.

Diariamente, às 08:00 e 15:00h, o pH da água dos tanques de cultivo foi lido com pHmetro de bancada (MS Tecnoyon, mPA210). A condutividade elétrica e a temperatura da água de cultivo foram monitoradas duas vezes por semana, às 9 e 15 h, com o uso de condutivímetro (Instrutherm, modelo CD-850) e termômetro digital, respectivamente. Semanalmente, às 9 h, foram determinadas as concentrações de oxigênio dissolvido (OD; método de Winkler com modificação azida) e nitrogênio amoniacal total (NAT; método do indofenol). O cálculo para obtenção da concentração de amônia não-ionizada (NH_3) foi realizado de acordo com El-Shafai *et al.*, 2004. Quinzenalmente, foram realizadas as determinações da alcalinidade total (titulação com solução-padrão de H_2SO_4), dureza total (titulação com solução-padrão de EDTA), concentrações de fósforo reativo (método do azul de molibdênio), nitrito (reação da sulfanilamida com o N-1-naftil etilenodiamino bicloridrato), CO_2 livre (titulação com solução-padrão de Na_2CO_3) e nitrato (método da coluna redutora de Cd). Além desses, foi determinado ainda a produtividade primária líquida (PPL) através do método dos frascos claro e escuro. Exceto pela PPL, que foi determinada de acordo com Pinto-Coelho (2000), todas as demais determinações analíticas de qualidade de água foram realizadas de acordo com as recomendações da APHA (1999).

No início e no 40º dia do experimento, foram realizadas análises microbiológicas da água de cultivo, quando foram quantificadas o número de bactérias heterotróficas totais (meio de cultura Plate Count Agar - PCA), *Aeromonas* spp. (semeadura em meio Agar GSP com adição de ampicilina) e *Bacillus* spp. (semeadura em meio Agar nutriente). Para cada meio de cultura foram realizadas 5 diluições (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5}). O método utilizado para semeadura foi o "Pour Plate" (BEUCHAT *et al.*, 1998). Após 48 horas de incubação a 37°C, as colônias foram contadas. O resultado foi expresso em unidade formadora de colônias por mililitro (UFC mL^{-1}).

As variáveis de desempenho zootécnico observadas foram as seguintes: sobrevivência, peso corporal final, taxa de crescimento específico ($\text{TCE} = [(\text{Ln peso corporal final} - \text{Ln peso corporal inicial})/\text{n}^\circ \text{ dias de cultivo}] \times 100$), ganho em peso semanal ($(\text{peso corporal final} - \text{peso corporal inicial})/\text{número de semanas}$), produtividade = $[\text{ganho de biomassa (g)}/\text{volume do tanque (m}^3\text{)}/\text{dia}]$, fator de

conversão alimentar aparente (FCA = ração ofertada/ganho em peso corporal) e taxa de eficiência proteica (TEP = ganho em peso/proteína consumida).

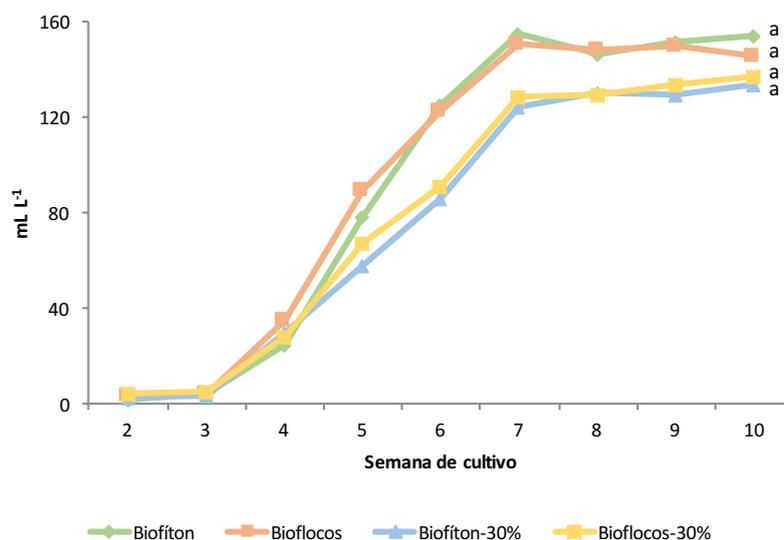
As variáveis de qualidade de água, microbiologia e de desempenho zootécnico foram submetidos à análise de variância (ANOVA unifatorial) para experimentos em blocos casualizados, em arranjo bifatorial. Quando constatado diferença significativa entre as médias, essas foram comparadas duas a duas pelo teste de Tukey. As pressuposições de distribuição normal (teste de Shapiro-Wilk) e de homogeneidade de variância (teste de Levene) foram checadas antes das análises. O nível de significância de 5% foi adotado em todos os testes estatísticos aplicados. Os softwares SPSS v.22 for Windows e Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation) foram utilizados em todas as análises estatísticas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade físico-química da água

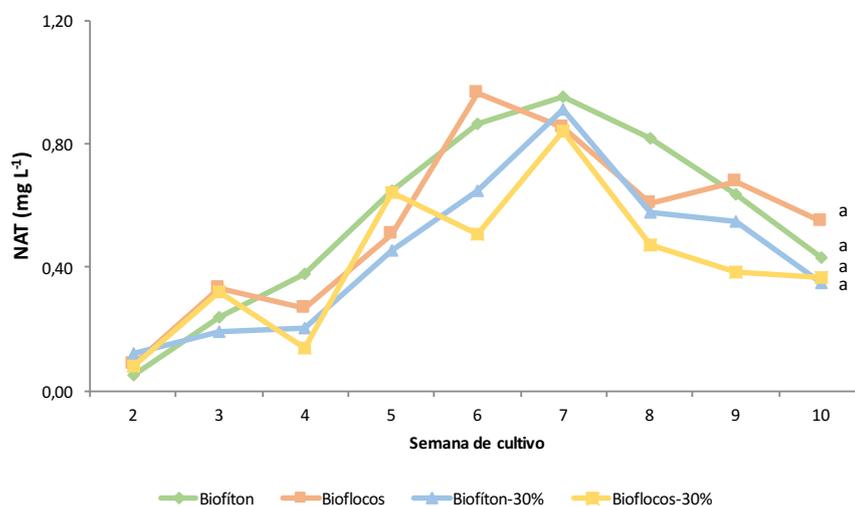
As concentrações de sólidos sedimentáveis (SS) na água de cultivo variaram de modo similar em todos os tratamentos, não havendo diferenças significativas entre elas ($p > 0,05$). As concentrações de SS na água aumentaram progressivamente da terceira ($3,0 \pm 0,7 \text{ mL L}^{-1}$) até a sétima semana experimental ($139,2 \pm 15,5 \text{ mL L}^{-1}$), estabilizando-se a partir daí até o final do trabalho ($142,3 \pm 9,3 \text{ mL L}^{-1}$; Figura 1). Apesar de não haver significância entre os tratamentos para essa variável, percebeu-se uma tendência de maiores concentrações de SS nos tanques de cultivo nos quais não houve restrição alimentar. Isso sugere que os bioflocos apresentam maior desenvolvimento quando há elevada oferta de ração aos animais cultivados. Portanto, a tecnologia BFT deveria ser empregada apenas em pisciculturas e carciniculturas superintensivas, nas quais há grande entrada de ração artificial nos tanques de cultivo (LITTLE *et al.*, 2008). Com isso, seria possível observar os esperados benefícios nutricionais e de qualidade de água da maior concentração de bioflocos na água.

Figura 1. Sólidos sedimentáveis na água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo estocados por 10 semanas em tanques com relação C: N da água ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifiton, sendo submetidos ou não à restrição alimentar (-30%). Biofiton: bioflocos + perifiton sem restrição alimentar; bioflocos: apenas bioflocos, sem restrição alimentar; biofiton - 30%: bioflocos + perifiton com restrição alimentar; bioflocos - 30%: apenas bioflocos, com restrição alimentar.



As concentrações de NAT da água de cultivo variaram de acordo com o mesmo padrão ao longo das semanas de cultivo, nos quatro tratamentos (Biofiton, Bioflocos, Biofiton-30%, Bioflocos-30%). As concentrações de NAT aumentaram progressivamente de $0,25 \pm 0,10 \text{ mg L}^{-1}$, na segunda semana experimental, para $0,89 \pm 0,05 \text{ mg L}^{-1}$, na sétima semana. Em seguida, as concentrações de NAT diminuíram para $0,42 \pm 0,09 \text{ mg L}^{-1}$, na última semana experimental. Em cada tempo considerado, as diferenças observadas para as concentrações de NAT, entre os quatro tratamentos, não foram significativas entre si (ANOVA $p > 0,05$; Figura 2). Assim, não haveria justificativa técnica para o uso de estruturas submersas em tanques BFT de cultivo, com o objetivo de melhorar a qualidade da água, uma vez que o perifiton formado nas mesmas é incapaz de aumentar de modo significativo a retirada de amônia da água, além do que já foi removido por ação dos bioflocos. Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Asaduzzaman *et al.* (2008). Esses autores verificaram que as estruturas submersas instaladas nos tanques não foram eficazes na remoção de amônia na água quando as concentrações de NAT superaram $0,14 \text{ mg L}^{-1}$, situação também ocorrida no presente trabalho.

Figura 2. Concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, estocados por 10 semanas em tanques com relação C: N da água ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifiton, sendo submetidos não restrição alimentar (-30%). Biofiton: bioflocos + perifiton sem restrição alimentar; bioflocos: apenas bioflocos, sem restrição alimentar; biofiton - 30%: bioflocos + perifiton com restrição alimentar; bioflocos - 30%: apenas bioflocos, com restrição alimentar.



Não houve diferença significativa entre os tanques de cultivo para pH da água devido à presença ou ausência de estruturas submersas para perifiton. Por outro lado, o pH da água foi menor nos tanques onde não houve restrição alimentar (Tabela 1; $p < 0,05$). Maior oferta de ração implica em maior concentração de matéria orgânica na água, na forma de fezes dos animais cultivados, biomassa planctônica nova e ração não-consumida (LANDMAN; HEUVEL; LING, 2005). O CO_2 liberado durante a decomposição da matéria orgânica reduz a alcalinidade e acidifica a água. Portanto, os sistemas intensivos e superintensivos em aquicultura são mais suscetíveis à acidificação e queda da alcalinidade da água de cultivo, que sistemas menos intensivos.

As concentrações de oxigênio dissolvido na água não foram afetadas de modo significativo por nenhum dos tratamentos avaliados no presente trabalho (estruturas submersas para perifiton e restrição alimentar). A concentração média de oxigênio dissolvido na água em todos os tanques ao longo do experimento foi de $7,5 \pm 0,53 \text{ mg L}^{-1}$. A alcalinidade total da água foi significativamente menor nos tanques de cultivo onde não se fez restrição alimentar, quando comparado aos tanques nos quais houve restrição alimentar de 30%. A presença das estruturas submersas para desenvolvimento de perifiton nos tanques não afetou a alcalinidade total da água (Tabela 1; $p > 0,05$).

Tabela 1 - Qualidade da água de tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo (peso corporal = $0,99 \pm 0,04$ g) com relação C: N da água ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifíton, sendo submetidos ou não à restrição alimentar (média \pm d.p.; n = 5). Biofíton: estruturas submersas presentes, sem restrição alimentar; bioflocos: estruturas submersas ausentes, sem restrição alimentar; biofíton – 30%: estruturas submersas presentes, com restrição alimentar; bioflocos – 30%: estruturas submersas ausentes, com restrição alimentar.

Variável	Restrição alimentar (-30%)	Estruturas submersas para perifíton	
		Presentes	Ausentes
pH	Não	$7,64 \pm 0,21$ A ¹	$7,77 \pm 0,16$ A
	Sim	$8,17 \pm 0,21$ B	$8,20 \pm 0,19$ B
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	Não	$7,77 \pm 0,54$	$7,78 \pm 0,56$
	Sim	$7,57 \pm 0,52$	$7,73 \pm 0,54$
Alcalinidade total (mg L ⁻¹ eq. CaCO ₃)	Não	$90,4 \pm 25$ B	$87,6 \pm 26$ B
	Sim	$131,35 \pm 24$ A	$138,9 \pm 32$ A
Dureza total (mg L ⁻¹ eq. CaCO ₃)	Não	$227,4 \pm 40$ A	$229,28 \pm 39$ A
	Sim	$171,6 \pm 38$ B	$170,7 \pm 41$ B
Nitrito (mg L ⁻¹)	Não	$0,36 \pm 0,06$ A	$0,32 \pm 0,11$ A
	Sim	$0,21 \pm 0,05$ B	$0,22 \pm 0,07$ B
Nitrato (mg L ⁻¹)	Não	$2,29 \pm 0,20$ A	$2,45 \pm 0,23$ A
	Sim	$1,42 \pm 0,58$ B	$1,33 \pm 0,22$ B
Fósforo reativo (mg L ⁻¹)	Não	$0,32 \pm 0,19$	$0,39 \pm 0,12$
	Sim	$0,34 \pm 0,18$	$0,38 \pm 0,19$
Matéria Orgânica (mg L ⁻¹)	Não	$246,1 \pm 13$ A	$246,7 \pm 19$ A
	Sim	$195,6 \pm 12$ B	$197,2 \pm 12$ B

Probabilidade da ANOVA bifatorial

Fator	pH	Oxig.	Alcal.	Dureza	Nitrito	Nitrato	Fósforo	M.O.
Perifíton	ns ²	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Restrição	<0,05	ns	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	ns	<0,001
Per. x Res.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹ Para cada variável, letras maiúsculas distintas na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, indica ausência de diferenças significativas entre as médias ($P > 0,05$); ² Não significativo ($P > 0,05$)

De modo contrário, a dureza total da água foi maior ($p < 0,05$) nos tanques nos quais não se fez restrição alimentar. As diferenças existentes entre os valores de dureza total da água não foram significativas entre tanques com e sem estruturas submersas para perifíton (Tabela 1). As rações utilizadas na alimentação dos peixes contêm cálcio nas suas composições, que é um dos elementos responsáveis pela dureza à água. Logo, houve maior entrada de cálcio na água nos tanques nos quais não houve restrição alimentar.

A concentração de nitrito na água foi menor ($p < 0,05$) nos tanques onde houve restrição alimentar, quando comparado aos tanques com oferta regular de ração aos peixes. Com o aumento na entrada de ração nos tanques de cultivo, o processo de amonificação da matéria orgânica pelas bactérias heterotróficas se intensifica, havendo maior liberação de amônia para o meio. Com isso, a atividade das bactérias *Nitrosomonas* se intensifica, havendo maior liberação de nitrito para a água (LIU *et al.*, 2014). A presença de substratos submersos nos tanques para desenvolvimento de perifíton não alterou de modo significativo a concentração de nitrito da água (Tabela 1). Portanto, assim como ocorrido para amônia, a instalação das estruturas submersas nos tanques não apresentou efeito purificador da água, tendo em vista que o nitrito é um composto tóxico aos peixes cultivados (CRAB *et al.*, 2007).

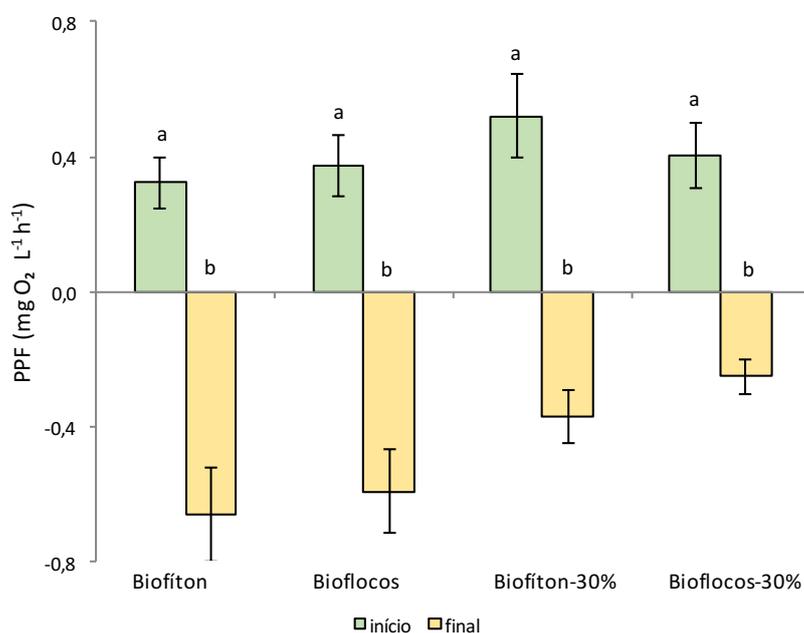
A concentração de nitrato da água de cultivo foi menor nos tanques nos quais se fez restrição alimentar ($p < 0,05$). As concentrações de compostos nitrogenados na água, tais como amônia, nitrito e nitrato, variam de forma diretamente proporcional com o nível de intensificação do cultivo e, por consequência, de arraçoamento. Resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho foram observados por Azim e Little (2008), que verificaram aumento nas concentrações de compostos nitrogenados na água ao longo do cultivo.

As estruturas submersas para perifíton não influenciaram de modo significativo a concentração de nitrato da água (Tabela 1). De igual modo, a concentração de fósforo reativo na água de cultivo não foi afetada pelo perifíton. Portanto, atuação do perifíton como biofiltro foi insignificante no presente trabalho já que foi incapaz de reduzir as concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fósforo da água de cultivo. Talvez a competição com as bactérias dos bioflocos por esses compostos químicos tenham impossibilitado a observação de tal efeito (SCHVEITZER *et al.* 2013a). Como esperado, a concentração de matéria orgânica na água foi maior ($p < 0,05$) nos tanques onde não houve restrição alimentar. Já a presença ou ausência de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton não influenciou de modo significativo a concentração de matéria orgânica da água (Tabela 1). Embora o perifíton também apresente organismos heterotróficos no mesmo, ou seja, seres capazes de reciclar a matéria orgânica, as populações que geralmente predominam no perifíton são as algas e as cianobactérias (AZIM; LITTLE, 2008).

3.2 Qualidade microbiológica da água

A produtividade primária fitoplanctônica líquida (PPF) da água de cultivo, obtida no início e no final do período experimental, diferiu entre si em todos os tratamentos (Figura 3). Em todos os casos (Biofiton, Bioflocos, Biofiton-30% e Bioflocos-30%), a PPF final foi menor que a inicial ($p < 0,05$), apresentando valores negativos. Isso sugere que a concentração de células bacterianas (bioflocos) na água aumentou significativamente do início para o final do cultivo. Além disso, indica que a proporção de organismos heterotróficos na coluna d'água era bem superior a de organismos autotróficos, causando depleção nas concentrações de oxigênio dissolvido nas garrafas experimentais (frascos claro e escuro).

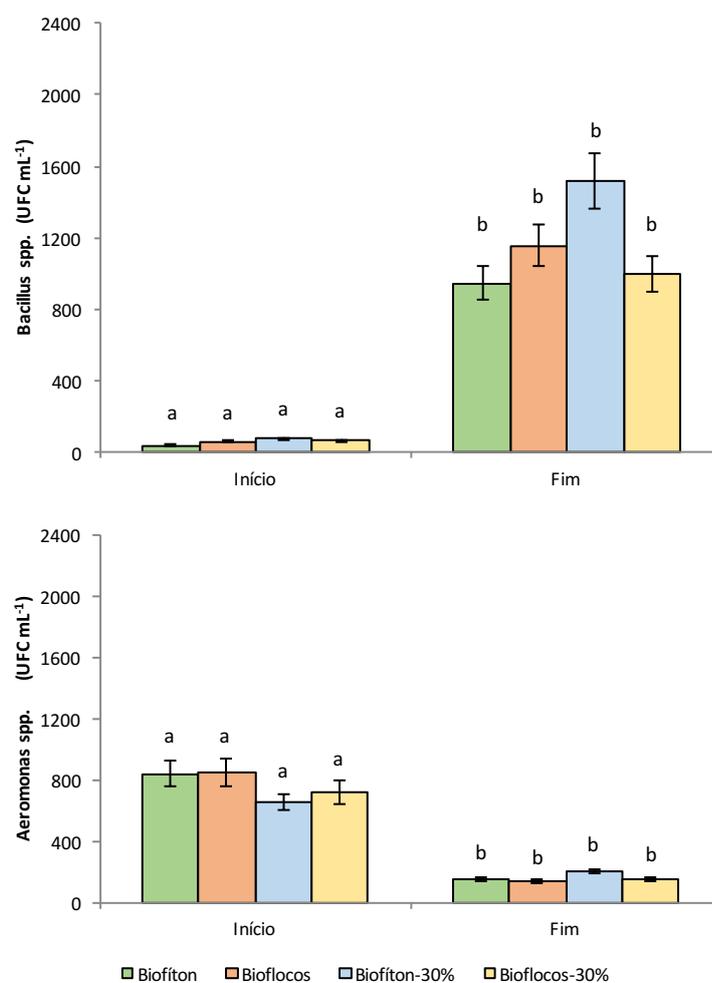
Figura 3. Produtividade primária líquida (PPF) da água, no início e no final do cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, estocados por 10 semanas em tanques com relação C: N da água ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifiton, sendo submetidos ou não à restrição alimentar (-30%). Biofiton: bioflocos + perifiton sem restrição alimentar; bioflocos: apenas bioflocos, sem restrição alimentar; biofiton - 30%: bioflocos + perifiton com restrição alimentar; bioflocos - 30%: apenas bioflocos, com restrição alimentar.



O número de bactérias do gênero *Bacillus* spp. na água de cultivo aumentou de apenas 60 ± 15 UFC mL⁻¹ para 1155 ± 259 UFC mL⁻¹, ao final do trabalho. As diferenças existentes entre os tratamentos para o número de *Bacillus* não foram significativas ($p > 0,05$; Figura 4). Resultados semelhantes a esses também foram

observados por Anand *et al.* (2014). Portanto, o nível de restrição alimentar empregado no presente trabalho não prejudicou a colonização da água pelo *Bacillus*. Além disso, as estruturas submersas presentes nos tanques não influenciaram expressivamente a dinâmica desse grupo bacteriano. A presença de *Bacillus* sp. em tanques de cultivo de boa sanidade e produtividade aquática qualifica esse gênero de bactéria como fonte potencial de probióticos para uso em aquicultura (BRATVOLD; BROWDY, 2001).

Figura 4. Contagem bacteriana inicial e final da água de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, estocados por 10 semanas em tanques com relação C: N da água ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifíton, sendo submetidos ou não à restrição alimentar (-30%). Biofíton: bioflocos + perifíton sem restrição alimentar; bioflocos: apenas bioflocos, sem restrição alimentar; biofíton - 30%: bioflocos + perifíton com restrição alimentar; bioflocos - 30%: apenas bioflocos, com restrição alimentar.



Houve redução no número de bactérias *Aeromonas* spp. na água dos tanques de cultivo de 765 ± 93 UFC mL⁻¹, no início do experimento, para 160 ± 30 UFC mL⁻¹, ao

final. Não houve diferença significativa entre os tratamentos para a contagem de *Aeromonas* na água (Figura 4). Possivelmente, a redução no número de bactérias *Aeromonas* se deu por conta da competição ocorrida entre as *Aeromonas* e outros grupos bacterianos. A elevação da relação C: N da água pela aplicação de melão em pó à mesma favoreceu as bactérias *Bacillus* que predominaram sobre outros grupos, tal como das *Aeromonas*. Resultados semelhantes a esses também foram observados por Crab *et al.* (2010). Esses autores verificaram que houve uma redução no número das bactérias patogênicas *Vibrio* e *Aeromonas* e um aumento na concentração de bactéria benéficas ao cultivo como *Bacillus*, ao se estimular o desenvolvimento de bioflocos na água. Esses resultados sugerem a tecnologia BFT de cultivo promove um efeito probiótico que pode prevenir a ocorrência de surtos patogênicos durante o cultivo.

3.3 Desempenho zootécnico

A sobrevivência dos peixes ao final de 10 semanas de criação não diferiu de modo significativo entre os tratamentos experimentais ($p > 0,05$; Tabela 2). A sobrevivência, em todos os tanques, foi sempre superior a 84%. O peso corporal final dos peixes, a taxa de crescimento específico e a produtividade de pescado foram maiores ($p < 0,05$) nos tratamentos onde não houve restrição alimentar, quando comparado aos tratamentos nos quais a oferta de ração foi reduzida em 30%. Já Burford *et al.* (2004), em trabalho realizado com pós-larvas de camarão marinho, *Penaeus esculentus*, demonstraram que a oferta de ração artificial pode ser reduzida em até 30% em tanques BFT, quando comparado a tanques convencionais de cultivo (águas verdes), sem que haja prejuízo no desempenho zootécnico dos animais. Talvez os camarões sejam mais eficientes que os peixes no aproveitamento do perifiton.

A presença das estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton não afetou de modo significativo essas mesmas variáveis (Tabela 2). Isso demonstra que o aporte nutricional extra, existente a partir do perifiton formado nas estruturas submersas, não foi suficiente para compensar a menor entrada de ração artificial nos tanques com restrição alimentar. Logo, não se obteve nenhuma vantagem zootécnica no presente trabalho pela instalação de estruturas submersas para perifiton em tanques BFT. Resultados semelhantes a esses foram observados por Arnold *et al.* (2009), em trabalho realizado com camarão-tigre, *Penaeus monodon*. Já Schweitzer *et al.* (2013b),

ao contrário, verificaram que a presença de substratos submersos na água de cultivo beneficiou de forma significativa o crescimento dos organismos cultivados. Ao contrário do realizado neste trabalho, Schweitzer *et al.* (2013b) deixaram os substratos submersos amadurecendo nos tanques de cultivo por 16 dias, antes de iniciar o povoamento dos tanques com os animais. Com essa medida, é provável que esses autores tenham conseguido maior biomassa de perifíton nos substratos submersos do que foi obtido no presente estudo.

Tabela 2. Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo (peso corporal = $0,99 \pm 0,04$ g), mantidos em tanques de cultivo com relação C: N ajustada para o desenvolvimento de bioflocos. Os tanques de cultivo foram providos ou não com estruturas submersas para a formação de perifíton, sendo submetidos ou não à restrição alimentar (média \pm d.p.; n = 5). Biofíton: estruturas submersas presentes, sem restrição alimentar; bioflocos: estruturas submersas ausentes, sem restrição alimentar; biofíton – 30%: estruturas submersas presentes, com restrição alimentar; bioflocos – 30%: estruturas submersas ausentes, com restrição alimentar.

Variável	Restrição alimentar (-30%)	Estruturas submersas para perifíton	
		Presentes	Ausentes
Sobrevivência (%)	Não	93,3 \pm 6,1	93,3 \pm 6,1
	Sim	88,9 \pm 13,6	91,1 \pm 9,3
Peso corporal final (g)	Não	37,66 \pm 1,4 A ⁴	36,64 \pm 3,9 A
	Sim	28,13 \pm 2,7 B	24,62 \pm 2,4 B
TCE ¹ (% dia ⁻¹)	Não	5,81 \pm 0,17 A	5,73 \pm 0,26 A
	Sim	5,10 \pm 0,26 B	5,03 \pm 0,20 B
Produtividade de pescado (g m ⁻³ dia ⁻¹)	Não	19,7 \pm 1,4 A	19,1 \pm 1,4 A
	Sim	13,7 \pm 1,9 B	12,3 \pm 1,0 B
FCA ²	Não	1,03 \pm 0,05 A	1,04 \pm 0,04 A
	Sim	0,78 \pm 0,07 B	0,86 \pm 0,11 B
TEP ³	Não	3,36 \pm 0,39 B	3,63 \pm 0,09 B
	Sim	3,78 \pm 0,22 A	3,86 \pm 0,36 A

Probabilidade da ANOVA bifatorial

Fator	Sobrev.	Peso	TCE	Produt.	FCA	TEP
Perifíton	ns ⁵	ns ⁵	ns	ns	ns	ns
Restrição	ns	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Perifíton x Restrição	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹ Taxa de crescimento específico (TCE) = $[(\text{Ln peso final} - \text{Ln peso inicial})/\text{dias de cultivo}] \times 100$; ² Fator de conversão alimentar (FCA) = ração ofertada (g)/ganho em peso corporal (g); ³ Taxa de eficiência proteica (TEP) = ganho em peso corporal (g)/proteína consumida (g); ⁴ Para cada variável, letras maiúsculas distintas na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); ausência de letras, na mesma linha ou coluna, indica ausência de diferença significativa entre as médias ($P > 0,05$); ⁵ Não significativo ($P > 0,05$)

O fator de conversão alimentar (FCA) foi significativamente melhor nos tanques nos quais houve restrição alimentar de 30% ($p < 0,05$; Tabela 2). A instalação das estruturas submersas para perifiton nos tanques não afetaram de modo significativo o FCA. De igual modo, resultados superiores de taxa de eficiência proteica (TEP) foram obtidos nos tanques submetidos à restrição alimentar ($p < 0,05$), não havendo efeito significativo da presença das estruturas submersas para perifiton sobre essa variável. No cálculo do FCA e da TEP, considera-se apenas o aporte de alimento artificial (rações) e não alimento total (artificial + natural). Como o ganho em peso dos peixes submetidos à restrição alimentar não caiu na mesma proporção da retirada de ração artificial, os resultados de FCA e TEP foram melhores nesses tanques.

4 CONCLUSÕES

Não há ganho adicional, em termos de qualidade de água, em se instalar estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton em tanques BFT;

A instalação de estruturas submersas para perifiton em tanques BFT de piscicultura não permite a redução das taxas regulares de arraçãoamento (dieta artificial), sem prejuízo zootécnico.

REFERÊNCIAS

- ANAND, P. S. S. KOHLI, M.P.S. KUMAR, S. SUNDARAY, J.K. ROY, S.D. VENKATESHWARLU, G. SINHA, A. PAILAN, G.H. Effect of dietary supplementation of biofloc on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 418–419, p. 108–115, 2014.
- APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and waste water**. 20th ed. New York: American Public Health Association, 1999. 1325 p.
- ARNOLD, S.J.; COMAN, F.E.; JACKSON, C.J.; GROVES, S.A. High-intensity, zero water- exchange production of juvenile tiger shrimp, *Penaeus monodon*: an evaluation of artificial substrates and stocking density. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 293, p. 42–48, 2009.
- ASADUZZAMAN, M.; WAHAB, M.A.; VERDEGEM, M.C.J.; ADHIKARY, R.K.; RAHMAN, S.M.S.; AZIM, M.E.; VERRETH, J.A.J. Effects of carbohydrate source for maintaining a high C:N ratio and fish driven re-suspension on pond ecology and production in periphyton based freshwater prawn culture systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 301, n. 1-4, p. 37-46. 2010.
- ASADUZZAMAN, M.; WAHAB, M.A.; VERDEGEM, M.C.J.; HUQUE, S.; SALAM, M.A.; AZIM, M.E. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 280, n. 1-4, p. 117-123, 2008.
- 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**, Amsterdam, v. 283, n.1-4, p. 29–35, 2008.
- AZIM, M.E., BEVERIDGE, M.C.M., VAN DAM, A.A., VERDEGEM, M.C.J. Periphyton and aquatic production: an introduction. In: AZIM, M.E., VERDEGEM, M.C.J., VAN DAM, A. A., BEVERIDGE, M.C.M. (Eds.), **Periphyton: Ecology, Exploitation and Management**. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 1–11. 2005.
- BAUER, W.; HERNANDEZ, C. P.; TESSER, M. B.; WASIELESKY, W.; POERSCH, L. H. S. Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 342–343 p. 112–116, 2012.
- BEUCHAT, R. L. COPELAND, F. CURIALE, M. S. DANISAVICH, T. GANGAR, V. KING, B. W. LAWLIS, T. L. LIKIN, R. O. OKWUSOA, J. SMITH, C. F. TOWNSEND, D. E. Comparison of the SimPlate total plate count method with Petrifilm, Redigel, and conventional pour-plate methods for enumerating aerobic microorganisms in foods. **Journal of Food Protection**, Ames, v. 61, p. 8-14, 1998.

- BRATVOLD, D. BROWDY, C. L. Effects of sand sediment and vertical surfaces (AquaMats) on production, water quality, and microbial ecology in an intensive *Litopenaeus vannamei* culture system. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 195, p. 81–94, 2001.
- BURFORD, M. A.; THOMPSON, P. J.; McINTOSH, R. P.; BAUMAN, R. H.; PEARSON, D. C. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture**. Amsterdam, v. 219, p. 393–411, 2003.
- BURFORD, M.A., THOMPSON, P.J., MCINTOSH, D., BAUMAN, R.H., PEARSON, D.C. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 232, p. 525–537, 2004.
- CAVALCANTE, D. H.; LIMA, F.R.S.; REBOUÇAS, V. T. SÁ, M. V. C. Association between periphyton and bioflocs systems in intensive culture of juvenile Nile tilapia. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 38, n. 2, p. 119 – 125, 2016.
- COCHRAN, N. J.; COYLE, S. D.; TIDWELL, J. H. Evaluation of Reduced Fish Meal Diets for Second Year Growout of the Largemouth Bass, *Micropterus salmoides*. **Journal of the World Aquaculture Society**, Batou Rouge, v. 40, p. 735-743, 2009.
- CRAB, R.; CHIELENS, B.; WILLE, M.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 41, p. 559-567, 2010.
- CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 270, p. 1-14, 2007.
- EL-SHAFI, S.A.; EL-GOHARY, F.A. NASR, F.A.; STEEN, N.P.; GIJZEN, H.J. Chronic ammonia toxicity to duckweed-fed tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 232, n. 1-4, p. 117-127, 2004.
- EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. In: Matovic, M. D. (ed). **Biomass now - cultivation and utilization**. InTech, Rijeka, 2013. pp 301–328.
- FERREIRA, G.S.; BOLIVAR, N.C.; PEREIRA, S.A.; GUERTLER, C.; VIEIRA, F.N.; MOURINO, J.L.P.; SEIFFERT, W.Q. Microbial biofloc as source of probiotic bacteria for the culture of *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 448, p. 273-279, 2015.
- KOCH, J.F.; RAWLES, S.D.; WEBSTER, C.D.; CUMMINS, V.; KOBAYASHI, Y.; THOMPSON, K.R.; GANNAM, A.L.; TWIBELL, R.G.; HYDE, N.M. Optimizing fish meal-free commercial diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 452, p. 357-366, 2016.

LANDMAN, M. J. HEUVEL, M. R. LING, N. Relative sensitivities of common freshwater fish and invertebrates to acute hypoxia. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater**, Wellington, v. 39, p. 1061–1067, 2005.

LITTLE, D.C.; MURRAY, F.J.; AZIM, E.; LESCHEN, W.; BOYD, K.; WATTERSON, A.; YOUNG, J.A. Options for producing a warm-water fish in the UK: limits to “Green Growth”?. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v.19, p. 255-264, 2008.

LIU, L.; HU, Z.; DAI, X.; AVNIMELECH, Y. Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 418-419, p. 79-86, 2014.

PINTO-COELHO, R.M. **Fundamentos em ecologia**. Porto Alegre: Artemed, 2000. 252 p.

POLI, M. A. SCHVEITZER, R. NUÑER, A. P. O. The use of biofloc technology in a South American catfish (*Rhamdia quelen*) hatchery: Effect of suspended solids in the performance of larvae. **Aquacultural engineering**, Essex, v. 66, p. 17-21, 2015.

SCHRYVER, P. VERSTRAETE, W. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 3, p. 1162-1167, 2009.

SCHVEITZER, R. ARANTES, R. BALOI, M. F. COSTÓDIO, P. F. S. ARANA, L. V. SEIFFERT, W. Q. ANDREATTA, E. R. Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 54, p. 93-103, 2013a.

SCHVEITZER, R. ARANTES, R. COSTÓDIO, P. F. S. SANTO, C. M. E. ARANA, L. V. SEIFFERT, W. Q. ANDREATTA, E. R. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 56, p. 59-70, 2013b.

SUGIURA S.H. MARCHANT, D.D. WIGINS, T. FERRARIS, R.P. Effluent profile of commercially used low-phosphorus fish feeds. **Environmental Pollution**, Barking, v. 140, p. 95–101. 2006.

CAPÍTULO 5

CULTIVO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO, *Oreochromis niloticus*, EM SISTEMAS CONVENCIONAL, BIOFLOCOS E BIOFÍTON SOB RESTRIÇÃO ALIMENTAR

RESUMO - Sistemas intensivos de aquicultura podem causar poluição de corpos hídricos, pois os efluentes gerados nesses sistemas são caracterizados pelas altas concentrações de nutrientes. O uso de substratos para perifíton e a manipulação da relação carbono: nitrogênio da água são tecnologias que podem ser empregadas no aumento da produtividade aquícola, com sustentabilidade ambiental. O presente trabalho teve por objetivo verificar se a diminuição na oferta de alimento artificial em cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, propicia um maior aproveitamento do alimento natural (fitoplâncton, perifíton e bioflocos), sem prejuízo zootécnico. Foram constituídos nove tratamentos, com quatro repetições cada um, totalizando 36 unidades experimentais. Os animais foram cultivados em tanques convencionais (águas verdes), com ajuste da relação C: N da água (bioflocos), e com integração entre bioflocos e perifíton (biofíton). Em cada sistema de cultivo, houve oferta regular ou sob restrição (-15% e -30%) de ração artificial. A presença de bioflocos reduziu a concentração de amônia e nitrito na água. A instalação das estruturas submersas em tanques com bioflocos não foi capaz elevar a remoção de amônia e nitrito da água. Nos sistemas com bioflocos, o nível de restrição alimentar de 15% não causou prejuízo ao ganho em peso animal. A instalação de estruturas submersas para perifíton não afetou de modo significativo o peso corporal final dos peixes cultivados.

Palavras-chave: Aquicultura. Bioflocos. Perifíton.

ABSTRACT - Intensive aquaculture systems can cause pollution in water bodies because their effluents have high levels of nutrients. The use of substrates for periphyton and the manipulation of the C: N ratio of water are technologies that can be employed to increase the aquaculture yield with environmental sustainability. The present work has aimed verify is the decrease in the delivery of artificial food to the cultured Nile tilapia juveniles can bring about a greater use of the natural food

(phytoplankton, periphyton and bioflocs) without growth performance impairment. There were nine treatments with four replicated each one (36 experimental units). The animals were raised in conventional (green water) tanks, C: N-ratio adjusted tanks (bioflocs) and bioflocs + periphyton integrated tanks (biophyton). In each culture system, the artificial diet was delivered regularly or under two levels of restriction (-15% and -30%). The concentrations of ammonia and nitrite in water were reduced in the bioflocs tanks. The installation of underwater structures in the rearing tanks with bioflocs was not able to promote a greater withdraw of ammonia and nitrite from water. In the bioflocs tanks, the feeding restriction level of 15% has not lessened the fish weigh gain. The installation of the underwater structures for periphyton has not made any significantly improvement in the fish's growth performance.

Key-words: Aquaculture. Bioflocs. Periphyton.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas intensivos de aquicultura podem causar poluição de corpos hídricos, pois os efluentes gerados na produção intensiva de peixes são caracterizados por altas concentrações de nutrientes, em destaque nitrogênio e fósforo (CRAB *et al.*, 2007). A maior parte do nitrogênio que entra nesses sistemas de cultivo, através das fertilizações e arraçoamento, é liberada para a água de cultivo na forma de amônia. A decomposição da ração não consumida, das fezes dos animais e a excreção dos animais cultivados liberam amônia para água (HU *et al.*, 2012). Desta forma, há deterioração dos efluentes dos tanques de cultivo com a intensificação da produção. O uso de substratos para perifiton e a manipulação da relação carbono: nitrogênio da água são tecnologias que podem ser empregadas no aumento da produtividade aquícola, com sustentabilidade ambiental (AVNIMELECH, 2006).

A manipulação da relação C: N da água é realizada pela introdução de uma fonte externa de carbono, geralmente melão em pó, que favorece o desenvolvimento de bactérias heterotróficas na água. Os bioflocos bacterianos servem como fonte de proteína aos animais cultivados, imobilizam compostos nitrogenados presentes na água e diminuem o risco de disseminação de doenças pela menor ou mesmo nenhuma renovação da água (EMERENCIANO *et al.*, 2014; KHATOON *et al.*, 2016). Entretanto, o aumento exponencial na concentração de bactérias heterotróficas na água faz com que haja uma elevadíssima demanda por oxigênio dissolvido no meio de

cultivo. Além disso, a tecnologia dos bioflocos requer um alto investimento para sua implantação (VILANI *et al.*, 2016).

A tecnologia de cultivo baseada em perifíton consiste na instalação de estruturas artificiais nos tanques de cultivo para o desenvolvimento de micro e macrorganismos, principalmente algas e bactérias, que crescem aderidos a esses substratos. O perifíton atua como agente filtrante da água de cultivo, reduzindo as concentrações de compostos poluidores provenientes de restos de ração e excretas, servindo ainda como alimento aos animais cultivados (FERRAGUT; CAMPOS, 2010; RICHARD *et al.*, 2010). Entretanto, o sistema de cultivo baseado em perifíton tem se mostrado eficiente apenas em cultivos semi-intensivos, onde se há uma menor oferta de alimento artificial e menor esforço de produção (AZIM *et al.*, 2005; LIU *et al.*, 2016).

As tecnologias de cultivo de organismos aquáticos com ajuste da relação C: N da água (bioflocos) e baseada em substratos (perifíton) podem ser empregadas conjuntamente. Esse sistema misto pode ser chamado de “biofíton”. No sistema biofíton, espera-se obter as vantagens somadas dos dois sistemas originais, com maior oferta de alimento natural e maior poder de filtração pelos organismos presentes no perifíton e nos bioflocos. Essa nova alternativa tecnológica, contudo, ainda não havia sido plenamente avaliada pela ciência. O presente trabalho teve como objetivo verificar se a diminuição na oferta de alimento artificial em cultivo de juvenis de tilápia do Niloleva a um maior aproveitamento do alimento natural (bioflocos, perifíton e biofíton), sem prejuízo zootécnico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado entre outubro e dezembro de 2014, no Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola - LCTA, Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará - UFC, na cidade de Fortaleza, Ceará. Um mil juvenis masculinizados de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*; $1,22 \pm 0,08$ g), foram adquiridos de um produtor local e transportados até as instalações do laboratório.

Após o período de aclimação de uma semana, os juvenis foram transferidos para o sistema experimental *outdoor* do laboratório. Os tanques de cultivo foram povoados com nove peixes por tanque (36 peixes m^{-3}). Inicialmente, os peixes foram alimentados com ração comercial em pó para peixes tropicais (48,0% PB), na taxa

diária de 10,5% da biomassa estocada em cada tanque. A taxa de arraçoamento foi ajustada quinzenalmente em função do crescimento dos peixes. A partir do peso corporal de 5 g, foi fornecida uma ração comercial peletizada (40,6% PB; 0,8 – 1,2 mm), na taxa de 4,7% da biomassa estocada ao dia. Os peixes foram alimentados diariamente às 8, 11, 14 e 17 h.

A água utilizada para abastecer os tanques de cultivo foi proveniente da companhia de abastecimento municipal. Antes do uso, a água era armazenada em tanques, sendo aerada 24 horas para eliminação do cloro residual. Não houve troca de água nos tanques de cultivo ao longo de todo o experimento, apenas reposição para completar o nível inicial. A duração do experimento foi de dez semanas.

O sistema de cultivo *outdoor* do laboratório é constituído por 40 tanques circulares de polietileno de 250 L de volume útil. No presente trabalho, entretanto, foram utilizados apenas 36 tanques do sistema *outdoor*. Todos os tanques são servidos por aeração constante. O sistema de aeração é constituído por mangueiras de silicone terminadas em duas pedras porosas em cada tanque. Estas mangueiras estavam conectadas a canos PVC acoplados a um compressor radial de 2 HP (soprador de ar). A água de cultivo foi intensamente aerada com o objetivo de manter elevados os níveis de oxigênio dissolvido, bem como manter em suspensão na coluna d'água o material particulado.

O presente trabalho seguiu o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). Foram constituídos nove tratamentos, com quatro repetições cada um, totalizando 36 unidades experimentais. Havia quatro grupos-controle e cinco grupos experimentais. Os grupos-controle foram os seguintes:

1. **AV0**: cultivo convencional de juvenis de tilápia em águas verdes, sem restrição alimentar;
2. **AV15**: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em AV0;
3. **AV30**: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em AV0;
4. **BFLC0**: cultivo regular de juvenis de tilápia em tanques com ajuste da relação C: N da água para formação de bioflocos.

Os grupos experimentais foram os seguintes:

1. **BFLC15**: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFLC0;

2. **BFLC30**: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFLC0;
3. **BFIT0**: o mesmo que em BFLC0, exceto pela instalação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton;
4. **BFIT15**: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFIT0;
5. **BFIT30**: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFIT0.

Nos tanques dos tratamentos BFLC (0, 15 e 30) e BFIT (0, 15 e 30), houve o ajuste da relação C: N da água para 15: 1 pela aplicação diária de melão em pó à água, de acordo com as orientações de Schryver e Verstraete (2009). Nos tanques dos tratamentos BFIT (0, 15 e 30) foram inseridas na coluna d'água duas placas planas de polietileno para o desenvolvimento de perifiton. As placas foram dispostas verticalmente na coluna d'água e possuíam uma área de superfície de 0,90 m².

Diariamente, às 8 e 15 h, foram monitorados o pH (MS Tecnoyon, mPA210) da água. Semanalmente, às 9 h, foram determinadas as concentrações de oxigênio dissolvido (OD; método de Winkler com modificação azida) e nitrogênio amoniacal total (NAT; método do indofenol) da água. O cálculo para obtenção da concentração apenas da amônia não-ionizada (NH₃) foi realizado de acordo com El-Shafai *et al.*, 2004. Quinzenalmente, foram realizadas as determinações da alcalinidade total (titulação com solução-padrão de H₂SO₄), dureza total (titulação com solução-padrão de EDTA), concentrações de fósforo reativo (método do azul de molibdênio), nitrito (reação da sulfanilamida com o N-1-naftil etilenodiamino bicloridrato) e nitrato (método da coluna redutora de Cd) da água. Todas as determinações analíticas de qualidade de água foram realizadas de acordo com as recomendações da APHA (1999).

As variáveis de desempenho zootécnico observadas foram as seguintes: sobrevivência, peso corporal final, taxa de crescimento específico (TCE = [(Ln peso corporal final - Ln peso corporal inicial)/n° dias de cultivo] x 100), ganho em peso semanal ((peso corporal final - peso corporal inicial)/número de semanas), produtividade = [ganho de biomassa (g)/volume do tanque (m³)/dia], fator de conversão alimentar aparente (FCA = ração ofertada/ganho em peso corporal) e taxa de eficiência proteica (TEP = ganho em peso/proteína consumida).

Inicialmente, as variáveis de qualidade de água e de desempenho zootécnico foram submetidas aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homocedasticidade (Levene). Em sendo normais e homocedásticos, os resultados eram submetidos à análise de variância (ANOVA unifatorial) para experimentos inteiramente casualizados. Quando constatado diferença significativa entre as médias, essas foram comparadas duas a duas pelo teste de Tukey. O nível de significância de 5% foi adotado em todos os testes estatísticos aplicados. Os softwares SPSS v.22 for Windows e Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation) foram utilizados em todas as análises estatísticas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade de água

Houve diferença significativa para a variável pH da água, sendo que o pH da água foi maior nos tanques onde os bioflocos não estavam presentes (AV0, AV15 e AV30). A restrição alimentar não afetou de modo significativo o pH da água em nenhum dos tratamentos (AV, BFLC, BFIT). Em todos os tanques, o pH médio da água se manteve acima de 7 (Tabela 1). Com a aplicação de melação nos tanques BFLC e BFIT, e conseqüente desenvolvimento dos bioflocos, houve um aumento na taxa de respiração bacteriana, resultando assim em um aumento nas concentrações de CO₂ da água (AZIM; LITTLE; BRON, 2008). Os sistemas BFLC e BFIT exigem, por isso, um monitoramento mais frequente da alcalinidade da água para evitar acidose nesses tanques de cultivo pela maior entrada de CO₂ na água de cultivo (ABBINK *et al.*, 2011). Não houve diferença significativa para a concentração de oxigênio dissolvido na água. As médias de oxigênio dissolvido em todos os tratamentos foram superiores a 6,40 mg L⁻¹ (Tabela 1). Embora os sistemas BFLC e BFIT exijam mais OD por conta da sua intensa atividade bacteriana, a aeração artificial constante fornecida aos tanques de cultivo foi suficiente para suprir a quantidade de OD necessária.

Tabela 1 – pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade e dureza total de tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo (média ± d. p.; n = 4).

Tratamento ¹	Variável ²			
	pH	OD	AT	DT
AV0	8,05 ± 0,23 a ³	6,71 ± 1,34	110,6 ± 6,6 a	181,3 ± 5,9 b
AV15	8,15 ± 0,31 a	6,70 ± 1,56	105,9 ± 4,1 a	169,1 ± 2,8 c
AV30	8,09 ± 0,25 a	6,43 ± 1,43	104,3 ± 3,4 a	169,7 ± 9,3 c
BFLC0	7,45 ± 0,41 b	7,82 ± 0,48	73,3 ± 12,8 c	276,8 ± 9,3 a
BFLC15	7,69 ± 0,39 b	7,91 ± 0,77	87,8 ± 12,0 bc	256,3 ± 10,7a
BFLC30	7,80 ± 0,61 b	7,85 ± 0,61	95,3 ± 9,7 b	248,1 ± 14,6a
BFIT0	7,56 ± 0,53 b	8,02 ± 0,54	77,9 ± 14,6 bc	280,8 ± 49,6a
BFIT15	7,76 ± 0,37 b	7,82 ± 0,72	84,2 ± 10,1 bc	276,1 ± 36,5a
BFIT30	7,47 ± 0,58 b	7,99 ± 0,43	93,6 ± 7,4 b	267,7 ± 35,4a
ANOVA P	<0,05	ns ⁴	<0,001	<0,001

¹ AV0: cultivo convencional de juvenis de tilápia em águas verdes, sem restrição alimentar; AV15: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em AV0; AV30: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em AV0; BFLC0: cultivo regular de juvenis de tilápia em tanques com ajuste da relação C: N da água para formação de bioflocos; BFLC15: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFLC0; BFLC30: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFLC0; BFIT0: o mesmo que em BFLC0, exceto pela instalação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton; BFIT15: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFIT0; BFIT30: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFIT0. ² OD: oxigênio dissolvido na água (mg L⁻¹); AT: alcalinidade total (mg L⁻¹ CaCO₃ eq.); DT: dureza total (mg L⁻¹ CaCO₃ eq.). ³ Em cada coluna, médias com letras distintas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (P<0,05); ausência de letras indica que não há diferenças significativas entre as médias (P>0,05). ⁴ Não significativo (P>0,05).

A alcalinidade total da água foi maior (p<0,05) nos tanques onde não havia a presença de bioflocos (AV0, AV15 e AV30), quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 1). Os sistemas com ajuste da relação C: N (BFLC e BFIT) demandam a manutenção da alcalinidade total da água pela realização de calagens periódicas ao longo do cultivo. Quando tal manejo não é realizado, assim como ocorrido no presente trabalho, a alcalinidade da água cai em tanques com bioflocos (XU; MORRIS; SAMOCHA, 2016). Nos tanques com bioflocos (BFLC e BFIT), percebe-se um aumento da alcalinidade da água com o aumento da restrição alimentar. Com a restrição alimentar, houve queda no consumo de alcalinidade nos tanques BFLC e BFIT. Desse modo, espera-se um maior poder tampão nos tanques BFLC30 e BFIT30 e consequentes menores variações de pH da água ao longo do tempo. Essa melhor condição de qualidade de água poderia ter afetado positivamente o desempenho zootécnico. Entretanto, o efeito nutricional negativo da restrição alimentar prevaleceu sobre a melhor qualidade da água nesses tanques, fazendo com que o crescimento

corporal dos peixes fosse prejudicado nos tanques BFLC30 e BFIT30. O menor valor de alcalinidade total da água foi observado nos tanques BFLC0 (73,3 mg L⁻¹ eq. CaCO₃). A presença das estruturas submersas para perifiton nos tanques de cultivo não influenciou positivamente a alcalinidade da água.

A dureza total da água foi maior ($p < 0,05$) nos tanques onde se fez o ajuste da relação C: N da água (BFLC e BFIT), quando comparado aos tanques com águas verdes (AV; Tabela 1). A aplicação de melão em pó à água de cultivo também contribuiu como fonte de cálcio (ROSTAGNO, 2011). A restrição alimentar afetou de modo significativo a dureza total da água apenas nos tanques com águas verdes (AV), os quais apresentaram queda na dureza da água com a restrição alimentar. A dureza total da água dos tanques de cultivo variou entre 169,1 e 280,8 mg L⁻¹ eq. CaCO₃ para os tratamentos AV15 e BFIT0, respectivamente.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para as concentrações de NAT e de nitrito da água ($p < 0,05$). Nos tanques de cultivo convencional (AV0, AV15 e AV30), foram observadas concentrações de NAT e de nitrito maiores que nos demais tratamentos (BFLC e BFIT; Tabela 2). Com a correção da relação C: N da água, há o crescimento dos bioflocos bacterianos que retiram amônia e nitrito da água (LORENZO *et al.*, 2016). Nos tanques com bioflocos, i.e., BFLC e BFIT, as concentrações médias de NAT na água foram iguais ou inferiores a 0,20 mg L⁻¹ (Tabela 2). A maior concentração de nitrito na água foi observada nos tanques AV0, onde se tinha cultivo tradicional, sem restrição alimentar, sendo a mesma igual a 0,38 mg L⁻¹. Já a menor concentração de nitrito foi observada nos tanques do tratamento BFIT30, sendo esta igual a 0,16 mg L⁻¹. Nos tanques BFIT, a presença de estruturas submersas para o desenvolvimento do perifiton não afetou de modo significativo as concentrações de NAT e de nitrito da água. A presença das estruturas submersas nos tanques BFIT não foi capaz de remover mais amônia e nitrito da água, em relação ao observado nos tanques BFLC. Em trabalho realizado em 2013, Schweitzer *et al.* também observaram que a presença de estruturas submersas durante o cultivo em sistema de bioflocos não foram eficazes na remoção de amônia e nitrito da água.

Em nenhum dos tratamentos, AV, BFLC e BFIT, o nível de restrição alimentar influenciou as concentrações de NAT e de nitrito da água. A concentração de NH₃ na água seguiu o mesmo padrão observado para o NAT e nitrito, onde os tanques AV apresentaram os maiores valores para essas variáveis ($p < 0,05$). Nesses tanques (AV0, AV15 e AV30), as concentrações de NH₃ na água foram iguais ou superiores a 0,23 mg

L⁻¹ (Tabela 2). A restrição alimentar não teve efeito benéfico na qualidade da água, no que se refere às concentrações de NAT, NH₃ e NO₂⁻. Resultados contrários aos do presente trabalho foram observados por Rebouças *et al.* (2012), onde houve redução nas concentrações de NAT e NO₂⁻ a partir de uma restrição alimentar de 30%.

Tabela 2 – Concentrações de nitrogênio amoniacal total (NAT), NH₃, nitrito e nitrato em tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo (média ± d.p.; n = 4).

Tratamento ¹	Variável ²			
	NAT	NH ₃	Nitrito	Nitrato
AV0	0,68 ± 0,14 a ³	0,23 ± 0,07 a	0,38 ± 0,09 a	23,4 ± 1,8 b
AV15	0,54 ± 0,15 a	0,31 ± 0,06 a	0,27 ± 0,05 a	26,1 ± 2,8 b
AV30	0,52 ± 0,09 a	0,26 ± 0,06 a	0,28 ± 0,10 a	20,1 ± 3,2 b
BFLC0	0,17 ± 0,06 b	0,06 ± 0,04 b	0,20 ± 0,05 b	39,4 ± 2,3 a
BFLC15	0,12 ± 0,08 b	0,05 ± 0,03 b	0,19 ± 0,07 b	42,2 ± 3,2 a
BFLC30	0,16 ± 0,07 b	0,06 ± 0,03 b	0,18 ± 0,06 b	52,7 ± 4,2 a
BFIT0	0,15 ± 0,04 b	0,06 ± 0,02 b	0,18 ± 0,07 b	50,2 ± 3,1 a
BFIT15	0,20 ± 0,05 b	0,08 ± 0,04 b	0,23 ± 0,08 b	39,6 ± 4,2 a
BFIT30	0,16 ± 0,08 b	0,07 ± 0,02 b	0,16 ± 0,05 b	48,5 ± 3,7 a
ANOVA P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

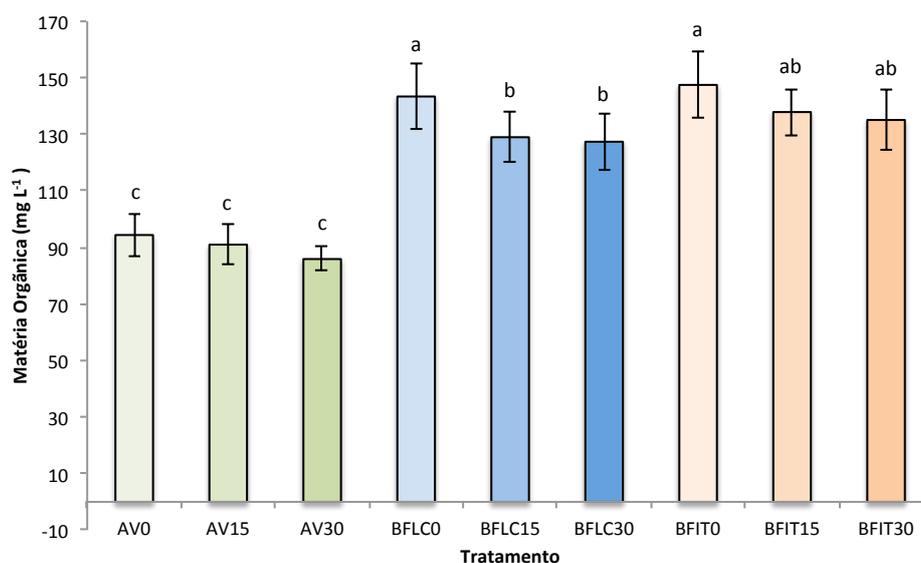
¹ AV0: cultivo convencional de juvenis de tilápia em águas verdes, sem restrição alimentar; AV15: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em AV0; AV30: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em AV0; BFLC0: cultivo regular de juvenis de tilápia em tanques com ajuste da relação C: N da água para formação de bioflocos; BFLC15: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFLC0; BFLC30: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFLC0; BFIT0: o mesmo que em BFLC0, exceto pela instalação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton; BFIT15: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFIT0; BFIT30: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFIT0. ² NAT, NH₃, nitrito e nitrato em mg L⁻¹. ³ Em cada coluna, médias com letras distintas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a concentração de nitrato na água (p<0,05), sendo que havia uma maior concentração de nitrato na água nos tanques com bioflocos (BFLC e BFIT), em relação aos tanques AV (Tabela 2). É provável que juntamente com o desenvolvimento das bactérias heterotróficas, tenha havido crescimento da comunidade bacteriana nitrificante. Com o aumento de bactérias nitrificantes no meio, há uma maior liberação de nitrato para a água (ZHAO *et al.*, 2012). Novamente, a presença dos substratos submersos para perifíton não influenciou as concentrações de nitrato da água. A menor concentração de nitrato na água foi observada nos tanques do tratamento AV30, com valor igual a 20,1 mg L⁻¹. A maior

concentração de nitrato foi encontrada em tanques do tratamento BFLC30, sendo este valor igual a $52,7 \text{ mg L}^{-1}$.

A concentração de matéria orgânica na água foi significativamente menor ($p < 0,05$) nos tanques sem bioflocos (AV; Figura 1). A concentração de sólidos suspensos totais nos tanques com bioflocos é, em geral, muitas vezes maior que nos tanques com águas verdes, onde se tem a predominância de fitoplâncton (ROCHA *et al.* 2012).

Figura 1 - Concentração de matéria orgânica em tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo (média \pm d.p.; n = 4)



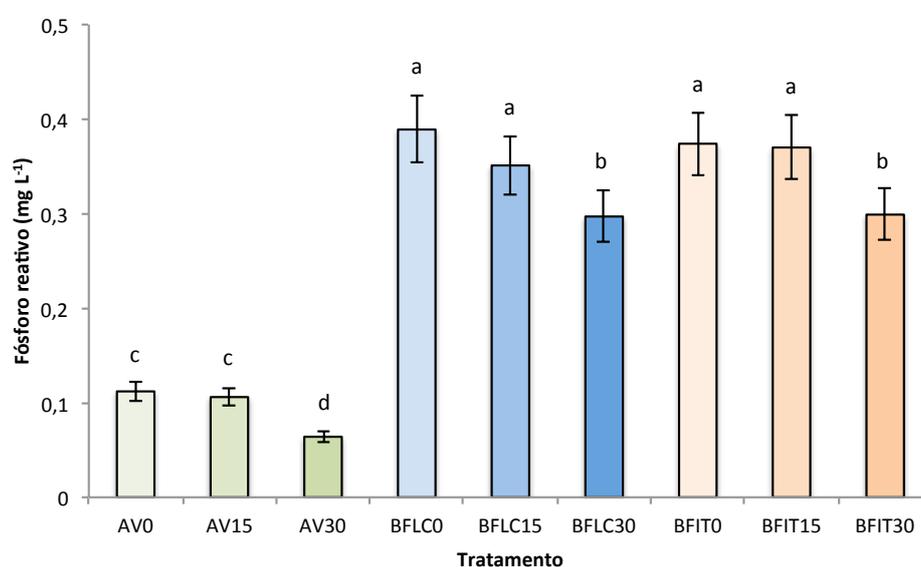
AV0: cultivo convencional de juvenis de tilápia em águas verdes, sem restrição alimentar; AV15: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em AV0; AV30: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em AV0; BFLC0: cultivo regular de juvenis de tilápia em tanques com ajuste da relação C: N da água para formação de bioflocos; BFLC15: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFLC0; BFLC30: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFLC0; BFIT0: o mesmo que em BFLC0, exceto pela instalação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton; BFIT15: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFIT0; BFIT30: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFIT0. Colunas com letras distintas representam médias significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA $P < 0,05$).

Dentro dos tratamentos com bioflocos (BFLC e BFIT), os tanques com restrição alimentar apresentaram uma menor quantidade de matéria orgânica na água. A restrição alimentar realizada nos tanques BFIT teve um menor efeito na redução das concentrações de matéria orgânica da água do que aquela praticada nos tanques BFLC. Enquanto nos tanques BFIT há bioflocos e perifíton, ou seja, uma maior quantidade de matéria orgânica, nos tanques BFLC há apenas bioflocos. Nos tanques BFIT, houve

provavelmente desprendimento de perifíton das estruturas submersas para a água, o que contribuiu com o aumento na concentração de matéria orgânica da água.

A concentração de fósforo reativo na água foi menor ($p < 0,05$) nos tanques de cultivo em águas verdes (AV0, AV15 e AV30), quando comparado aos tanques BFLC e BFIT (Figura 2). A maior concentração de fósforo nos tanques com bioflocos se deveu, provavelmente, à maior taxa de mineralização da matéria orgânica ocorrida nesses tanques, pela maior concentração de bactérias heterotróficas. Com isso, houve maior liberação de ortofosfato para a água. Resultados semelhantes a esses foram encontrados por Nancharaiah *et al.* (2015); Lorenzo *et al.* (2016).

Figura 2 - Concentração de fósforo reativo em tanques de cultivo de juvenis de tilápia do Nilo (média \pm d.p.; $n = 4$)



AV0: cultivo convencional de juvenis de tilápia em águas verdes, sem restrição alimentar; AV15: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em AV0; AV30: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em AV0; BFLC0: cultivo regular de juvenis de tilápia em tanques com ajuste da relação C: N da água para formação de bioflocos; BFLC15: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFLC0; BFLC30: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFLC0; BFIT0: o mesmo que em BFLC0, exceto pela instalação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifíton; BFIT15: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFIT0; BFIT30: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFIT0.

Colunas com letras distintas representam médias significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA $P < 0,05$).

A concentração de fósforo reativo na água não diferiu de modo significativo entre os tanques BFLC e BFIT. A presença das estruturas para perifíton não foi capaz de reduzir as concentrações de fósforo da água. Schweitzer *et al.* (2013) verificaram que a

introdução de substratos artificiais em tanques de cultivo com bioflocos não alterou as concentrações de fósforo da água de cultivo. Caso isso tivesse acontecido, ou seja, as concentrações de fósforo tivessem caído pela instalação das estruturas submersas para perifiton, esse seria um manejo interessante do ponto de vista ambiental, tendo em vista a obtenção de efluentes de melhor qualidade (menor concentração de N e P). Nos tanques com bioflocos, BFLC e BFIT houve uma menor concentração de fósforo reativo nos tratamentos em que se fez maior restrição alimentar (BFLC30 e BFIT30; $p < 0,05$).

3.2 Desempenho zootécnico

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para a variável sobrevivência dos peixes, sendo que em todos os tanques a sobrevivência final foi igual ou superior a 77% (Tabela 3). Houve diferença significativa entre os tratamentos para peso corporal final, sendo que os peixes cultivados nos tanques de cultivo tradicional (AV) apresentaram menores pesos corporais finais, quando comparado aos peixes dos tanques BFLC e BFIT. O maior crescimento dos peixes nos tanques com bioflocos (BFLC e BFIT) se deveu provavelmente à maior disponibilidade de alimento nesses tanques e a melhor qualidade de água (menos NAT e NH_3).

Dentro de um mesmo tratamento (AV, BFLC e BFIT), observou-se menor peso corporal final nos tanques onde houve restrição alimentar. Essa resposta, entretanto, não foi a mesma em todos os tratamentos. Nos tanques AV, houve queda significativa do peso corporal final já para o nível de restrição alimentar de 15%. Já nos tanques BFLC e BFIT, a queda no peso corporal final somente ocorreu no nível de restrição alimentar de 30% (Tabela 3). Nos sistemas com bioflocos (BFLC e BFIT), embora o nível de restrição alimentar de 30% tenha sido excessivo, por ter levado a queda significativa no crescimento corporal dos peixes, o nível de 15% se mostrou adequado. Isso possibilitaria a obtenção de melhores FCA e, conseqüentemente, maiores lucros aos produtores. A instalação de estruturas submersas para perifiton nos tanques BFIT não afetou de modo significativo o peso corporal final dos peixes cultivados. Do ponto de vista do crescimento animal, não há, portanto, justificativa para a instalação de estruturas submersas em tanques com bioflocos (ajuste da relação C: N da água).

Tabela 3 - Desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo (peso corporal inicial = $1,22 \pm 0,08$ g; média \pm d.p.; n = 4).

Tratamento ¹	Variável ²			
	Sobrevivência	PCf	TCE	Produtividade
AV0	91,7 \pm 10,6	27,27 \pm 2,54 b ³	5,37 \pm 0,18 b	14,61 \pm 1,71 c
AV15	91,7 \pm 5,6	23,30 \pm 2,26 c	5,20 \pm 0,22 b	12,48 \pm 1,72 d
AV30	97,2 \pm 5,6	20,58 \pm 0,79 c	4,67 \pm 0,10 d	11,03 \pm 0,36 d
BFLC0	77,8 \pm 9,1	35,61 \pm 1,77 a	5,60 \pm 0,08 a	19,68 \pm 2,39 a
BFLC15	86,1 \pm 10,6	33,13 \pm 2,28 a	5,48 \pm 0,23 ab	17,75 \pm 2,26 ab
BFLC30	91,7 \pm 10,6	29,13 \pm 1,16 b	4,98 \pm 0,12 c	15,61 \pm 1,54 bc
BFIT0	92,6 \pm 5,7	34,40 \pm 2,03 a	5,67 \pm 0,13 a	18,43 \pm 1,05 a
BFIT15	84,4 \pm 16,9	33,31 \pm 3,38 a	5,50 \pm 0,24 a	17,84 \pm 1,33 ab
BFIT30	91,1 \pm 9,3	30,43 \pm 2,75 b	5,00 \pm 0,26 c	16,30 \pm 1,21 b
ANOVA P	ns ⁴	<0,001	<0,05	<0,001

¹ AV0: cultivo convencional de juvenis de tilápia em águas verdes, sem restrição alimentar; AV15: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em AV0; AV30: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em AV0; BFLC0: cultivo regular de juvenis de tilápia em tanques com ajuste da relação C: N da água para formação de bioflocos; BFLC15: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFLC0; BFLC30: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFLC0; BFIT0: o mesmo que em BFLC0, exceto pela instalação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton; BFIT15: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFIT0; BFIT30: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFIT0. ² Sobrevivência (%), PCf: peso corporal final (g), TCE (% dia⁻¹): taxa de crescimento específico = $[(\ln \text{ peso corporal final} - \ln \text{ peso corporal inicial}) / n^\circ \text{ dias de cultivo}] \times 100$, Produtividade de peixe (g m⁻³ dia⁻¹). ³ Em cada coluna, médias com letras distintas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (P<0,05); ausência de letras indica que não há diferenças significativas entre as médias (P>0,05). ⁴ Não significativo (P>0,05).

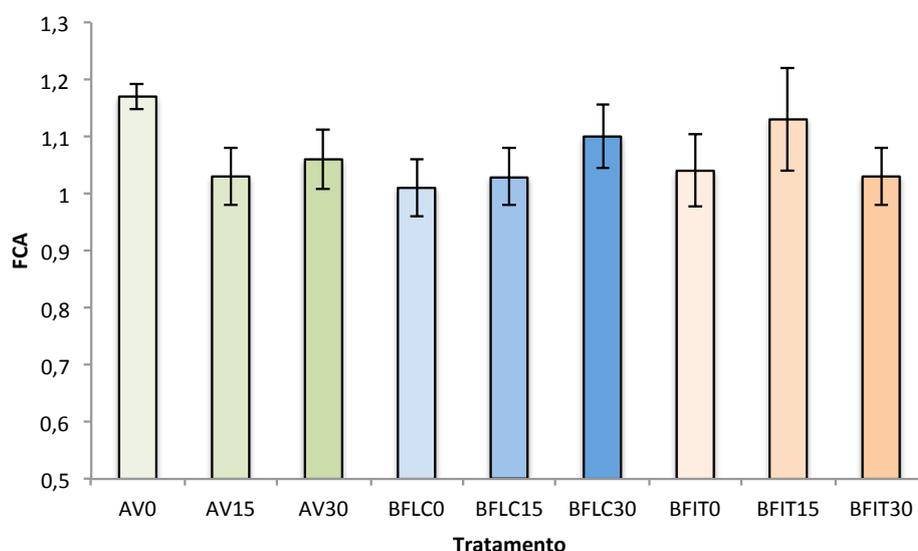
Dentro de um mesmo tratamento (AV, BFLC e BFIT), os tanques submetidos à restrição alimentar de 30% apresentaram menor taxa de crescimento específico (TCE; p<0,05; Tabela 3). Em trabalho realizado em 2014, Correia *et al.* Também observaram que houve prejuízo na TCE ao se reduzir em 25% a oferta de proteína aos animais cultivados em sistema de bioflocos. Os maiores valores de TCE foram observados nos tanques BFIT0, BFIT15, BFLC0 e BFLC15, ou seja, com bioflocos e nenhum ou moderado nível de restrição alimentar. A presença dos substratos submersos nos tanques não influenciou de modo significativo a TCE.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para produtividade de peixe, onde os piores resultados foram encontrados nos tanques sem bioflocos (AV; Tabela 3). Nos tanques BFLC e BFIT, as maiores produtividades foram observadas nas unidades sem restrição alimentar ou com restrição alimentar de apenas 15% (Tabela 3).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator de conversão alimentar - FCA (Figura 3). Esses resultados diferem dos encontrados por Jatobá *et al.*

(2014), no qual o cultivo em sistema de bioflocos apresentou um melhor (menor) FCA quando comparado com o cultivo em águas verdes. No presente trabalho, era de se esperar um pior (maior) FCA nos tanques BFLC30 e BFIT30, em relação aos tanques BFLC0 e BFIT0 porque o crescimento dos peixes foi bem menor nos primeiros tanques. Entretanto, como se fez o ajuste da taxa de arraçoamento ao longo do tempo, a quantidade de ração ofertada nos tanques BFLC30 e BFIT30 foi menor que nos tanques BFLC0 e BFIT0. Se em cada período (quinzena), a quantidade de ração ofertada aos peixes tivesse sido a mesma para todos os tanques, poderíamos ter visualizado a piora (aumento) do FCA nos tanques BFLC30 e BFIT30. Embora isso não tenha ocorrido neste trabalho, é esperado que aconteça em escala comercial, nas fazendas, aonde os ajustes alimentares geralmente não são tão precisos. O menor valor de FCA foi observado no tratamento BFLC0 ($1,01 \pm 0,05$), enquanto que o maior valor de FCA ocorreu nos tanques AV0 ($1,17 \pm 0,04$).

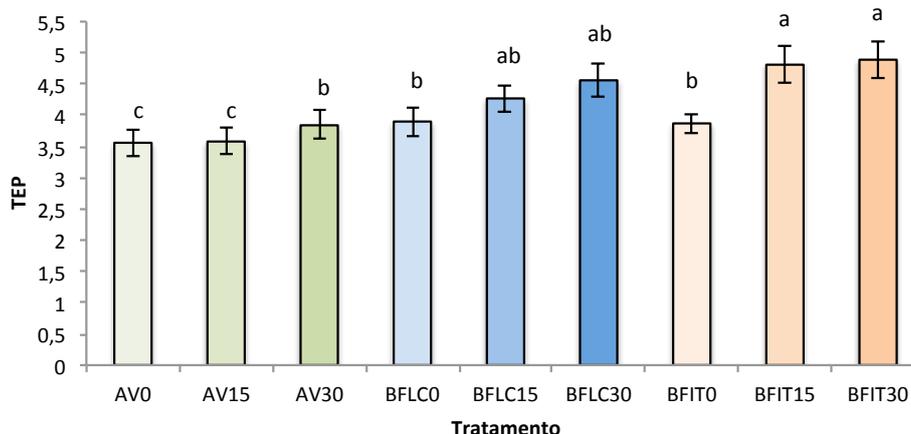
Figura 3 – Fator de conversão alimentar de juvenis de tilápia do Nilo (peso corporal inicial = $1,22 \pm 0,08$ g; média \pm d.p.; n = 4).



AV0: cultivo convencional de juvenis de tilápia em águas verdes, sem restrição alimentar; AV15: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em AV0; AV30: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em AV0; BFLC0: cultivo regular de juvenis de tilápia em tanques com ajuste da relação C: N da água para formação de bioflocos; BFLC15: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFLC0; BFLC30: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFLC0; BFIT0: o mesmo que em BFLC0, exceto pela instalação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton; BFIT15: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFIT0; BFIT30: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFIT0.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para taxa de eficiência proteica - TEP (Figura 4), sendo que os menores valores foram observados nos tratamentos AV0 e AV15 ($3,56 \pm 0,20$ e $3,58 \pm 0,21$, respectivamente). Já os maiores valores de TEP foram encontrados nos tratamentos BFIT15 e BFIT30 ($4,81 \pm 0,28$ e $4,89 \pm 0,30$, respectivamente). Dentro do mesmo tipo de cultivo (AV, BFLC e BFIT), houve aumento significativo da TEP à medida que se fez restrição alimentar. De tal modo que as maiores TEP foram observadas para os tratamentos BFLC15 e 30, BFIT15 e 30 (Figura 4). No cálculo da TEP, entra em conta apenas a proteína proveniente do alimento artificial (rações), não sendo considerado a contribuição da proteína natural, proveniente dos bioflocos e perifiton. É por isso que os melhores resultados de TEP, dentro de um mesmo tratamento, ocorreram para o maior nível de restrição alimentar (30%). Nesses tanques, houve queda na oferta de proteína artificial, mas manutenção parcial do ganho em peso dos peixes, a partir do consumo de proteína natural.

Figura 4 – Taxa de eficiência proteica de juvenis de tilápia do Nilo (peso corporal inicial = $1,22 \pm 0,08$ g; média \pm d.p.; n = 4).



AV0: cultivo convencional de juvenis de tilápia em águas verdes, sem restrição alimentar; AV15: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em AV0; AV30: o mesmo que em AV0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em AV0; BFLC0: cultivo regular de juvenis de tilápia em tanques com ajuste da relação C: N da água para formação de bioflocos; BFLC15: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFLC0; BFLC30: o mesmo que em BFLC0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFLC0; BFIT0: o mesmo que em BFLC0, exceto pela instalação de estruturas submersas para o desenvolvimento de perifiton; BFIT15: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 15% em relação ao praticado em BFIT0; BFIT30: o mesmo que em BFIT0, exceto pela restrição alimentar de 30% em relação ao praticado em BFIT0. Colunas com letras distintas representam médias significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (ANOVA $P < 0,05$).

Do ponto de vista ambiental, é importante ter-se uma TEP elevada, pois isso significa que menos amônia será liberada para o meio. Entretanto, como houve queda significativa no crescimento dos peixes nos tanques BFLC30 e BFIT30, a melhor solução, nesse caso, para conciliar desempenho zootécnico e sustentabilidade ambiental, é a adoção do nível de restrição alimentar moderado de 15%. A proteína do perifíton não trouxe benefícios ao cultivo além daqueles já alcançados pela presença de bioflocos nos tanques.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho de pesquisa concluiu o que segue abaixo:

Os sistemas de cultivo de peixes com ajuste da relação C: N da água (bioflocos) e com integração entre bioflocos e perifíton (biofíton) exigem monitoramento da qualidade de água mais cuidadoso e sistemático por parte do produtor, em relação ao realizado no sistema convencional (águas verdes);

Os efeitos positivos da restrição na oferta de alimento artificial sobre a qualidade de água de cultivo são anulados pela queda no desempenho produtivo quando o nível de restrição praticado é de 30 %;

A instalação de estruturas submersas para perifíton em tanques com bioflocos não traz novos benefícios para qualidade de água e desempenho zootécnico, além daqueles já alcançados apenas com o uso de bioflocos;

Em sistemas de cultivo de peixes com ajuste da relação C: N da água (bioflocos) e com integração entre bioflocos e perifíton (biofíton), é possível reduzir a oferta de alimento artificial sem prejuízo zootécnico desde que o nível de restrição praticado seja moderado.

REFERÊNCIAS

ABBINK, W.; GARCIA, A. B.; ROQUES, J. A. C.; PARTRIDGE, G.J.; KLOET, K.; SCHNEIDER, O. The effect of temperature and pH on the growth and physiological response of juvenile yellowtail kingfish *Seriola lalandi* in recirculating aquaculture systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 330–333, p. 130–135, 2011.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and waste water**. 20th ed. New York: American Public Health Association, 1999. 1325 p.

AVNIMELECH, Y. Bio-filters: The need for an new comprehensive approach. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 34, p. 172–178, 2006.

AZIM, M. E., LITTLE, D. C. BRON, J. E. Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 9, p. 3590-3599, 2008.

AZIM, M.E., BEVERIDGE, M.C.M., VAN DAM, A.A., VERDEGEM, M.C.J. Periphyton and aquatic production: an introduction. In: AZIM, M.E., VERDEGEM, M.C.J., VAN DAM, A. A., BEVERIDGE, M.C.M. (Eds.), **Periphyton: Ecology, Exploitation and Management**. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 1–11. 2005.

CORREIA, E. S.; WILKENFELD, J.S.; MORRIS, T.C.; WEI, L.; PRANGNELL, D.I.; SAMOCHA, T.M. Intensive nursery production of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* using two commercial feeds with high and low protein content in a biofloc-dominated system. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 59, p. 48-54, 2014.

CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 270, p. 1-14, 2007.

EL-SHAFI, S.A. EL-GOHARY, F.A.; NASR, F.A.; STEEN, N.P.; GIJZEN, H.J. Chronic ammonia toxicity to duckweed-fed tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 232, n. 1-4, p. 117-127, 2004.

EMERENCIANO, M.; CUZON, G.; AR;EVALO, M.; GAXIOLA, G. Biofloc technology in intensive broodstock farming of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum*: spawning performance, biochemical composition and fatty acid profile of eggs. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 45, p. 1581–1736, 2014.

FERRAGUT, C.; CAMPOS B. D. Periphytic algal community adaptive strategies in N and P enriched experiments in a tropical oligotrophic reservoir. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 646, p. 295-309, 2010.

HU, Z.; LEE, J. W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; KHANAL, S. K. Nitrous Oxide (N₂O) Emission from Aquaculture: A Review. **Environmental Science Technology**, Easton, v. 46, p. 6470–6480, 2012.

JATOBA, A.; SILVA, J. S.; VIEIRA, F. N.; MOURINO, J. L. P.; SEIFFERT, W. Q.; TOLEDO, T. M. Protein levels for *Litopenaeus vannamei* in semi-intensive and biofloc systems. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 432, p. 365-371, 2014.

KHATOON, H.; BANERJEE, S.; YUAN, G. T. G.; HARIS, N.; IKHWANUDDIN, M.; AMBAK, M. A.; ENDUT, A. Biofloc as a potential natural feed for shrimp postlarvae. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Barking, v. 113, p. 304-309, 2016.

LIU, J.; WANG, F.; LIU, W.; TANG, C.; WU, C.; WU, Y. Nutrient removal by up-scaling a hybrid floating treatment bed (HFTB) using plant and periphyton: From laboratory tank to polluted river. **Bioresource Technology**, Essex, v. 207, p. 142–149, 2016.

LORENZO, M. A.; CANDIA, E. W. S.; SCHLEDER, D. D.; REZENDE, P. C.; SEIFFERT, W. Q.; VIEIRA, F. N. Intensive hatchery performance of Pacific white shrimp in the biofloc system under three different fertilization levels. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 72, p. 40–44, 2016.

NANCHARAIHAH, Y.V.; REDDY, K.K.; MOHAN, T.V.K. VENUGOPALAN, V.P. Biodegradation of tributyl phosphate, an organosphate triester, by aerobic granular biofilms. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 283, p. 705–711, 2015 .

REBOUÇAS, V.T.; CALDINI, N.N.; CAVALCANTE, D.H.; SILVA, F.J.R.; SÁ, M.V.C. Interaction between feeding rate and area for periphyton in culture of Nile tilapia juveniles. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá v. 34, n. 2, p. 161-167, 2012.

RICHARD, M.; MAURICE, J. T.; ANGINOT, A.; PATICAT, F.; VERDEGEM, M. C. J.; HUSSENOT, J.M.E. Influence of periphyton substrates and rearing density on *Liza aurata* growth and production in marine nursery ponds. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 310 p. 106–111, 2010.

ROSTAGNO, H. S. **Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

SCHRYVER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 3, p. 1162-1167, 2009.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; BALOI, M. F.; COSTODIO P. F. S.; ARANA, L. V.; SEIFFERT, W. Q.; ANDREATTA, E. R. Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and production rates. **Aquacultural Engineering**, Essex, v. 54, p. 93-103, 2013.

VILANI, F. G.; SCHVEITZER, R.; ARANTES, R. F.; VIEIRA, F. N.; SANTO, C. M. E. SEIFFERT, W. Q. Strategies for water preparation in a biofloc system: Effects

of carbon source and fertilization dose on water quality and shrimp performance. **Aquacultural Engineering**. Essex, v. 74, p. 70–75, 2016.

XU, W. J.; MORRIS, T. C.; SAMOCHA, T. M. Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 453, p. 169–175, 2016.

ZHAO, P.; HUANG, J.; WANG, X.H.; SONG, X.L.; YANG, C.H.; ZHANG, X.G.; WANG, G.C. The application of bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of *Marsupenaeus japonicus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 354-355, p. 97-106, 2012.

CAPÍTULO 6

1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente trabalho servem de subsídio para a adoção das tecnologias utilizadas no presente trabalho. Com base nos resultados dos quatro experimentos realizados conclui-se que:

1. Os sistemas baseados em bioflocos são mais eficientes na remoção de amônia e nitrito da água que os sistemas tradicionais de cultivo;
2. O sistema de bioflocos favorece o crescimento e promove taxas de conversão alimentares mais eficientes em relação ao sistema convencional, de forma mais evidente quando se adota elevadas densidades de estocagem ou restrições alimentares;
3. A redução de 15 % na oferta de ração, no cultivo BFT, não traz prejuízos zootécnicos aos animais cultivados, onde a perda do alimento artificial é compensada pela presença do alimento natural;
4. O cultivo em bioflocos demanda mais atenção à manutenção de parâmetros limnológicos adequados para o desenvolvimento do bioflocos e para a saúde dos animais cultivados, sendo mais adequado para cultivos intensivos e super-intensivos;
5. O cultivo baseado em substratos artificiais não se mostrou eficiente como purificador da água, tampouco trouxe benefícios no desempenho zootécnico aos animais cultivados, sendo indicado em cultivos semi-extensivos e semi-intensivos.

Ainda assim, apesar dos avanços obtidos com o presente estudo, novos trabalhos devem ser realizados com o objetivo de avaliar:

1. A viabilidade técnica e econômica da adoção desta tecnologia em escala comercial em tanque com um volume maior;
2. Avaliação da melhor densidade de estocagem dos juvenis de tilápia do Nilo a ser utilizada em um sistema de bioflocos, onde não se tenha prejuízos zootécnicos e acúmulos de amônia e nitrito;

3. A utilização dessas tecnologias no cultivo de outras espécies.