

**UNIOESTE – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PR
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL
DOUTORADO**

SIDNEI GREGÓRIO TAVARES

**SUSTENTABILIDADE DA TECNOLOGIA BIOFLOCOS SOBRE
DIFERENTES DENSIDADES DE ALEVINOS DE TILÁPIA DO NILO**

Marechal Cândido Rondon

2021

SIDNEI GREGÓRIO TAVARES

**SUSTENTABILIDADE DA TECNOLOGIA BIOFLOCOS SOBRE
DIFERENTES DENSIDADES DE ALEVINOS DE TILÁPIA DO NILO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável, do Centro de Ciências Agrárias da Unioeste – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito final para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Rural Sustentável.

Linha de Pesquisa: Inovações Sócio tecnológicas e Ação Extensionista

Orientador: Prof. Dr. Altevir Signor

Marechal Cândido Rondon

2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Gregório Tavares, Sidnei

Sustentabilidade da tecnologia bioflocos sobre diferentes densidades de alevinos de tilápia do Nilo. / Sidnei Gregório Tavares; orientador Altevir Signor. -- Marechal Cândido Rondon, 2021.

66 p.

Tese (Doutorado Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável, 2021.

1. densidade de estocagem. 2. crescimento. 3. qualidade de água. 4. sustentabilidade. I. Signor, Altevir, orient. II. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon

Centro de Ciências Agrárias – CCA

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável – Mestrado e Doutorado

SIDNEI GREGÓRIO TAVARES

**SUSTENTABILIDADE DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS SOBRE DIFERENTES
DENSIDADES DE ALEVINOS DE TILÁPIA-DO-NILO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável, de forma remota/síncrona, com uso da tecnologia de videoconferência, por meio das diversas opções de software/aplicativos disponíveis para essa modalidade, conforme orientação do Ato Executivo nº 021/2020-GRE, Resolução 052/2020 - CEPE e Portaria Capes nº 36/2020, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Rural Sustentável, área de concentração Desenvolvimento Rural Sustentável, linha de pesquisa Inovações Sociotecnológicas e Ação Extensionista, APROVADO pela seguinte banca examinadora:

1. ALTEVIR Signor – Orientador
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)
2. Caroline Nebo - Membro
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFFESPA)
3. Mariana Lins Rodrigues – Membro
4. Fábio Corbari – Membro
União de Ensino Superior do Iguaçu (UNIGUAÇU)
5. Roberta Farenzena – Membro
6. Leonardo Willian de Freitas
Universidade Federal do Mato grosso (UFMT)
7. Adriana Maria De Grandi
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

Marechal Cândido Rondon, PR, 04 de junho de 2021.

Wilson João Zonin

Coordenador Especial do PPGDRS
Portaria nº 4178/2020 – GRE

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código financeiro 001.

Ao professor e orientador Dr. Altevir Signor, por todo o suporte profissional e pessoal durante esses 4 anos de pesquisa!

Ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável, pela oportunidade de dar continuidade nos estudos sobre inovações sócio tecnológicas e ação extensionista.

Ao professor Dr. Aldi Feiden, por nos disponibilizar o laboratório de aquicultura para a realização dos experimentos.

Ao professo Dr. Wilson Zonin, pelo apoio, acompanhamento e gerenciamento do PPGDRS.

Aos integrantes da banca de qualificação e defesa, pelas sugestões de melhorias no texto inicial (Dra. Mariana Lins Rodrigues, Dra. Caroline Nebo, Dra. Adriana Maria de Grandi, Dra Roberta Farenzema, Dr. Leonardo Willian de Freitas, Dr. Fábio Corbari).

A cooperativa COOPACOL, por doar ingredientes para confecção da ração e alevinos.

RESUMO GERAL

TAVARES, Sidnei Gregório. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, junho de 2021. **Sustentabilidade da tecnologia bioflocos sobre diferentes densidades de alevinos de tilápia do Nilo.**

A tecnologia de cultivo em bioflocos (BFT) consiste em uma alternativa para produção em alta densidade, que mantém a qualidade da água e uma mínima taxa de renovação, contribuindo para as metas de desenvolvimento sustentável, resultando em maior produtividade com menor impacto para o meio ambiente. Nesse contexto, este estudo foi dividido em duas etapas, no qual, a Etapa I: teve como objetivo o estudo de revisão sobre a sustentabilidade econômica, social e ambiental da biotecnologia bioflocos no cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Com uma revisão sistemática, utilizou-se como metodologia os detalhamentos dos critérios de exclusão e inclusão adotados para a seleção da amostra e análise dos conteúdos das publicações. Optou-se pela metanálise de natureza mista com artigos científicos no período de 2008 a 2021. Os artigos utilizados neste estudo foram pesquisados nas bases Scopus e Web of Science. Neste sentido, os estudos envolvendo a biotecnologia de bioflocos, contemplados nessa metanálise, pertencem especialmente à ordem técnica, seguida da sustentabilidade da tecnologia empregada e aspectos positivos com relação ao âmbito econômico. Entretanto, há um déficit na abordagem dos aspectos sociais envolvidos com a aplicação desta biotecnologia. Etapa II: O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes densidades de estocagem sobre a qualidade da água do sistema BFT, desempenho zootécnico, fisiologia intestinal, hepática e muscular de alevinos de tilápia do Nilo. Foi avaliada a densidade de criação dos alevinos sendo: 375, 750, 1.125 e 1.500 peixes/m³ em sistema BFT. Concluiu-se que a densidade de estocagem de 375 peixes/m³ proporcionou níveis mais baixos de amônia e nitrito no ambiente aquático e a densidade de estocagem 1125 peixes/m³ proporcionou o melhor desempenho produtivo, mantendo os processos fisiológicos dos peixes, além disso, garantiu os níveis de qualidade da água toleráveis para cultivo em BFT.

Palavras-chave: crescimento, densidade de estocagem, histologia, qualidade de água, sustentabilidade.

GENERAL ABSTRACT

TAVARES, Sidnei Gregório. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, June 2021. **Sustainability of biofloc technology on different densities of Nile tilapia fingerlings.**

Biofloc farming technology (BFT) is an alternative for high density production, which maintains water quality and a minimum renewal rate, thus contributing to the goals sustainable development, resulting in higher productivity with less impact on the environment. In this context, this study was divided into two stages, in which, Stage I: aimed at the review study on the economic, social and environmental sustainability of biofloc biotechnology in the cultivation of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. With a systematic review, it was used as methodology the details of the exclusion and inclusion criteria adopted for the selection of the sample and analysis of the content of the publications. Meta-analysis was used, opting for the mixed nature, of articles published in scientific journals from 2008 to 2021. In this sense, studies involving the biotechnology of bioflocs contemplated in this meta-analysis belong especially to the technical order, followed by the sustainability of the technology used and positive aspects regarding the economic scope. However, there is a deficit in addressing the social aspects involved with the application of this biotechnology. Step II: The objective was to evaluate the effect of different stocking densities on the water quality of the BFT system, zootechnical performance, intestinal, hepatic and muscular physiology of Nile tilapia fingerlings. The rearing density of fingerlings was evaluated: 375, 750, 1,125 and 1,500 fish/m³ in a BFT system. It was concluded that the stocking density of 375 fish/m³ provided the lowest levels of ammonia and nitrite in the aquatic environment and the stocking density of 1125 fish/m³ provided the best productive performance, maintaining the physiological processes of the fish, in addition, guaranteed tolerable water quality levels for BFT cultivation.

Keywords: fish farming, bioflocs, sustainability, *Oreochromis niloticus*, growth, histology.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1: A PRODUÇÃO CIENTÍFICA MUNDIAL SOBRE A TECNOLOGIA BIOFLOCOS NA TILAPICULTURA COMO PROPULSORA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

FIGURA 1- Nuvem de palavras-chave dos artigos científicos com tema bioflocos.....26

ARTIGO 2 : DIFERENTES DENSIDADES DE ESTOCAGEM DE ALEVINOS DE TILÁPIA EM SISTEMA BFT SOB QUALIDADE DA ÁGUA E DESEMPENHO PRODUTIVO

FIGURA 1- Estrutura experimental de sistema bioflocos para o cultivo de tilápia do Nilo em diferentes densidades.....42

FIGURA 2- Intestino em corte transversal. Altura das vilosidades evidentes (L1-L3). H.E. 40x de aumento.....46

FIGURA 3- Avaliação da integridade hepática das estruturas e hepatócitos. (↑) hepatócitos com núcleo marcado, hepatopâncreas (hp) e vaso sanguíneos com eritrócitos (e). (HE, objetivo 40x).....46

FIGURA 4- Detalhe do tecido muscular. Diâmetro das fibras musculares (L1). (HE, objetivo 40x).....47

FIGURA 5- Avaliação da água com uso de Kit colorimétrico.....48

FIGURA 6- Cone de inhoff graduado.....48

FIGURA 7- Sedimentador.....49

FIGURA 8- Histologia hepática de alevinos de tilápia do Nilo cultivadas em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem. Hepatócitos homogêneos (h), vasos sanguíneos (v) e hepatopâncreas (hp) bem delimitados (HE, objetivo 40x).....53

FIGURA 9- Histologia hepática de alevinos de tilápia do Nilo cultivadas em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem. Tecido hepático normal e homogêneo, apresentando vasos (v) e hepatopâncreas (hp) evidentes H.E. 10x de aumento.....53

FIGURA 10- Histologia hepática de alevinos de tilápia do Nilo cultivadas em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem. Hepatócitos padronizados e com núcleos bem-marcados (→), coloração H.E. 40x de aumento.....54

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1: A PRODUÇÃO CIENTÍFICA MUNDIAL SOBRE A TECNOLOGIA BIOFLOCOS NA TILAPICULTURA COMO PROPULSORA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

TABELA 1- Periódicos que abordaram pesquisas sobre o tema “Bioflocos”21

TABELA 2- Dados de artigos selecionados para o levantamento bibliográfico sobre sistema de bioflocos para tilápia do Nilo.....22

TABELA 3- Quantidade de artigos publicados sobre Bioflocos para produção de tilápia do Nilo.....25

ARTIGO 2 : DIFERENTES DENSIDADES DE ESTOCAGEM DE ALEVINOS DE TILÁPIA EM SISTEMA BFT SOB QUALIDADE DA ÁGUA E DESEMPENHO PRODUTIVO

TABELA 1- Composição da dieta experimental para alevinos de tilápia do Nilo.....43

TABELA 2- Variáveis de desempenho produtivo de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.....51

TABELA 3- Índices somáticos e variáveis intestinais de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.....51

TABELA 4- Histomorfometria intestinal de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.....52

TABELA 5- Distribuição de frequência de fibras musculares em diferentes classes de diâmetros de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.....52

TABELA 6- Qualidade de água de cultivo de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.....55

TABELA 7- Composição centesimal dos resíduos de BFT no cultivo de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.....55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2 JUSTIFICATIVA.....	14
3 OBJETIVO GERAL.....	15
4 ESTRUTURA DA TESE.....	15
ARTIGO 1: A PRODUÇÃO CIENTÍFICA MUNDIAL SOBRE A TECNOLOGIA BIOFLOCOS NA TILAPICULTURA COMO PROPULSORA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	16
Resumo.....	17
1. Introdução.....	18
2. Conceito de bioflocos, aplicabilidade do sistema e relação com meio ambiente.....	19
3. Metodologia.....	20
4. Resultados e discussão.....	21
5. Considerações finais.....	34
6. Referências.....	35
ARTIGO 2: DIFERENTES DENSIDADES DE ESTOCAGEM DE ALEVINOS DE TILÁPIA EM SISTEMA BFT SOB QUALIDADE DA ÁGUA E DESEMPENHO PRODUTIVO.....	38
Resumo.....	39
1. Introdução.....	40
2. Material e métodos.....	41
3. Resultados.....	50
4. Discussão.....	55
5. Conclusão.....	60
6. Referências.....	60

1 INTRODUÇÃO GERAL

Constantemente enfrenta-se o desafio de crescer em um mundo com recursos limitados, trazendo a necessidade de refletir sobre o comportamento humano e formas de exploração do mundo para buscar garantir as necessidades das próximas gerações. Existe a possibilidade de que a população humana atinja cerca de 10 bilhões até 2050, o que gera dúvidas sobre como será alimentada toda essa população. Para alimentar todo esse contingente de pessoas estima-se que a produção de alimentos deverá aumentar 50% globalmente (FAO, 2019).

A nutrição humana é baseada principalmente em água, carboidratos, proteínas, gorduras, minerais e vitaminas. Esses nutrientes podem ser fornecidos a partir de vegetais e/ou animais, contudo, para produção dos alimentos, muitos recursos essenciais são utilizados, como água, solo e fontes de energia. No sistema de produção de pescados, por exemplo, como proteína animal saudável, a tecnologia empregada depende essencialmente da água. Em face disso, tem-se buscado o aprimoramento dos sistemas intensivos, que visam além da alta produtividade, a redução dos efluentes gerados, o reuso das águas de cultivo e a menor disseminação de patologias no ambiente.

A preocupação com a preservação de recursos naturais tem conduzido ao uso de sistemas sustentáveis na produção de proteína animal que minimizem o impacto no meio ambiente (Hu et al., 2015). Na aquicultura, o sistema de cultivo em bioflocos, é um sistema de produção intensiva com troca mínima ou zero de água, no qual microrganismos formam agregados suspensos na coluna da água removendo compostos nitrogenados tóxicos (Avnimelech, 2015) para produção de peixes e camarões. Caracteriza-se pela baixa ou zero descarga de efluentes, apresenta alta biossegurança pelos protocolos de produção adotados e produtividade expressiva (Crab et al., 2012; Avnimelech, 2015), sem necessariamente aumentar a utilização de espaço físico e da água (Avnimelech et al., 2009), quando comparada aos sistemas de produção tradicionais.

A tecnologia de cultivo em bioflocos (BFT) é considerada uma técnica sustentável ou uma tecnologia amigável para o meio ambiente, reduzindo as trocas de água a zero nos sistemas de aquicultura (Avnimelech, 2007; Azim e Little, 2008). O sistema BFT é capaz de desenvolver um processo produtivo dentro do quadro esperado pelo desenvolvimento sustentável na aquicultura, não apenas na visão econômica, mas também social e ambiental.

O sistema de BFT é considerado, ainda, um sistema de troca mínima ou até mesmo zero de água, o que lhe confere as vantagens de manter a temperatura e as flutuações de calor (Crab et al. 2009). Além disso, esse sistema promove a metabolização dos compostos nitrogenados, mesmo quando a matéria orgânica e a demanda bioquímica de oxigênio no ambiente de cultivo são altas (Avnimelech, 2015).

Segundo Bossier e Ekasari (2017), a aplicação da BFT oferece benefícios na melhoria da produção da aquicultura, a qual pode contribuir para a consecução de metas de desenvolvimento sustentável. Esta tecnologia pode resultar em maior produtividade com menor impacto para o meio ambiente. Além disso, os sistemas podem ser desenvolvidos e realizados em integração com a produção de outros alimentos, promovendo sistemas integrados produtivos e visando produzir mais alimentos, os quais podem ser provenientes, inclusive, da mesma área de terra com menos insumos. Entretanto, os autores afirmam ainda que a tecnologia está em fase preliminar.

As vantagens da tecnologia BFT na aquicultura têm sido bem documentadas, o que inclui baixo consumo de alimento artificial e água (econômico), menor risco de introdução de patógenos e doenças, maior biossegurança, maior crescimento e sobrevivência e, portanto, maior produção aquícola (Otoshi et al. 2009; Crab et al., 2009; Samocha et al., 1998, 2007; Krummenauer et al., 2011; Pérez-Fuentes et al., 2013). Em contrapartida, há um valor agregado ao consumo de energia elétrica, que será insumo de uso contínuo nesse modelo produtivo (Pasco, 2015).

Ahmad et al. (2017), afirmam que uma série de características benéficas está associada à tecnologia BFT, como 10 a 20% do potencial de ganho de alimento estimado pela aplicação da tecnologia quando comparado a sistemas tradicionais de cultivo (Crab et al., 2007; De Schryver et al., 2008). Este aumento foi baseado na recirculação interna de nutrientes através da formação de nova biomassa microbiana, que foi subsequentemente utilizada como fonte de alimento pelos animais cultivados (Avnimelech, 2006). Ocorre ainda a melhoria da taxa de conversão alimentar pela utilização da alimentação natural *in situ*, reduzindo os impactos ambientais (Krummenauer et al. 2014). Nesse sentido, é possível caracterizar esse sistema como robusto, fácil de operar e economicamente viável (Crab et al. 2012).

A comunidade microbiana que compõe o BFT recicla nutrientes presentes no sistema, contribuindo com fonte de alimento para os organismos cultivados, e conseqüentemente, reduzem as taxas de conversão alimentar e os custos com alimentação, reduzindo o uso de dietas comerciais (López-Elías et al., 2015; Pérez-Fuentes et al., 2016). Além disso, há maior controle de toxinas e compostos nitrogenados, devido à ação de microrganismos heterotróficos e quimioautotróficos via assimilação, nitrificação ou assimilação fotoautotrófica (Avnimelech, 2015) no sistema, produzindo ainda uma biomassa de alta qualidade (Martínez-Córdova et al., 2015). Outra vantagem, da produção de organismos aquáticos em BFT consiste na modulação do sistema imunológico dos animais, atuando como uma fonte de compostos bioativos, melhorando os mecanismos de defesa, proporcionando assim uma maior proteção contra doenças (Long et al., 2015; Haridas et al., 2017; Menaga et al., 2020). Neste contexto, a tecnologia BFT tem sido uma alternativa para alcançar a sustentabilidade na produção de organismos aquáticos (Manduca, 2020), e em especial utilizando-se de espécies comerciais de representatividade mercadológica.

A produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) consiste em uma importante atividade na disponibilidade de proteína de origem animal para consumo humano, sendo a segunda espécie mais produzida em escala mundial, segundo a FAO (2019). A espécie apresenta características favoráveis para sua produção como as fases de desenvolvimento, o fácil manejo e adaptação a sistemas intensivos, rusticidade, ótimo crescimento (Fitzsimmons et al., 2011), reprodução facilitada, conhecimento das exigências nutricionais (Furuya, 2010), melhoramento genético, beneficiamento em escala industrial, e a ótima aceitabilidade do consumidor quando comparada a outras espécies cultiváveis (Boscolo et al., 2001; Souza, 2002; Simões et al., 2007).

O uso da tilápia em BFT indicam que a espécie é uma das mais adequadas ao sistema intensivo de cultivo, apresentando ótimo desempenho em crescimento e sobrevivência (Dey et al., 2000), devido a tolerância em altas densidades e a qualidade da água, e ainda, usar como alimento a proteína microbiana rica em nutrientes e disponível no sistema (Martínez-Córdova et al., 2015), devido ao hábito alimentar filtrador (Rodrigues et al., 2015).

Estudos que relacionem a densidade de estocagem, desempenho em crescimento e qualidade da água do BFT são de grande relevância para aprimorar a eficiência e as fases de produção no sistema de cultivo intensivo, entretanto, ainda necessitam ser elucidados. Segundo Manduca et al. (2020), protocolos de controle da qualidade da água, a partir da renovação e adição de fontes de carbono na água quando necessários, proporcionaram o uso de altas densidades de estocagem e sobrevivência em BFT na produção de tilápia, contudo, influenciou no baixo crescimento dos peixes.

A densidade de estocagem em sistema superintensivo como o BFT deve ser melhor elucidada, em especial na fase de alevinos, pois a qualidade da água de cultivo pode influenciar diretamente nas vias metabólicas, manutenção fisiológica e crescimento dos animais. Além disso, o BFT é uma tecnologia capaz de desenvolver um processo produtivo dentro do quadro esperado pelo desenvolvimento sustentável na aquicultura, não apenas na visão econômica, mas também social e ambiental.

2 JUSTIFICATIVA

O setor produtivo aquícola depende da implementação de tecnologias sustentáveis e favoráveis ao meio ambiente para o sucesso produtivo e o aumento dos recursos para a alimentação humana. Nesse sentido, o aprimoramento dos sistemas intensivos visa além da alta produtividade, a redução dos efluentes gerados, o reuso das águas de cultivo e a menor disseminação de patologias.

A densidade de estocagem em sistema super-intensivo como o sistema de tecnologia de bioflocos (BFT) deve ser melhor elucidada, em especial na fase de alevinos, pois a qualidade da água de cultivo pode influenciar diretamente nas vias metabólicas, manutenção fisiológica e crescimento dos animais. Além disso, o BFT é uma tecnologia capaz de desenvolver um processo produtivo dentro do quadro esperado pelo desenvolvimento sustentável na aquicultura, não apenas na visão econômica, mas também social e ambiental.

3 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi realizar um levantamento bibliográfico da produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em BFT e avaliar o efeito de diferentes densidades de estocagem sobre a qualidade da água do sistema BFT, desempenho produtivo, fisiologia intestinal, hepática e crescimento muscular de alevinos de tilápia do Nilo.

4 ESTRUTURA DA TESE

ARTIGO 1: A produção científica mundial sobre a tecnologia bioflocos na tilapicultura como propulsora do desenvolvimento sustentável

– Nesse manuscrito, foi apresentado um levantamento bibliográfico sistemático sob a sustentabilidade econômica, social e ambiental da biotecnologia bioflocos no cultivo de tilápia do Nilo *Oreochromis*;

ARTIGO 2: diferentes densidades de estocagem de alevinos de tilápia em sistema bft sob qualidade da água e desempenho produtivo

– Nesse manuscrito, foi apresentado resultados de um ensaio avaliando o efeito de diferentes densidades de estocagem de alevinos de tilápia do Nilo sob a qualidade da água do sistema BFT de cultivo, desempenho produtivo dos animais, histologia intestinal, hepática e crescimento muscular dos peixes.

ARTIGO 1

**A PRODUÇÃO CIENTÍFICA MUNDIAL SOBRE A TECNOLOGIA
BIOFLOCOS NA TILAPICULTURA COMO PROPULSORA DO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Manuscrito publicado na revista científica Research, Society and Development.
ISSN 2525-3409.

DOI: <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.15200>

RESUMO

O objetivo deste estudo de revisão foi avaliar a sustentabilidade econômica, social e ambiental da biotecnologia bioflocos no cultivo de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus*. Com uma revisão sistemática, utilizou-se como metodologia os detalhamentos dos critérios de exclusão e inclusão adotados para a seleção da amostra e análise dos conteúdos das publicações. Os artigos utilizados neste estudo foram pesquisados nas bases Scopus e Web of Science. Foi utilizada a metanálise, optando-se pela natureza mista, ou seja, qualitativa e quantitativa de artigos publicados nas revistas científicas no período de 2008 a 2021. Constatou-se que a avaliação econômica, social e ambiental que contempla o desenvolvimento sustentável encontra-se em fase inicial de abordagem, face ao número de artigos que contemplam o assunto no período analisado. Os estudos envolvendo a biotecnologia de bioflocos contemplados nessa metanálise pertencem especialmente a ordem técnica, seguida da sustentabilidade da tecnologia empregada e aspectos positivos com relação ao âmbito econômico. Não obstante, há um déficit na abordagem dos aspectos sociais envolvidos com a aplicação desta biotecnologia.

PALAVRAS-CHAVE: Piscicultura; Bioflocos; Sustentabilidade; Desenvolvimento tecnológico; Agronegócio.

1. INTRODUÇÃO

Constantemente enfrenta-se o desafio de crescer em um mundo com recursos limitados, trazendo a necessidade de refletir sobre o comportamento humano e formas de exploração do mundo para buscar garantir as necessidades das próximas gerações. Existe uma possibilidade de que a população humana atinja cerca de 10 bilhões até 2050, e como será alimentada toda essa população? Para alimentar esses 2 bilhões de humanos a mais e livres da fome até as projeções, a produção de alimentos deverá aumentar 50% globalmente (FAO, 2019).

A nutrição humana é baseada principalmente em água, carboidratos, proteínas, gorduras, minerais e vitaminas. Esses nutrientes podem ser fornecidos a partir de vegetais e animais, contudo, para produção dos alimentos, muitos recursos essenciais são utilizados como água, solo, fontes de energia.

No sistema de produção de pescados por exemplo, como proteína animal saudável e completa nutricionalmente, os sistemas de produção empregados dependem essencialmente da água e ao longo do tempo, a busca pelo aprimoramento dos sistemas intensivo, têm como meta além da alta produtividade, a redução dos efluentes gerados, o reuso das águas de cultivo e minimizar a disseminação de patologias no ambiente.

A Tecnologia Bioflocos (BFT) é considerada uma técnica sustentável ou uma tecnologia amigável para o meio ambiente, reduzindo as trocas de água a zero nos sistemas de aquicultura (Avnimelech, 2007; Azim e Little, 2008). O sistema BFT é uma tecnologia capaz de desenvolver um processo produtivo dentro do quadro esperado pelo desenvolvimento sustentável na aquicultura, não apenas na visão econômica, mas também social e ambiental.

O objetivo deste estudo de revisão científica tem por objetivo avaliar a sustentabilidade econômica, social e ambiental do bioflocos para tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, contida na produção científica mundial.

Este artigo está estruturado em quatro seções, além desta introdução. Na seção 2, apresenta-se o referencial teórico. Na seção 3 apresentam-se a metodologia e os procedimentos operacionais da pesquisa. Na seção 4, apresentam-se os resultados e discussão, e por fim, as considerações finais.

2. CONCEITO DE BIOFLOCOS, APLICABILIDADE DO SISTEMA E RELAÇÃO COM MEIO AMBIENTE

Pérez-Fuentes *et al.* (2016), defendem em seu estudo que o sucesso e a permanência do setor de aquicultura dependem da implementação de tecnologias sustentáveis e favoráveis ao meio ambiente, sendo que a tecnologia BFT otimiza a utilização de energia e recursos durante a produção, de modo que os resultados contribuem de forma significativa para o setor.

Para Bossier e Ekasari (2017), a aplicação da tecnologia BFT oferece benefícios na melhoria da produção da aquicultura que pode contribuir para a consecução de metas de desenvolvimento sustentável. Esta tecnologia pode resultar em maior produtividade com menor impacto para o meio ambiente. Além disso, os sistemas podem ser desenvolvidos e realizados em integração com a produção de outros alimentos, promovendo sistemas integrados produtivos, visando produzir mais alimentos e alimentos provenientes da mesma área de terra com menos insumos. Os autores ainda afirmam que a tecnologia ainda está em fase preliminar.

As vantagens da tecnologia na aquicultura tem sido bem documentada, o que inclui baixo consumo de alimento artificial e água (econômico), menor risco de introdução de patógenos e doenças, maior biossegurança, maior crescimento e sobrevivência e, portanto, maior produção agrícola (OTOSHI *et al.* 2009; CRAB *et al.*, 2009; SAMOCHA *et al.*, 1998, 2007; KRUMMENAUER *et al.*, 2011; PÉREZ-FUENTES *et al.*, 2013). Em conta partida, há um valor agregado ao consumo de energia elétrica, que será insumo de uso contínuo nesse modelo de produtivo (Pasco, 2015).

Ahmad *et al.* (2017) afirmam que uma série de características benéficas está associada à tecnologia BFT, como 10 a 20% do potencial de ganho de alimento estimado pela aplicação da tecnologia quando comparado a sistemas tradicionais de cultivo (Crab *et al.*, 2007; De Schryver *et al.*, 2008), este aumento foi baseado na recirculação interna de nutrientes através da formação de nova biomassa microbiana, que foi subsequentemente utilizada como fonte de alimento pelos peixes (AVNIMELECH, 2006). Ocorre ainda a redução da taxa de conversão alimentar pela utilizando a alimentação natural *in situ*, reduzindo os impactos ambientais (Krummenauer *et al.* 2014), nesse sentido, pode ser

caracterizado como um sistema robusto, fácil de operar e economicamente viável (CRAB *et al.* 2012).

O sistema de bioflocos é considerado ainda um sistema de troca de água zero, com vantagens de manter a temperatura e as flutuações de calor (Crab *et al.* 2009) suportando a remoção de nitrogênio mesmo quando a matéria orgânica e a demanda bioquímica de oxigênio do sistema são altas (AVNIMELECH, 2015).

3. METODOLOGIA

As revisões sistemáticas são utilizadas por serem abrangentes e não tendenciosas em sua preparação. Os critérios adotados são divulgados para que outros pesquisadores possam repetir o procedimento. Revisões sistemáticas de boa qualidade são consideradas como tendo um dos melhores níveis de evidência para a tomada de decisão. Seguindo um método científico explícito e apresentando novos resultados, a revisão sistemática é classificada como contribuição original na maioria dos periódicos de pesquisa (GALVÃO; PEREIRA, 2014).

Quanto à análise utilizou-se a que tem natureza qualitativa e quantitativa. A natureza quantitativa, segundo Fachin (2006), é aquela onde os dados são quantificados e mensurados. Quanto à abordagem qualitativa, Richardson (1999) menciona que esta se diferencia da quantitativa por não usar instrumentos estatísticos em sua análise. Assim, nem todos os dados são comprovados em números.

A análise da pesquisa se deu por meio da quantificação entre os autores, as palavras-chave, as revistas, a relevância científica, dentre outras. Já a análise qualitativa se deu por meio da percepção dos autores quanto às informações relevantes encontradas em cada um dos artigos selecionados.

A identificação das definições operacionais nas construções teóricas sobre bioflocos em sistema intensivo de produção de tilápias, primeiramente realizou-se uma busca nas bases de dados *Web of Science* e na *Scopus*, em 10 de março de 2021, usando os seguintes termos de busca como critérios de inclusão: “*biofloc*”, “*bioflocs*” e “*biofloc niloticus*”. Obtiveram-se primeiramente 96 artigos (sem os critérios de exclusão). Os critérios de inclusão tiveram que ter um caráter generalizado por conta de ser um estudo novo. Como existem mais

estudos da aplicabilidade da tecnologia do bioflocos para o cultivo de camarões e para outros sistemas de recirculação de água, a pesquisa teve vários critérios de exclusão: “*vannamei*”, “*shrimp*”, “*aquaponic*”, “*raceway*”, “*RAS- Recirculating aquaculture system*”, “*common carp*”, “*reproductive performance*”, “*polymer addition*”, “*penaeus monodon*”, “*catfish*”, “*cage systems*”, “*DSW - distillery spent wash*”, “*poly-beta-hydroxybutyric*”, “*polycaprolactone*”, “*inoculation*”, “*labeo rohita*” e “artigos incompletos”.

O uso desse refinamento resultou em documentos no banco de dados da *Web of Science* (WOS) e na base de dados *Scopus*, utilizando os mesmos critérios de inclusão e exclusão, resultando em publicações em periódicos datados de 2008 a 2021. O estudo concentra-se na análise de artigos, como tema a tecnologia de bioflocos para tilapicultura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do levantamento das publicações realizadas nos principais periódicos (Tabela 1), constatou-se que apenas 75 artigos pesquisaram temas relacionados a tecnologia de bioflocos para a tilápia (*Oreochromis niloticus*), o que pode ser considerado um índice baixo em razão do quanto ainda este tema precisa ser pesquisado, em parte é explicado por ser uma técnica que ainda está sendo testada.

Tabela 1. Periódicos que abordaram pesquisas sobre o tema “Bioflocos”.

Revista	Instituição	Fator de impacto
<i>Acta Scientiarum</i>	UEM	0.300
<i>Aquacultural Engineering</i>	ELSEVIER	2.638
<i>Aquaculture</i>	ELSEVIER	3.224
<i>Aquaculture Research</i>	ISI JOURNAL CITATION REPORTS	1.748
<i>Fish & Shellfish Immunology</i>	ELSEVIER	3.298
<i>Microbial Biotechnology</i>	ISI JOURNAL CITATION REPORTS	5.328
<i>North American Journal of Aquaculture</i>	WILEY	1.077
<i>Aquaculture International</i>	SPRINGER	1.750
<i>Revista Caatinga</i>	UFERSA	0.713

Artigos selecionadas com base na *Web of Science* e na *Scopus* (2021). Fonte: Autores (2021).

Com a análise dos artigos escolhidos e sob a perspectiva do objetivo deste estudo utilizou-se de sete (7) revistas localizadas em vários países, entre eles Brasil, China, Indonésia e Índia. A revista mais utilizada foi a *Aquaculture* que contempla a maior parcela dos artigos selecionados. A tabela 2 apresenta alguns dados dos artigos selecionados como: autores, ano de publicação, título da pesquisa, periódico e país onde o estudo foi feito.

Tabela 2. Dados de artigos selecionados para o levantamento bibliográfico sobre sistema de bioflocos para tilápia do Nilo.

Autor(es)	Ano	Título	Revista	País
M.E. Azim; D.C. Little	2008	The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition and growth and well-being of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Aquaculture	Reino Unido
Guo-zhi Luo Yoram Avnimelech; Yun-feng Pan; Hong-xin Tan.	2013	Inorganic nitrogen dynamics in sequence batch reactors using biofloc technology to treat aquaculture sludge	Aquacultural Engineering	China
Julie Ekasari; Deasy Angela; Setiyo Hadi Waluyo; Taufiq Bachtiar; Enang Harris Surawidjaja; Peter Bossier; Peter De Schryver	2014	The size of the biofloc determines the nutritional composition and the recovery of nitrogen by aquaculture animals	Aquaculture	Indonésia
Lina Long; Jing Yang; Yuan Li; Chong Wu Guan; Fan Wu.	2015	Effect of biofloc technology on growth, digestive enzymatic activity, hematology and immune response of genetically improved tilapia	Aquaculture	China
Julie Ekasari; Dio Rheza Rivand; Amalia Putri Firdausi; Enang Harris Surawidjaja; Muhammad Zairin Jr; Peter Bossier. Peter De Schryver	2015	Biofloc technology positively affects Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) larvae performance	Aquaculture	Indonésia
Scott B. Day; Khalid Salie; Henk B. Stander.	2016	A growth comparison among three commercial tilapia species in a biofloc system	Aquaculture International	África do Sul
Song Ming Zhu; Ming Ming Shi; Yun Jie Ruan;	2016	Applications of computational fluid dynamics to hydrodynamic	Aquacultural Engineering	China

Xi Shan Guo; Zhang Ying Ye; Zhi Ying Han; Ya Le Deng; Gang Liu.		modeling in the recirculation biocirculation tilapia rearing tank Technology system		
Gabriel Bernardes Martins; Fábio Tarouco; Carlos Eduardo Rosa; Ricardo Berteaux Robaldo.	2017	The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system: water quality, growth performance and oxidative stress of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Aquaculture	Brasil
Gabriel Francisco de Oliveira Alves; Arthur Francisco Araújo Fernandes; Érika Ramos de Alvarenga; Eduardo Maldonado Turra; Alexandre Benvindo de Sousa; Edgar de Alencar Teixeira.	2017	Effect of the transfer at different moments of the juvenile Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) to the BioFloc system in formation	Aquaculture	Brasil
Gang Liu; Songming Zhu; Dezhao Liu; Zhangying Ye.	2018	Effect of the C/N ratio on inorganic nitrogen control and the growth and physiological parameters of tilapias fingerlings, <i>Oreochromis niloticus</i> reared in biofloc systems	Aquaculture research	China
Gang Liu; Zhangying Ye; Dezhao Liu; Jian Zhao; Elayaraja Sivaramasamy; Yale Deng, Songming Zhu.	2018	Influence of stocking density on growth, digestive enzyme activities, immune responses, antioxidant of <i>Oreochromis niloticus</i> fingerlings in biofloc systems	Fish & Shellfish Immunology	China
Baoxin Cao; Godwin Abakari; Guozhi Luo; Hongxin Tan; Xia Wu.	2019	Comparative analysis of nitrogen and phosphorus budgets in a bioflocs aquaculture system and recirculation aquaculture system during overwintering of tilapia (GIFT, <i>Oreochromis niloticus</i>)	Aquacultural Engineering	China
Lombardo García- Ríos; Anselmo Miranda-Baeza; Maurício Gustavo	2019	Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using	Aquaculture	México

Coelho-Emerenciano; José Alberto Huerta-Rábago;, Pablo Osuna-Amarillas.		different carbon sources: Emphasis on commercial applications		
Muhammad H. Azhar; Suciyono Suciyo; Darmawan S. Budi; Mohammad F. Ulkhaq; Mai Anugrahwati; Julie Ekasari.	2020	Biofloc-based co-culture systems of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) and redclaw crayfish (<i>Cherax quadricarinatus</i>) with different carbon–nitrogen ratios	Aquaculture International	Indonesia
Godwin Abakari; Guozhi Luo; Haoyan Meng; Zhang Yang; Gilbert Owusu-Afriyie; Emmanuel O. Kombat; Elliot H. Alhassan.	2020	The use of biochar in the production of tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) in a biofloc technology system - BFT	Aquacultural Engineering	China
Godwin Abakari; Guozhi Luo; Lina Shao; Yusuf Abdullateef; Samuel Jerry Cobbina.	2021	Effects of biochar on microbial community in bioflocs and gut of <i>Oreochromis niloticus</i> reared in a biofloc system	Aquaculture International	China
Menaga Meenakshisundaram; Felix Sugantham; Charulatha Muthukumar; Mohana Sundari Chandrasekar.	2021	Metagenomic characterization of biofloc in the grow-out culture of Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT)	Aquaculture research	Índia

Fonte: Autores (2021).

Apesar do período de análise ser a partir do ano 2008, é possível perceber que as publicações sobre bioflocos aconteceram com maior frequência a partir de 2017. As pesquisas ocorreram nos países foram o Brasil, seguido por China, Índia e Indonésia. Apesar de haver publicações de países espalhados por vários continentes, a China destaca-se com a maior parcela de pesquisas relacionadas ao sistema de cultivo em bioflocos.

Os periódicos e a quantidade de artigos sobre bioflocos distribuídos por ano segundo as publicações de revistas científicas da base *Web of Science* (WOS) e *Scopus* estão descritas na tabela 3.

Tabela 3. Quantidade de artigos publicados sobre Bioflocos para produção de tilápia do Nilo.

Periódico	2008	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
<i>Acta Scientiarum</i>	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	3
<i>Aquacultural Engineering</i>	0	1	0	0	1	0	1	2	1	0	6
<i>Aquaculture</i>	1	0	1	1	2	3	4	8	8	6	34
<i>Aquaculture international</i>	0	0	0	0	0	1	0	2	2	3	8
<i>Aquaculture Research</i>	0	0	0	0	0	4	5	2	3	1	15
<i>Fish & Shellfish Immunology</i>	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0	6
<i>Microbial Biotechnology</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>North American Journal of Aquaculture</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Revista Caatinga	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Total											75

Fonte: Autores (2021).

Outro ponto importante identificado foi quanto à metodologia utilizada pelas pesquisas estudadas. Percebe-se que os métodos de pesquisa utilizados nos artigos selecionados foram identificados da seguinte forma: dos dezoito artigos pesquisados, dezesseis artigos foram utilizados os métodos a base de experimento e somente dois artigos foram pesquisa bibliográfica e teórica.

Quanto as palavras-chave mais significativas utilizadas como critério de inclusão e exclusão desta pesquisa, percebe-se, de acordo com a Figura 4, que muitas encontram-se em vários dos artigos selecionados. A palavra-chave que mais se destacou foi *biofloc*.

Para corroborar na identificação das palavras-chave mais importantes nos artigos selecionados, fez-se uma nuvem de palavras (Clouds, 2020), conforme mostra a figura 1.

Figura 1. Nuvem de palavras-chave dos artigos científicos com tema bioflocos.



Fonte: Autores (2021).

Azin e Little (2008), avaliaram a tecnologia bioflocos (BFT) em tanques com tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em baixa luminosidade. Os autores verificaram uma taxa de sobrevivência de 100%, ou seja, sem mortalidade. Além disso, perceberam que é possível reduzir o percentual de proteína na ração de peixes criados em sistema bioflocos sem que ocorra diferença significativa no crescimento dos animais, sendo que essa redução demonstra que há o aproveitamento do material floculado como alimento pelos peixes. Os indicadores de bem-estar foram comparados e não foram registradas diferenças significativas entre BFT e tanques de controle, indicando que não houve aumento do estresse do peixe devido à presença de bioflocos. Outra constatação foi de que o peso final individual dos peixes criados em bioflocos foi 9-10% maior que no tratamento controle e a produção líquida de peixe foi 45% maior nos tanques BFT do que nos tanques de controle. Contudo, um dado interessante se refere à conversão alimentar dos peixes: no tanque controle a conversão alimentar foi mais elevada que no sistema bioflocos, mas mesmo no sistema bioflocos a conversão alimentar ficou acima dos índices desejados pela indústria. Porém, os próprios autores nos chamam atenção na possível causa desse desempenho pouco satisfatório:

No entanto, pode haver várias razões atribuídas aos pobres crescimento e produção de peixe. O aumento da turbidez devido ao biofoco reduz a visibilidade e, conseqüentemente, a ingestão de alimentos artificiais. Embora separador de flocos foi utilizado, não foi fácil manter o nível de SST (sólidos suspensos totais) de 500 mg/l, e muitas vezes o nível atingido foi para 1000 mg/l de SST especialmente durante a segunda metade do experimento (AZIN e LITTLE, 2008).

Com esta explicação fica claro que há uma grande possibilidade de baixo aproveitamento da ração pelos peixes, aumentando assim o desperdício e conseqüentemente a conversão alimentar. Esse último índice zootécnico é muito utilizado mundialmente e está intimamente ligado ao desempenho financeiro. Portanto, neste primeiro artigo há a tentativa de mostrar que esta tecnologia pode não ser viável se não atentar às peculiaridades.

Luo *et al.* (2013), buscaram compreender as reações de nitrogênio (N) inorgânico em um reator em batelada de seqüenciamento utilizando tecnologia Biofocos (BFT) com o objetivo de tratar sólidos em suspensão (SS), leia-se lodo, oriundos de outro sistema de produção de peixes. Os resultados mostraram que o amônio liberado dos sólidos em suspensão foi assimilado por bactérias heterotróficas para formar biofocos com adições suficientes de uma fonte de carbono: “Reduções acentuadas de amônio e nitrato foram encontradas: em 6 h, o amônio diminuiu de $13,22 \pm 0,98$ mg N / L para $0,40 \pm 0,02$ mg N / L e dentro de 5 h, o nitrato diminuiu de $72,41 \pm 1,34$ mg N / L para $0,10 \pm 0,02$ mg N / L”. **Com esses resultados é possível verificar o potencial que BFT possui em reduzir contaminantes em águas de criações de peixes, sendo um indicador de sustentabilidade ambiental.**

Ekasari *et al.* (2014), analisaram se a composição nutricional do biofocos estava relacionada com o tamanho de partículas do mesmo e constataram que a classe de biofocos de maior dimensão (100 μ m) continha os maiores níveis de proteína (27,8%) e lipídios (7,5%), já aquele de dimensão média (48 μ m) possui uma riqueza maior em aminoácidos essenciais, além de efetivamente recuperar melhor o nitrogênio disponível no ambiente aquático, demonstrando serem

ótimas fontes de nutrientes para animais aquáticos como tilápia e outros. **Ao conseguir recuperar melhor o nitrogênio da água, há redução da contaminação da mesma e, conseqüentemente, melhores desempenhos no sistema produtivo permitindo tanto uma melhoria ambiental como econômica.**

No geral, este estudo mostrou que o consumo de bioflocos camarão, tilápia vermelha e mexilhões ocorre independentemente do tamanho do floco, mas que o tamanho do floco pode desempenhar um papel importante na qualidade do biofoco em termos de composição nutricional e retenção de nitrogênio pelos animais (EKASARI et al.,2014).

Long et al. (2015), após pesquisas sobre “efeitos da tecnologia de bioflocos (BFT) no crescimento, atividade digestiva, hematologia e resposta imune”, indicaram que o BFT pode melhorar os índices zootécnicos, o desempenho das enzimas digestivas e a resistência do sistema imunológico das tilápias geneticamente modificadas (GIFT), sendo um ótimo indicador na prevenção ou redução de doenças.

Esta afirmativa permite verificar a potencialidade de redução do fornecimento de ração aos animais aquáticos sem prejudicar no balaço nutricional ideal aos animais, reduzir a conversão alimentar e, conseqüentemente, reduzir a pressão por mais áreas que seriam utilizadas para plantar e produzir alimentos, **sendo que estes índices auxiliam no desempenho econômico e ambiental da atividade.**

López-Elías et al. (2015), verificaram que a substituição de farinha de peixe com farinha de vegetais na ração peletizada não teve efeito adverso na resposta à produção de tilapia vermelha cultivada em água salgada o sistema de bioflocos com diferentes dietas. **Ingredientes alternativos na composição da ração, pode reduzir os custos com elaboração de alimentos para animais aquáticos e, conseqüentemente, aumentar a eficiência econômica nos sistemas produtivos intensivos.**

Estudos de Ekasari et al. (2015), verificaram que, na criação de larvas de tilápia em ambiente BFT (melaço com 53% de carbono, numa relação de C:N de 10/1) e em sistema convencional de cultivo (controle). A sobrevivência das larvas

criadas em BFT foi maior (90-98%) do que no tratamento controle (67-75%) e há uma maior uniformidade nas larvas criadas em BFT, assim como também o sistema BFT proporciona maior sobrevivência (75-80%) quando infectadas patologicamente por *Streptococcus agalactiae* em relação ao tratamento controle (55%). Realizaram também um teste de estresse por salinidade e as larvas criadas em BFT tiveram sobrevivência de 72% e 42% em 1 h e 24 h após o estresse de salinidade, respectivamente, sendo um valor significativamente maior do que para as larvas de origem de controle que mostraram uma sobrevivência de 33% e 5% nestes respectivos momentos. **Estes resultados indicam que a tecnologia (BFT) pode proporcionar desempenhos zootécnicos superiores, durante a larvicultura, em comparação aos sistemas convencionais de criação de peixes, melhorando o desempenho econômico.**

Day, Salie e Stander (2016) enfatizam na flexibilização ou exceções das normas ambientais quando se trata de sistemas fechados de criação de animais aquáticos – leia-se sistemas que não despejam água de volta aos recursos hídricos naturais. No estudo em questão, os autores pesquisaram o desempenho de diferentes espécies de peixes permitidas para o cultivo na região e com tilápia (*Oreochromis niloticus*), todos eles criados em BFT. Observaram que a espécie *Oreochromis niloticus*:

apresentou taxa de crescimento significativamente maior, com ganho médio diário de $0,693 \pm 0,018$ g / dia e menor conversão alimentar (FCR) de $1,01 \pm 0,05$, seguido por *O. mossambicus* com ganho médio diário de $0,405 \pm 0,025$ g / dia e FCR de $2,24 \pm 0,16$ e, em seguida, *O. andersonii* com ganho médio diário de $0,185 \pm 0,025$ g / dia e FCR de $2,53 \pm 0,28$, respectivamente. A partir deste estudo, *O. niloticus*, portanto, parece ser a espécie mais adequada para uso em sistemas BFT na África do Sul (Day; Salie; Stander, 2016).

Resultados enfatizam o bom desempenho zootécnico de *Oreochromis niloticus* em sistemas bioflocos de produção, justamente devido à redução do consumo de ração para produzir proteína de alto valor nutricional,

proporcionando melhorias econômicas e reduzindo pressões por mais áreas de plantio dos ingredientes utilizado nas rações.

Zhu et al. (2016), avaliaram a “especificidade do tamanho ideal da bolha de oxigenação e o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) para a uniformidade da distribuição de bioflocos em um sistema BFT por meio do método de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD)”. Os autores perceberam que para manter uma melhor homogeneização do bioflocos na água, a espessura da bolha de oxigenação deve ficar entre 1 mm e 2 mm e a TRH deve se manter baixa (0,45 h). **Com estes dados é possível perceber a importância de se manter a homogeneidade do ambiente aquático para evitar problemas como sedimentação dos sólidos totais suspensos, sendo que este cuidado técnico auxilia no sucesso econômico da atividade.**

Pérez-Fuentes et al. (2016), utilizando melão como fonte de carbono, analisaram diferentes proporções na relação C:N na criação de tilápia e concluíram que a taxa de sobrevivência dos peixes criados em BFT foi de 10% a mais que o tratamento controle (sistema convencional), a produção total foi maior na relação C:N de 10:1 em relação às outras proporções, a qualidade da água permaneceu similar entre os tratamentos e que a tecnologia de BFT é uma ótima alternativa para produção de proteína animal aquática, principalmente onde a alcalinidade da água é um fator limitante. **Os resultados corroboram com a afirmação de que BFT auxilia na melhor eficiência na utilização dos recursos naturais e proporciona melhor desempenho econômico.**

Silva et al. (2016), isolaram e identificaram os principais grupos bacterianos existentes na criação de tilápia na fase juvenil na presença de bioflocos ou perifíton e o potencial patogênico dos mesmos, identificaram que os tratamentos com bioflocos e perifíton ou só perifíton possuíam bactérias com menor potencial patogênico em relação aos outros tratamentos e, o ganho de peso final foi maior no tratamento com bioflocos e perifíton em comparação aos outros tratamentos. Estes resultados podem ser devido ao aumento da diversidade de microrganismos no ambiente aquático, permitindo uma maior competitividade entre bactérias patogênicas e não patogênicas. **Sistemas que permitam menor potencial patogênico ou maior resistência às doenças pelos animais podem evitar problemas ambientais e ainda melhorar os desempenhos produtivos.**

Bossier e Ekasari (2017), realizaram uma revisão de literatura sobre o tema “bioflocos” através desta pesquisa concluíram que **a aplicação BFT proporciona vantagens para a aquicultura ao ponto de contribuir para a efetivação dos objetivos de desenvolvimento sustentável, como é o exemplo da redução de resíduos nitrogenados e fósforo liberados na natureza, devido a atividade induzida dos microrganismos heterotróficos que convertem esses resíduos em nutrientes úteis aos animais aquáticos. “Além disso, os resultados da pesquisa precisarão ser comunicados aos agricultores, pois a implementação da tecnologia exigirá a atualização de suas habilidades”.** Afirmam que a aplicação da tecnologia proporciona maior produtividade com impacto ambiental reduzido e que é preciso realizar mais pesquisas para compreendermos melhor sobre a otimização do sistema. Os autores enfatizam que:

Além disso, sistemas de bioflocos podem ser desenvolvidos e executados em integração com outras produções de alimentos, promovendo assim sistemas produtivos integrados, visando produzir mais alimentos e rações da mesma área de terra com menos insumos (Bossier; e Ekasari, 2017).

Haridas et al. (2017), analisaram aspectos imunofisiológicos de tilápia em BFT e constataram que, mesmo após contaminação biológica proposital, nas diferentes densidades de estocagem testadas, houve maiores taxas de sobrevivência dos peixes criados em BFT em comparação ao tratamento controle. Esta informação nos permite entender que a dinâmica biológica no BFT permite uma maior sobrevivência dos peixes às contaminações biológicas, assim como há uma melhorando ainda o sistema imunológico. **Observaram que a faixa ideal de densidade fica entre 200 – 250 larvas por metro cúbico, mas densidades maiores (até 350 larvas por metro cúbico) ainda permitem taxas de sobrevivências maiores do que em sistemas convencionais de cultivo, enfatizando o potencial de melhorias nos desempenhos zootécnicos de cultivo para o mesmo volume de água, melhorando o desempenho econômico.**

Martins et al. (2017), avaliaram a alcalinidade da água “utilizando bicarbonato de sódio (NaHCO_3), carbonato de cálcio (CaCO_3) ou hidróxido de

cálcio (Ca (OH)₂) em BFT” e concluíram que todos os tratamentos são eficazes na correção da alcalinidade, porém, com o bicarbonato de sódio o pH ficou um pouco mais elevado. Além disso, ocorreu um maior crescimento e rendimento líquido com o uso de NaHCO₃ e Ca (OH)₂, **proporcionando um melhor desempenho econômico. Este resultado mostra a complexidade técnica do sistema, e indica qual o melhor produto que pode melhorar a alcalinidade do sistema, índice pode auxiliar no desempenho produtivo e econômico da atividade.**

Alves et al. (2017), pesquisaram sobre “os efeitos da transferência para BFT em diferentes momentos da tilápia do Nilo”, sugerem que os alevinos de 1,4g até aproximadamente 20g já podem ser alocados no BTF, pois não há comprometimento no índice de sobrevivência ou no peso médio dos peixes. Os resultados apontaram um ganho diário de 0,59g, atingindo as expectativas dos pesquisadores. **Estes resultados demonstram que é possível criar a *O. Niloticus* desde tamanhos muito pequenos em sistemas BFT, sem que ocorra prejuízos nos desempenhos zootécnicos. Informações técnicas como esta permitem o sucesso econômico da atividade.**

Mansour e Esteban (2017), avaliaram a eficácia de diferentes tratamentos com biofloc (BFT) para compensar a redução do nível de proteína. Seis grupos foram estabelecidos e alimentados com a mesma dieta à base de plantas contendo 20 ou 30% de proteína bruta: dois grupos em condições de águas claras e sem fontes adicionais de carbono, dois grupos de bioflocos que receberam uma moagem a base de subprodutos de trigo como fonte adicional de carbono e dois grupos de bioflocos receberam farelo de arroz. O subproduto a base de trigo apresentou melhor fonte de carbono, combinado com uma alimentação de apenas 20% de proteína. **A potencial de redução da proteína na ração influencia consequentemente, na redução dos custos com alimentação, auxiliando economicamente e ambientalmente.**

Ahmad et al. (2017), descrevem em revisão bibliográfica os principais benefícios e aceitações sobre o uso do bioflocos, enfatizando sobre a renovação mínima ou quase nula de água no sistema, a redução da quantidade de proteína na ração em aproximadamente 50%, diminuição da eutrofização e a degradação do meio aquático causados pelas excreções dos animais na água. **O sistema BFT permite reduções drásticas na contaminação ambiental, de áreas para**

plântio dos ingredientes das rações e custos de produção, proporcionando melhorias ambientais e econômicas.

Silva et al. (2017), avaliaram a utilização de melação, açúcar e amido de mandioca, relacionaram com os custos de produção de cada fonte de carbono e a sua relação C:N em 10:1 e 20:1. Os resultados apontaram que o amido de mandioca apresentou maior custo (US\$ 1.14.kg⁻¹) e menor disponibilidade de fonte carbono. O açúcar apresentou um custo de US\$ 0.42.kg⁻¹ e o melação apresentou menor custo, (US\$ 0.25.kg⁻¹). Fonte de carbono como o **melação possui um grande potencial de redução de custos em BFT. Contudo, deve-se atentar que esses valores dependem da disponibilidade do subproduto em cada região, proporcionando a redução dos custos desta tecnologia, com a possibilidade de melhorar o desempenho econômico do sistema de produção.**

Cavalcante et al. (2017), determinaram o efeito da restrição alimentar no aproveitamento do alimento natural, em três diferentes sistemas de cultivo (águas verdes, bioflocos e biofítton), e seu possível prejuízo zootécnico. Os autores observaram uma redução na concentração de amônia e nitrito (elementos tóxicos aos peixes) na água com bioflocos e concluíram que uma redução alimentar de 15% afeta o desempenho do animal apenas sistemas convencionais (tratamento controle) de produção. **O potencial da tecnologia em reduzir as altas concentrações de elementos contaminantes da água, assim como uma melhora na conversão alimentar dos animais cultivados e, diminuindo custos com alimentação e pressão por novas áreas de terra para produzir alimentos para peixes, além de melhorar os dados econômicos da atividade.**

Tubin et al. (2019), avaliaram níveis de inclusão (0, 5, 10, 15 e 20%) da farinha das larvas de inseto *Tenebrio molitor* em dietas para tilápia criada em sistemas de bioflocos. **Neste estudo, foi indicado até 10% de nível de inclusão de farinha de *T. molitor* em dietas para juvenis de tilápia, indicando ótimo desempenho zootécnico dos peixes e a diversificação de microrganismos no sistema BFT.**

Manduca et al. (2020), verificaram os efeitos de diferentes densidades de estocagem (20, 40, 60 e 80 peixes/m³) de juvenis de tilápia do Nilo sobre qualidade da água, desempenho de crescimento, composição corporal,

morfometria branquial e clínica bioquímica sanguínea dos peixes criados em sistema BFT de troca zero de água. **O estudo demonstrou que o desempenho zootécnico dos peixes em densidades de estocagem de 20 e 40 indivíduos/m³ foi superior aos demais, especialmente para diárias ganho de peso e taxa de sobrevivência. O modelo de regressão quadrática para densidade de estocagem indica o uso de 51,79 peixes/m³ (13 Kg/m³) como o máximo para a bioflocos de troca zero, mantendo as variáveis fisiológicas e a homeostase dos peixes para ótimo crescimento.**

Luo et al. (2021), verificaram o efeito do biochar (tipo de carvão vegetal obtido por meio de pirólise) e sua influência na comunidade microbiana dos bioflocos e no intestino de *O. niloticus* criados em um sistema BFT. **Neste estudo, verificou-se que os bioflocos são abundantes e diversos nas comunidades bacterianas do sistema de cultivo quando comparado a comunidade intestinal dos peixes criados em sistemas de bioflocos, e ainda, o uso de diferentes fontes de carbono podem influenciar a estrutura da comunidade bacteriana tanto nos bioflocos quanto no intestino dos animais.**

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sustentabilidade econômica, social e ambiental em sistemas de produção de peixes através da tecnologia bioflocos, especificamente para a espécie *Oreochromis niloticus*, envolve o desenvolvimento técnico e manejo sobre a tecnologia bioflocos para produção de tilápia. A maioria dos trabalhos aprofundou as pesquisas nas técnicas de cultivo e conseguiu relacionar com fatores referentes aos custos de produção e desempenho zootécnico que estão intimamente ligados aos desenvolvimento econômico da atividade, contudo, nenhum trabalho conseguiu mostrar de que forma a tecnologia pode proporcionar um desenvolvimento social, impedindo de afirmar sua inserção no tripé do desenvolvimento sustentável.

Deste modo propõem-se, para futuros estudos, o levantamento da produção englobando o tripé da sustentabilidade de forma abrangente, possibilitando ressaltar a importância da tecnologia e implicando em uma alternativa de atividade economicamente viável, ambientalmente correta e socialmente justa.

6. REFERÊNCIAS

Ahmad, I., Rani, A. M. B., Verma, A. K. & Maqsood, M. (2017). Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. *Aquaculture International*, 25, 1215–1226.

Alves, G. F. O., Fernandes, A. F. A., Alvarenga, E. R., Turra, E. M., Sousa, A. B. & Teixeira, E. A. (2017). Effect of the transfer at different moments of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the biofloc system in formation. *Aquaculture*, 479, 564–570.

Avnimelech, Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227–235.

Avnimelech, Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 264, 140–147.

Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc Technology — A Practical Guide Book*. Baton Rouge, LA: The World Aquaculture Society, 182.

Azim, M.E. & Little, D. C. (2008). The bioflocs technology (BFT) in indoor tanks: water quality, bioflocs composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283, 29–35.

Bossier, P. & Ekasari, J. (2017). Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microbial Biotechnology*, 10(5), 1012–1016.

Cavalcante, D. H., Lima, F. R.S., Rebouças, V. T. & Carmo e Sá, M. V. (2017). Nile tilapia culture under feeding restriction in bioflocs and bioflocs plus periphyton tanks Cultura de tilapia do Nilo sob restrição de alimentação em bioflocs e bioflocs mais tanques de perifita. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(3), 223-228.

Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356, 351–356.

Day, S. B., Salie, K. & Stander, H. B. (2016). A growth comparison among three commercial tilapia species in a biofloc system. *Aquaculture International*, 24, 1309-1322.

Ekasari, J., Angela, D., Waluyo, S. H., Bachtiar, T., Surawidjaja, E. H., Bossier, P., De Schryver, P. (2014). The size of biofloc determines the nutritional composition and the Nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture*, 426–427, 105–111.

Ekasari, J., Azhar, M.H., Surawidjaja, E.H., Nuryati, S., De Schryver, P., & Bossier, P. (2014). Immune response and disease resistance of shrimp fed biofloc grown on different carbon sources. *Fish and Shellfish Immunology*, 41, 332–339.

Ekasari, J., Rivandi, D. R., Firdausi, A. P., Surawidjaja, E. H., Bossier, P. & De Schryver, P. (2015). Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 441, 72–77.

Fachin, O. (2006). Fundamentos de metodologia. 5. ed. São Paulo: Saraiva.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). The state of food security and nutrition in the world.

Galvão, T. F. & Pereira, M. G. (2014). Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Brasília, 23(1), 183-184.

Haridas, H., Verma, A. K., Rathore, G., Prakash, C., Sawant, P. B. & Rani, A. M. B. (2017). Enhanced growth and immuno-physiological response of Genetically Improved Farmed Tilapia in indoor biofloc units at different stocking densities. *Aquaculture Research*, 48, 4346–4355.

Jorge A. Pérez-Fuentes, J. A., Hernández-Vergara, M. P., Pérez-Rostro, C. I. & Fogel, I. (2016) C:N ratios affect nitrogen removal and Production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. *Aquaculture*, 452, 247–251.

López-Elías, J. A., Moreno-Arias, A., Miranda-Baeza, A., Martínez-Córdova, L. R., Rivas-Vega, M. E. & Márquez-Ríos, E. (2015). Proximate composition of bioflocs in culture systems containing hybrid red tilapia fed diets with varying levels of vegetable meal inclusion. *North American Journal of Aquaculture*, 77(1), 102-109.

Luo, G. Avnimelech, Y., Pan, Y. & Tan, H. (2013). Inorganic nitrogen dynamics in sequencing batch reactors using biofloc technology to treat aquaculture sludge. *Aquacultural Engineering*, 52, 73–79.

Manduca, L. G., da Silva, M. A., de Alvarenga, É. R., de Oliveira Alves, G. F., de Araújo Fernandes, A. F., Assumpção, A. F., & Turra, E. M. (2020). Effects of a zero exchange biofloc system on the growth performance and health of Nile tilapia at different stocking densities. *Aquaculture*, 735064.

Mansour, A. T. & Esteban, M. A. (2017). Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology*, 64, 202-209.

Martins, G. B., Tarouco F., Rosa, C. E. & Robaldo, R. B. (2017). 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*, 468, 10-17.

Pasco, J J. M. (2015). Aeração em cultivos superintensivos de tilápias *Oreochromis niloticus*, em bioflocos e com troca mínima de água. Tese

apresentada ao Programa de PósGraduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina. 120p.

Pérez-Fuentes, A., Perez-Rostro, C.I. & Hernandez-Vergara, M. (2013). Pond-reared Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii* with the biofloc system. *Aquaculture*, 400, 105–110.

Richardson, R. J. (1999). *Pesquisa Social: métodos e técnicas*. São Paulo: Atlas.

Silva, J. L. S. da, Cavalcante, D. H., Carvalho, F. C. T. de, Vieira, R. H. S. F., Carmo e Sá, M. V. & Sousa, O. V. de. (2016). Aquatic microbiota diversity in the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using bioflocs or periphyton: virulence factors and biofilm formation. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 38(3), 233-241.

Silva, U. L., Falcon, D. R., Pessôa, M. N. C. & CORREIA, E. S. (2017) Carbon sources and C:N ratios on water quality for Nile tilapia farming in Biofloc System. *Revista Caatinga*, 30(4), 1017-1027.

Tubin, J. S. B., Paiano, D., de Oliveira Hashimoto, G. S., Furtado, W. E., Martins, M. L., Durigon, E., & Emerenciano, M. G. C. (2019). *Tenebrio molitor* meal in diets for Nile tilapia juveniles reared in biofloc system. *Aquaculture*, 734763.

Zhua, S. M., Shia, M. M., Yun, Y. J., Guoa, X. S, Yea, Z. Y. Hana, Z. Y., Denga, Y. L. & Liuaa, G. (2016). Applications of computational fluid dynamics to modeling hydrodynamics in tilapia rearing tank of Recirculating Biofloc Technology system. *Aquacultural Engineering*, 74, 120–130.

ARTIGO 2

**DIFERENTES DENSIDADES DE ESTOCAGEM DE ALEVINOS DE TILÁPIA
EM SISTEMA BFT SOB QUALIDADE DA ÁGUA E DESEMPENHO
PRODUTIVO**

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes densidades de estocagem sobre a qualidade da água do sistema bioflocos (BFT), desempenho em crescimento, fisiologia intestinal, hepática e muscular de alevinos de tilápia do Nilo. O delineamento experimental avaliou quatro níveis de densidades de estocagem 375, 750, 1.125 e 1.500 peixes.m³ em sistema BFT, utilizando 1.350 alevinos de tilápia de 12,9±0,15g. As densidades de 350 e 750 peixes.m³ promoveu o melhor crescimento dos peixes em GP, GPD, TEP, TCE, CAA e SOB. Os índices somáticos e os parâmetros de desenvolvimento intestinal não variaram quando relacionada a diferentes densidades de estocagem. A histomorfometria do intestino médio e fígado não apresentaram alterações quando relacionadas às diferentes densidades de estocagem. O aumento das fibras musculares dos peixes em densidade de 750 peixes.m³ indica hiperplasia celular na classe <15 µm. A temperatura, pH, alcalinidade, nitrato, oxigênio dissolvido e o volume diário de resíduos da água do BFT independente da densidade de estocagem não apresentaram variações, mantendo-se dentro dos limites toleráveis. Contudo, níveis dos sólidos suspensos, amônia, nitrito e a inclusão de fonte de carbono na água, apresentaram os menores níveis em densidade de 375 peixes.m³. A composição centesimal do BFT formado no início e final de cultivo não apresentaram alterações quanto os teores de umidade, proteína bruta, matéria mineral e fibras. Portanto, a densidade de estocagem de 750 peixes.m³ proporciona um ótimo desempenho produtivo, mantendo os processos fisiológicos dos peixes, além de garantir os níveis de qualidade da água toleráveis para cultivo em BFT.

Palavras-chave: *Oreochromis niloticus*, fisiologia, desempenho produtivo, bioflocos, sistema super-intensivo, sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação de recursos naturais tem conduzido ao uso de sistemas sustentáveis na produção de proteína animal que minimizem o impacto no meio ambiente (Hut et al., 2015). Na aquicultura, o sistema de cultivo em bioflocos (BFT), é um sistema de produção intensiva com troca mínima ou zero de água, no qual microrganismos formam agregados suspensos na coluna da água removendo compostos nitrogenados tóxicos (Avnimelech, 2015) para produção de peixes e camarões. Caracteriza-se pela baixa ou zero descarga de efluentes, apresenta alta biossegurança pelos protocolos de produção adotados e produtividade expressiva (Crab et al., 2012; Avnimelech, 2015), sem necessariamente aumentar a utilização de espaço físico e da água (Avnimelech et al., 2009), quando comparada aos sistemas de produção tradicionais.

A comunidade microbiana que compõe o BFT recicla nutrientes presentes no sistema, contribuindo com fonte de alimento para os organismos cultivados, e conseqüentemente, reduzem as taxas de conversão alimentar e os custos com alimentação, reduzindo o uso de dietas comerciais (López-Elías et al., 2015; Pérez-Fuentes et al., 2016). Além disso, há maior controle de toxinas e compostos nitrogenados, devido à ação de microrganismos heterotróficos e quimioautotróficos via assimilação, nitrificação ou assimilação fotoautotrófica (Avnimelech, 2015) no sistema, produzindo ainda uma biomassa de alta qualidade (Martínez-Córdova et al., 2015). Outra vantagem da produção de organismos aquáticos em BFT consiste na modulação do sistema imunológico dos animais, atuando como uma fonte de compostos bioativos, melhorando os mecanismos de defesa, proporcionando assim uma maior proteção contra doenças (Long et al., 2015; Haridas et al., 2017; Menaga et al., 2020). Neste contexto, a tecnologia BFT tem sido uma alternativa para alcançar a sustentabilidade na produção de organismos aquáticos (Manduca, 2020), e em especial utilizando-se de espécies comerciais de representatividade mercadológica.

A produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) consiste em uma importante atividade na disponibilidade de proteína de origem animal para consumo humano, sendo a segunda espécie mais produzida em escala mundial,

segundo a FAO (2019). A espécie apresenta características favoráveis para sua produção, como as fases de desenvolvimento, o fácil manejo e adaptação a sistemas intensivos, rusticidade, ótimo crescimento (Fitzsimmons et al., 2011), reprodução facilitada, conhecimento das exigências nutricionais (Furuya, 2010), melhoramento genético, beneficiamento em escala industrial, e a ótima aceitabilidade do consumidor quando comparada a outras espécies cultiváveis (Boscolo et al., 2001; Souza, 2002; Simões et al., 2007).

O uso da tilápia em BFT indica que a espécie é uma das mais adequadas ao sistema intensivo de cultivo, apresentando ótimo desempenho em crescimento e sobrevivência (Dey et al., 2000), devido à tolerâncias altas, densidade, qualidade da água, e ainda, usar como alimento a proteína microbiana rica em nutrientes e disponível no sistema (Martínez-Córdova et al., 2015), devido ao hábito alimentar filtrador (Rodrigues et al., 2015).

Estudos que relacionem a densidade de estocagem, desempenho em crescimento e qualidade da água do BFT são de grande relevância para aprimorar a eficiência e as fases de produção no sistema de cultivo intensivo, entretanto, ainda necessitam ser elucidados. Segundo Manduca et al. (2020), protocolos de controle da qualidade da água a partir da renovação e adição de fontes de carbono na água quando necessários, proporcionaram o uso de altas densidades de estocagem e sobrevivência em BFT na produção de tilápia, contudo, influenciaram no baixo crescimento dos peixes.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes densidades de estocagem sobre a qualidade da água do sistema BFT, desempenho produtivo, fisiologia intestinal, hepática e crescimento muscular de alevinos de tilápia do Nilo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de aquicultura da Universidade estadual do Oeste do Paraná, campus Toledo – PR.

Os procedimentos experimentais adotados neste estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (CEUA/Unioeste) sob o protocolo de N° 04/21.

Delineamento experimental

O estudo considerou a avaliação de quatro níveis de densidades de estocagem 375, 750, 1.125 e 1.500 peixes/m³ em sistema intensivo BFT. Foram utilizados 1.350 alevinos de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) masculinizados, com peso médio inicial de 12,9±0,15g, acondicionados em sistema BTF em 12 tanques de polipropileno com volume útil de 120 litros (Figura 1), com temperatura controlada, aeração constante e fotoperíodo de 12 horas, distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado, contendo quatro tratamentos e três repetições.



Figura 1. Estrutura experimental de sistema bioflocos para o cultivo de tilápia do Nilo em diferentes densidades.

O período experimental consistiu em 56 dias, no qual os peixes foram alimentados com ração (a mesma para todos os tratamentos) formulada para atender à exigência da espécie (NRC, 2011) na fase de desenvolvimento deste estudo (Tabela 1), sendo estas ofertadas até a saciedade aparente, em quatro vezes ao dia às 8h00, 11h00, 14h00 e 17h00.

Tabela 1. Composição da dieta experimental para alevinos de tilápia do Nilo.

Ingredientes	Ração controle
Farelo de Soja 48 %	30,25
Milho Grão	32,32
Farinha de Vísceras (Aves)	13,82
Farinha de Penas (Aves)	7,91
Arroz Quirera	5,00
Farinha de peixe 55%	5,00
Óleo de Soja	2,00
L-lisina	0,50
DL-metionina	0,38
L-treonina	0,29
Cloreto de colina	0,15
Vitamina C	0,20
Fosfato bicálcico	0,93
Premix vitamínico e mineral ¹	0,60
Cloreto de Sódio (NaCl)	0,50
Butil-hidroxi-Tolueno	0,02
Propionato de Cálcio	0,10
TOTAL	100
Composição Calculada	
Proteína Digestível (%)	32,30
Energia Digestível Kcal.Kg ⁻¹	3250
Cálcio	1,25
Fósforo disponível	0,86
Extrato etéreo	6,53
Fibra bruta	1,85
Arginina	2,36
Metionina	0,90
Lisina	2,16
Leucina	2,79
Isoleucina	1,52
Treonina	1,72
Triptofano	0,36
Fenilalanina	1,58
Histidina	0,77
Valina	1,83

¹Níveis de garantia por quilograma do produto: vit. A - 500.000 UI; vit. D3 - 250.000 UI; vit. E - 5.000 mg; vit. K3 - 500 mg; vit. B1 - 1.500 mg; vit. B2 - 1.500 mg; vit. B6 - 1.500 mg; vit. B12 - 4.000 mg; ácido fólico - 500 mg; pantotenato de cálcio- 4.000 mg; vit. C - 10.000 mg; biotina - 10 mg; Inositol - 1.000; nicotinamida - 7.000; colina - 10.000 mg; Cobalto - 10 mg; Cobre - 1.000 mg; Ferro - 5.000 mg; Iodo - 200 mg; Manganês - 1500 mg; Selênio - 30 mg; Zinco - 9.000 mg. Proteína digestível e Energia digestível baseado em Boscolo et al. (2002).

Para a confecção da ração, os ingredientes foram moídos em moinho tipo martelo, pesados, homogeneizados manualmente e posteriormente extrusados em tamanho de pélete de 2 mm (Ex-Micro®, Ribeirão Preto - São Paulo, Brasil), em seguida, a dieta foi seca em estufa de circulação de ar forçada durante 24h a 55°C, e armazenada em saco plástico em temperatura ambiente, até a sua utilização.

Coleta de amostral e desempenho produtivo

Ao final do experimento todos os animais de cada parcela experimental foram anestesiados em solução de benzocaína 100 mg.L⁻¹ (Gomes et al., 2001), pesados e medidos para avaliação dos seguintes parâmetros de desempenho produtivo:

- Ganho em peso (GP = peso final (g) – peso inicial (g));
- Ganho em peso diário (GPD = ganho em peso (g)/ período experimental);
- Conversão alimentar aparente (CAA = alimento fornecido (g) / ganho em peso (g));
- Taxa de crescimento específico (TCE (%) = 100 x [(ln peso final (g) – ln peso inicial (g)) / período experimental]);
- Taxa de eficiência proteica (TEP (%) = 100 x (ganho de peso (g) / proteína bruta consumida (g));
- Sobrevivência (SOB (%) = n° final de peixes/n° inicial de peixes)*100);
- Índices somáticos: índices de gordura viscerossomático (IVS (%) = 100 x [peso da gordura visceral (g)/ peso corporal (g)];
- Índices hepatossomático (IHS (%) = 100 x [peso do fígado (g)/ peso corporal (g)];
- Peso relativo do intestino: (PRI (%) = 100 x [peso do intestino(g)/peso do peixe(g)];
- Fator de condição: (FC (g/cm³ = 100 x [peso corporal (g)/(comprimento corporal total)³) e;
- Relação dos comprimentos intestino/corporal.

Para as avaliações histológicas e centesimal, oito animais por tratamento, foram submetidos a coleta de tecidos.

Histologia intestinal, muscular e hepática

Os tecidos coletados foram fixados em solução de Alfac por 12 horas e depois transferidos para solução de álcool 70^oL. O processamento histológico foi realizado de acordo com Tokumaru, Godinho e Ferri, 1970. A histomorfometria das vilosidades intestinais foi realizada a partir do segmento transversal da porção medial do intestino dos peixes. Os cortes histológicos de cinco micrômetros μm fixados em lâminas foram corados em Hematoxilina-Eosina (HE) (Figura 2). Na avaliação histológica do fígado foram realizados cortes histológicos de cinco μm de espessura, fixados em lâminas e corados com Hematoxilina-Eosina (HE), segundo Bancroft e Stevens (1982), e realizada avaliação qualitativa de alterações hepáticas (Tessaro et al., 2014; Caballero et al., 2004) (Figura 3). Na histomorfometria muscular foram realizados cortes de cinco μm de espessura e as lâminas foram coradas em Hematoxilina-Eosina (HE), e posteriormente verificadas o menor diâmetro das fibras musculares em pelo menos 100 fibras por amostra (peixe), e estas foram posteriormente classificadas em três classes, de acordo com sua morfometria e mensuração do menor diâmetro (Figura 4). O processo de foto documentação das lâminas foi realizado por meio de microscopia óptica em objetiva de 40x e as mensurações foram realizadas pelo software cellSens Standard 1.15[®].

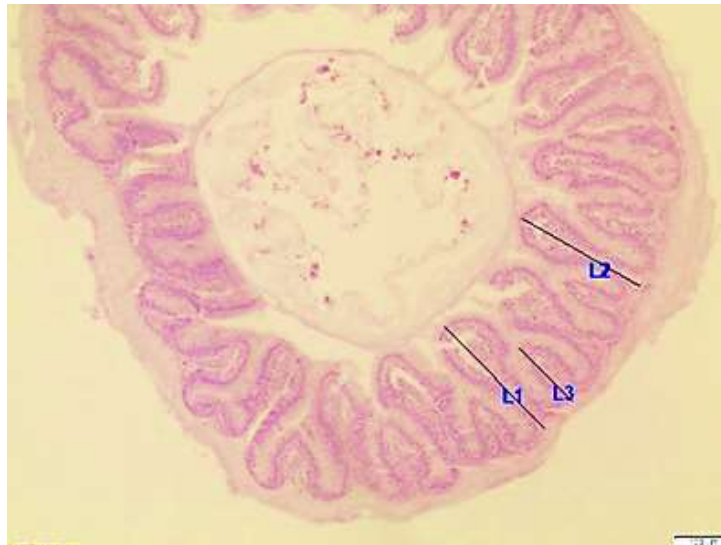


Figura 2. Intestino em corte transversal. Altura das vilosidades evidentes (L1-L3). H.E. 40x de aumento.

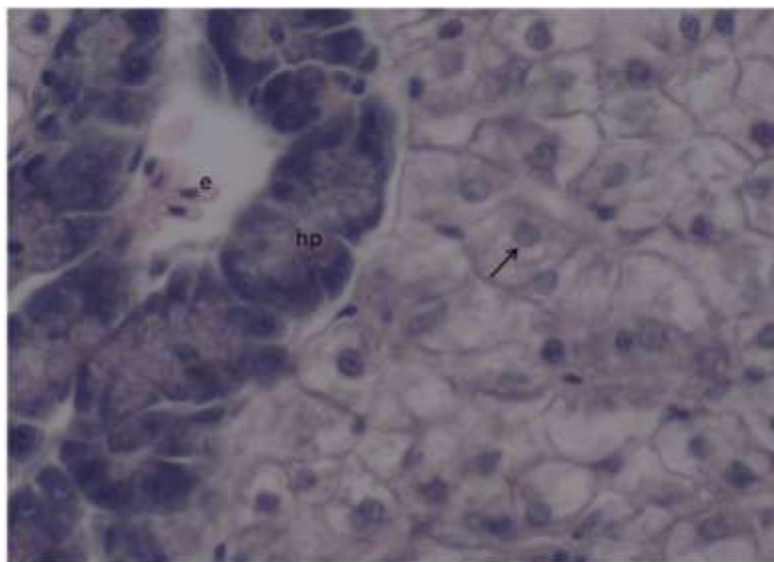


Figura 3. Avaliação da integridade hepática das estruturas e hepatócitos. (↑) hepatócitos com núcleo marcado, hepatopâncreas (hp) e vaso sanguíneos com eritrócitos (e). (HE, objetivo 40x).

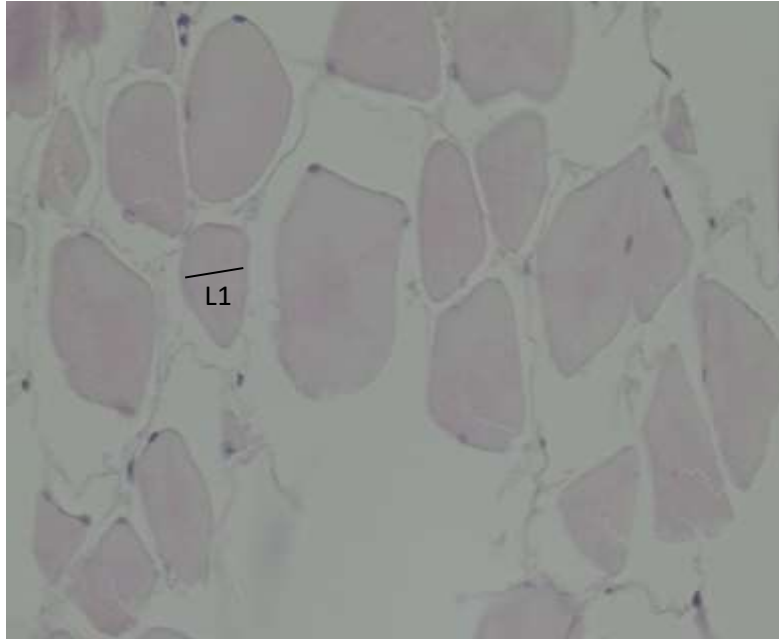


Figura 4. Detalhe do tecido muscular. Diâmetro das fibras musculares (L1). (HE, objetivo 40x).

Qualidade de água do sistema

Durante o período experimental as variáveis de qualidade da água foram monitoradas com uso de kits (Figura 5) colorimétricos (Labcon), pHmetro de bancada (MyLavbor PA-210) e sonda multiparâmetro YSI 556 (Ohio, EUA) para mensurações diárias. Foram avaliados parâmetros de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, oxigênio dissolvido (mg. L^{-1}), amônia (ppm), nitrito (ppm), nitrato (ppm), alcalinidade (mg.L^{-1}), sólidos suspensos totais (mg.L^{-1}) com auxílio de cone imhoff graduado (Figura 6), concentração média diária de resíduos na água (%) e média diária de fonte de carboidrato (g) utilizado no sistema BFT.



Figura 5. Avaliação da água com uso de Kit colorimétrico.



Figura 6. Cone de inhoff graduado.

Cada tratamento do sistema de BFT era conectado com um tanque de 120 litros individual, que era responsável pela maturação do sistema e recirculação para distribuição em cada unidade experimental. Antes do povoamento dos peixes nas unidades experimentais, o sistema BFT passou por um processo de maturação da água de cultivo durante 15 dias, onde os tanques foram abastecidos com água e depois fertilizados com ração (a mesma ofertada para os peixes de todos os tratamentos) em pó (32% de proteína bruta) e açúcar cristalizado, observando-se a formação dos flocos microbianos. O cálculo da quantidade de ração e da fonte de carbono foi realizado para iniciar o cultivo com

uma concentração de sólidos suspensos totais (SST) de 30 mg L^{-1} , utilizando-se a metodologia da relação carbono:nitrogênio, segundo Avnimelech (1999), na qual a adição da fonte externa de carbono era diluída em cada tratamento de acordo com as medidas de amônia total. Após esse período, com o aumento dos sólidos suspensos totais, foi instalado ao sistema um sedimentador para auxiliar a redução dos sólidos suspensos (Figura 7) para retirada de excesso de resíduos e controle da qualidade da água. A reposição de água foi realizada diariamente de acordo com a necessidade pela perda por evaporação, com média de reposição de 0,48% do volume total por tratamento ao dia.



Figura 7. Sedimentador.

Para o controle da concentração de amônia no cultivo foi utilizada a estratégia de fertilização, na qual a quantidade de carboidrato necessária para neutralizar a amônia excretada pelos peixes e restos de ração, consiste na adição de carboidrato para cada grama de amônia total presente na água de cultivo, ajustado de acordo com a sua variação (Avnimelech, 1999).

Composição centesimal dos resíduos de BFT

Para a avaliação da composição química dos resíduos de bioflocos de cada nível de densidade utilizado, foram coletadas amostras no decorrer do experimento, e estas foram pesadas e colocadas em estufa de ventilação forçada para a realização da pré-secagem (55°C por 72 horas). As amostras foram moídas em moinho tipo bola e, posteriormente, analisadas no Laboratório de Nutrição de Monogástricos da UFMT segundo as técnicas descritas pela AOAC (2005), determinando assim, os teores de matéria seca (MS - método

930.15), matéria mineral (MM – método 942.05), proteína bruta (PB – Método 954.01), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN – Método 2002:04).

Análises estatísticas

Todos os dados, quando atendendo os pressupostos de normalidade e homocedasticidade, foram submetidos à análise de variância (ANOVA one-way) e, quando significativas ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de *Tukey* em 5% com o auxílio do software *Statistica 7.1*[®].

3. RESULTADOS

As diferentes densidades de estocagem em alevinos de tilápia do Nilo em sistema BFT influenciaram significativamente nas variáveis de desempenho produtivo dos peixes ($P < 0,05$) (Tabela 2). A densidade de 750 peixes.m³ promoveu o crescimento dos peixes com o aumento em GP, GPD, TEP, TCE, e ainda apresentando a melhor CAA quando comparado aos demais níveis de densidade de estocagem. A SOB diferiu apenas do maior nível de densidade utilizado e a DF obteve valor intermediário quando comparada as demais densidades utilizadas.

Tabela 2. Variáveis de desempenho produtivo de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.

	Densidades de estocagem (peixes/m ³)				p-valor
	375	750	1125	1500	
GP (g)	46,04±7,23 ^a	49,95±2,21 ^a	42,60±4,56 ^{ab}	33,48±2,37 ^b	0,00
GPD (g.dia⁻¹)	0,82±0,12 ^a	0,91±0,05 ^a	0,76±0,07 ^{ab}	0,59±0,04 ^b	0,00
CAA	1,17±0,04 ^b	1,04±0,02 ^c	1,02±0,04 ^c	1,74±0,04 ^a	0,00
TEP (%)	1,43±0,22 ^a	1,56±0,06 ^a	1,33±0,14 ^{ab}	1,04±0,07 ^b	0,00
TCE (%)	4,02±0,12 ^a	4,09±0,03 ^a	3,96±0,08 ^{ab}	3,79±0,05 ^b	0,00
SOB (%)	94,08±2,56 ^b	96,30±2,56 ^b	92,84±2,60 ^b	62,41±4,01 ^a	0,00

GP: ganho de peso; GPD: ganho de peso médio diário; CAA: conversão alimentar aparente; TEP: taxa de eficiência proteica; TCE: taxa de crescimento específico; SOB: sobrevivência; ^{a,b} Letras diferentes entre si na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os índices somáticos, peso relativo do intestino, e a relação comprimento do intestino/comprimento corporal não foram influenciados ($P>0,05$) pelo uso de diferentes densidades de estocagem de alevinos de tilápia do Nilo em sistema BFT (Tabela 3).

Tabela 3. Índices somáticos e variáveis intestinais de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.

	Densidades de estocagem (peixes/m ³)				p-valor
	375	750	1125	1500	
IHS (%)	1,00±0,97	0,75±0,99	0,69±0,91	0,53±0,55	0,23
IVS (%)	2,48±2,13	1,40±1,94	1,09±0,73	1,18±0,97	0,72
PRI (g)	6,93±1,54	7,13±3,09	8,28±0,94	8,14±2,38	0,44
RCI (cm)	5,62±3,33	7,17±0,81	7,30±1,40	7,46±1,85	0,23
FC (g/cm³)	4,39±0,46	3,84±0,88	3,85±0,29	3,86±0,47	0,13

IHS: índice hepatossomático; IVS: índice de gordura vicessomática; PRI: peso relativo do intestino; RCI: relação comprimento do intestino/comprimento do peixe; FC: Fator de condição. ^{a,b} Letras diferentes entre si na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As avaliações da altura das vilosidades intestinais não apresentaram diferenças significativas ($P>0,05$) quanto às modificações em seu desenvolvimento pelo uso de diferentes densidades de estocagem de alevinos de tilápia do Nilo em sistema BFT (Tabela 4).

Tabela 4. Histomorfometria intestinal de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.

	Densidades de estocagem (peixes/m ³)				p-valor
	375	750	1125	1500	
AV μm	245,48 \pm 80,61	257,29 \pm 84,7	177,35 \pm 63,61	234,66 \pm 78,72	0,30

AV: altura dos vilos. ^{a,b} Letras diferentes entre si na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As fibras musculares em alevinos de tilápia do Nilo cultivadas em BFT em diferentes densidades de estocagem influenciaram significativamente ($P < 0,05$) na menor classe de distribuição (Tabela 5).

Tabela 5. Distribuição de frequência de fibras musculares em diferentes classes de diâmetros de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.

	Densidades de estocagem (peixes/m ³)				p-valor
	375	750	1125	1500	
< 15 μm	6,95 \pm 3,29 ^b	21,04 \pm 8,74 ^a	8,73 \pm 6,86 ^b	5,45 \pm 2,42 ^b	0,00
15- 30 μm	83,58 \pm 7,80	74,46 \pm 5,15	83,45 \pm 4,22	79,61 \pm 5,20	0,09
>30 μm	9,45 \pm 8,23	8,55 \pm 5,83	7,80 \pm 6,67	11,61 \pm 6,75	0,83

^{a,b} Letras diferentes entre si na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não foram observadas alterações na integridade do tecido hepático das tilápias do Nilo cultivadas em BFT em diferentes densidades de estocagem. Os tecidos encontravam-se dentro do padrão considerado normal, apresentando características e estruturas bem definidas, tais como vasos sanguíneos e biliares bem delimitados, hepatopâncreas e células sanguíneas bem definidas, núcleos celulares evidentes e ausência de vacúolos citoplasmáticos (Figuras 8, 9 e 10).

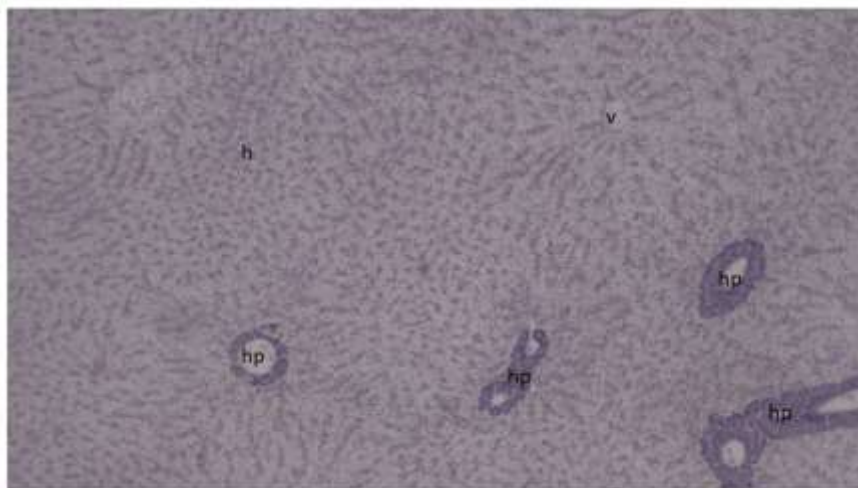


Figura 8. Histologia hepática de alevinos de tilápia do Nilo cultivadas em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem. Hepatócitos homogêneos (h), vasos sanguíneos (v) e hepatopâncreas (hp) bem delimitados. (HE, objetivo 40x).

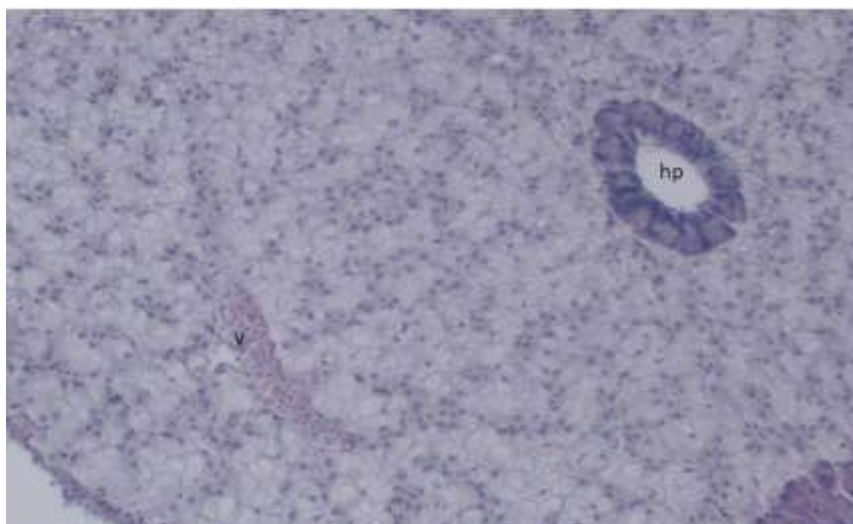


Figura 9. Histologia hepática de alevinos de tilápia do Nilo cultivadas em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem. Tecido hepático normal e homogêneo, apresentando vasos (v) e hepatopâncreas (hp) evidentes. H.E. 10x de aumento.

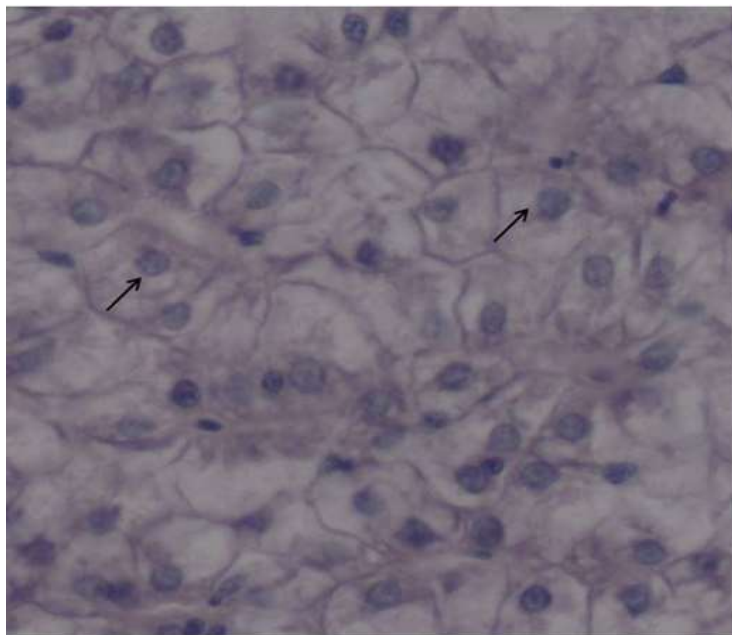


Figura 10. Histologia hepática de alevinos de tilápia do Nilo cultivadas em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem. Hepatócitos padronizados e com núcleos bem-marcados (→), coloração H.E. 40x de aumento.

Durante o período experimental, as variáveis de qualidade da água mantiveram-se estáveis, como a temperatura, pH, alcalinidade, nitrato, e oxigênio dissolvido, permanecendo dentro dos limites toleráveis para o cultivo da espécie (Boyd, 1999) (Tabela 5). Vale ressaltar o controle das variáveis devido à manutenção do sistema de cultivo BFT para o desenvolvimento ótimo dos animais. Foram encontradas diferenças significativas ($P < 0,05$) quando relacionado aos níveis de sedimentação dos sólidos suspensos, nitrito e amônia total da água quanto ao uso de diferentes densidades de estocagem dos peixes. Na manutenção do sistema BFT para a maturação da água de cultivo, foram observadas diferenças significativas ($P < 0,05$) na inclusão diária de fonte de carbono (açúcar refinado) para o controle da amônia, entretanto, o percentual de resíduos diário na água foi semelhante nas diferentes densidades de estocagem de alevinos tilápia do Nilo (Tabela 6).

Tabela 6. Qualidade de água de cultivo de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.

	Densidades de estocagem (peixes/m ³)				p-valor
	375	750	1125	1500	
SS (ml.L ⁻¹)	51,55±20,76 ^b	55,23±19,88 ^{ab}	60,15±19,78 ^{ab}	62,12±15,78 ^a	0,00
T (°C)	27,80±0,74	28,07±0,70	27,93±0,65	28,15±0,70	0,65
pH	7,10±0,47	6,90±0,59	7,06±0,55	7,02±0,33	0,90
AT (ppm)	1,48±1,33 ^b	4,07±2,61 ^a	4,28±2,52 ^a	3,41±2,40 ^a	0,00
Nitrito (ppm)	1,42±0,77 ^b	2,20±0,98 ^a	2,28±0,85 ^a	2,28±0,80 ^a	0,00
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	50,00±33,16	45,55±14,45	52,50±18,90	47,77±15,83	0,84
Nitrato (ppm)	150,00±125,17	158,10±98,43	147,94±109,11	116,02±107,00	0,76
OD (mg.L ⁻¹)	6,30±0,23	5,40±0,68	5,67±0,49	5,62±0,50	0,64
VR (%)	1,70±1,58	1,86±1,61	2,04±1,77	2,02±1,46	0,83
FC (g)	84,64±44,99 ^b	127,54±58,67 ^a	133,68±61,73 ^a	126,14±62,55 ^a	0,00

SS: Sedimentação dos sólidos suspensos; AT: Amônia total; N: nitrito; OD: oxigênio dissolvido; VR: volume de resíduos diário; FC: fonte de carbono. ppm: parte por milhão. ^{a,b} Letras diferentes entre si na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A composição centesimal dos resíduos da água de cultivo do sistema BFT utilizando diferentes densidades de estocagem de tilápia do Nilo, foram numericamente semelhantes quando avaliadas nas fases inicial e final de cultivo (Tabela 7).

Tabela 7. Composição centesimal dos resíduos de BFT no cultivo de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos em diferentes densidades de estocagem.

	Inicial	Final	p-valor
Umidade (%)	87,18±0,62	87,21±0,60	0,94
Proteína Bruta (%)	30,84±1,11	31,75±3,53	0,64
Matéria Mineral (%)	12,00±1,33	11,47±1,40	0,60
Fibra insolúvel em detergente Neutro (%)	41,08±2,29	40,79±3,64	0,89

4. DISCUSSÃO

4.1 Desempenho produtivo e índices somáticos

As variáveis de desempenho produtivo foram influenciadas pelas diferentes densidades de estocagem de alevinos de tilápia no sistema de cultivo BFT utilizados neste estudo. O uso de densidade ótima de peixes deve ser determinado com base em informações complexas de desempenho produtivo, a qualidade da água, a garantia de bem-estar dos animais e ainda os custos de produção (Wu et al., 2018; Wang et al., 2019). Altas densidades de estocagem

em sistema BFT podem resultar em alterações na qualidade da água, devido aos aumentos de metabólitos excretados, e conseqüentemente dos níveis de carga orgânica e amônia, além da redução de oxigênio dissolvido (Abou et al., 2007; Person-Le Ruyet et al., 2008; de Oliveira et al., 2012), influenciando processos fisiológicos de crescimento dos peixes (Wang et al., 2019; Manduca, 2020).

Neste estudo, o GP, GPD, TCE, TEP nos alevinos de tilápia foram expressivos quando utilizado densidades de 350 e 750 peixes.m³ em sistema BFT. Quando utilizado densidades de estocagem altas, mesmo com o fornecimento de ração para a saciedade e o controle da qualidade da água do sistema, o aumento da densidade de estocagem afetou significativamente o desenvolvimento dos peixes. A tilápia do Nilo é considerada uma espécie tolerante a altas densidades, entretanto, possui comportamento territorialista, o que pode desencadear a inibição de crescimento com alta demanda energética para suportar o estresse devido a superlotação em sistemas produtivos de alta densidade (Zhang et al.; 2016; Liu et al; 2018).

O ótimo desempenho das tilápias em densidades moderadas está relacionado a fatores como menores níveis de estresse, competição e interação, no qual os peixes mantiveram a homeostase e a energia metabólica, que pôde ser direcionada ao crescimento (Wendelaar Bonga, 1997; Martínez-Porchas et al., 2009). Aos nutrientes que compõe os microrganismos presentes nos bioflocos, podem apresentar perfil de aminoácidos essenciais, ácidos graxos insaturados, minerais, vitaminas, enzimas digestivas, e diferentes compostos bioativos, sendo utilizados como fonte extra de alimento devido ao hábito alimentar filtrador, característico da espécie utilizada neste estudo (Azim e Little, 2008; De Schryver e Verstraete, 2009; Luo et al., 2014; Bakhshiet al., 2018). Além disso, os bioflocos podem atuar como um probiótico, mantendo a relação da interação e a estabilização da comunidade microbiana intestinal, contribuindo para o equilíbrio funcional do sistema digestivo, e conseqüentemente, no desenvolvimento dos peixes (Ringø et al., 2010; Nayak, 2010; Ray, Ghosh&Ringø, 2012).

Os efeitos benéficos observados na CAA e SOB das tilápias em densidade de estocagem até 1125 peixes.m³ em sistema BFT, pode estar relacionado ao equilíbrio da demanda energética associada ao estresse (Ellis et

al., 2002), e assim, reduzindo o acometimento de mudanças fisiológicas e alterações metabólicas (El- Khaldi 2010; Li et al. 2012). Os bioflocos podem ainda estar relacionados ao aumento da imunidade, beneficiando os mecanismos de defesa dos animais (Mansour e Esteban, 2017; Haridas et al., 2017; Menagaet al., 2019), conseqüentemente, reduzindo a mortalidade no sistema de cultivo. Além disso, a manutenção da qualidade da água com adição de fontes de carbono apenas quando necessárias proporciona alta sobrevivência dos peixes (Wang et al., 2019).

Estudos com diferentes densidades de estocagem de tilápia do Nilo em sistema BFT, como descritos por Wu et al. (2018), Zakiet al. (2020) e Manduca et al. (2020), indicaram que densidade de estocagem moderadas resultam em crescimento ótimo, garantindo a manutenção fisiológica independente da fase de desenvolvimento dos animais, corroborando assim com os resultados encontrados neste estudo.

A estabilidade dos índices somáticos, PRI, RCI e FC em tilápias ocorreu provavelmente devido a formulação da dieta experimental, mantendo o nível energético e lipídico para a espécie (Boscolo et al., 2002), e o perfil de microrganismos do sistema adotado (Avnimelech, 2007), portanto, não promovendo variações quando relacionado ao uso de diferentes densidades de estocagem em sistema BFT.

4.2 *Histologia intestinal, hepática e muscular*

A altura das vilosidades intestinais dos peixes não apresentou diferenças de desenvolvimento quando relacionada as diferentes densidades de cultivo em sistema BFT. Estudos relacionados à altura das vilosidades intestinais de peixes servem como indicativo de integridade da mucosa intestinal, elucidando o equilíbrio da renovação celular para a manutenção da integridade dos caracteres morfológicos dos vilos, e assim garantir a capacidade digestiva e a absorção intestinal dos animais (Ferreira et. al., 2016).

O processo de absorção dos nutrientes atribuído a atividade intestinal pode variar de acordo com o hábito alimentar da espécie e o ambiente em que estão inseridos (Baldisserotto, 2014), em animais cultiváveis, devido ao

confinamento especialmente em sistema BFT, fatores como a disponibilidade de alimento vivo (bactérias não patogênicas) e a alimentação regular com o uso de dietas balanceadas, manejo adequado e o controle de qualidade da água, possibilitam um ambiente saudável, favorecendo a homeostase nos processo fisiológico dos animais (Sousa et al., 2020). A partir da integridade dos vilos quanto ao tamanho e normalidade no comprimento encontrados neste estudo, o trato gastrointestinal apresenta-se em condições saudáveis de integridade da mucosa intestinal dos peixes.

O fígado dos peixes cultivados em sistema BFT independente da densidade de estocagem não apresentou alterações hepáticas. O tecido hepático possui grande importância na dinâmica metabólica, especialmente no processo de digestão, no qual sua disfunção pode afetar as características estruturais e funcionais dos hepatócitos (Carter e Houlihan, 2001; Fujimoto et al., 2016). No presente estudo, nenhuma alteração foi observada em relação à sobrecarga de órgãos.

A frequência de fibras musculares apresentou variações com o aumento de proporção das fibras de menor classe nos peixes cultivados na densidade de 750 peixes.m³ no sistema BFT. No crescimento das fibras musculares esqueléticas em peixes, diferentes fatores podem influenciar seu desenvolvimento, e em especial a nutrição e o bem-estar animal (Koumans e Akster, 1995). A disponibilidade dos nutrientes da ração e os flocos microbianos que compõe o sistema BFT neste estudo provavelmente apresentaram disponibilidade de nutrientes favorecendo os processos fisiológicos dos animais, como a manutenção das taxas metabólicas e a capacidade de sintetizar proteínas e formar células musculares (Brown e Cameron, 1991), fato que também pode ser reforçado pela melhor taxa de eficiência proteica dos peixes cultivados nesta mesma densidade de estocagem.

O desenvolvimento das fibras musculares de menor classe indica que o tecido se encontrava em contínuo recrutamento de novas fibras para o crescimento muscular, fato este de grande importância no desenvolvimento dos alevinos e na regulação do crescimento muscular, que se relacionaram com o crescimento hiperplásico e hipertrófico (Melo et al., 2016). Entretanto, a frequência de distribuição das fibras musculares nas maiores classes indica que

os alevinos de tilápia apresentaram crescimento hipertrófico, pelo fato de grande parte das fibras fazerem parte da classe de 15-30 μm e $> 30 \mu\text{m}$.

4.3 *Qualidade da água do sistema e composição centesimal do BFT*

Os parâmetros físicos e químicos da água como a temperatura, pH, alcalinidade, nitrato, oxigênio dissolvido e ainda o volume diário de resíduos de cultivo em BFT independente da densidade de estocagem não apresentaram variações, mantendo-se dentro dos limites toleráveis para a espécie (Ridhaand Cruz, 2001; Cavalcante e Sá, 2010).

Os sólidos suspensos, amônia, nitrito e a inclusão de fonte de carbono na água, apresentaram os menores níveis quando os alevinos de tilápias foram cultivados em densidade de 375 peixes.m³ em sistema BFT. A drenagem da água de cultivo em sistema BFT pode ser considerada um procedimento estratégico para a redução de sólidos suspensos e, conseqüentemente, os compostos nitrogenados (Crab et al., 2012; Luo et al., 2014; Pérez-Fuentes et al., 2016), são um fator importante para manter níveis adequados de qualidade da água, beneficiando o desempenho dos peixes (Manduca et al., 2020).

Os compostos nitrogenados normalmente acumulam-se com o aumento da ingestão alimentar e excretas dos peixes (Longet al., 2015; Lima et al., 2018; Liu et al., 2018; Silva et al., 2018). Embora a ação das bactérias multitróficas que compõe os bioflocos possuam a ação de assimilar compostos nitrogenados tóxicos, acelerando o processo de nitrificação (Ebeling et al., 2006; Azim e Little, 2008), ainda ocorre adição de fonte de carbono como promotor de redução do acúmulo de sólidos suspensos, com isto, a alta densidade de estocagem é um fator limitante devido as condições de cultivo e o aumento desproporcional de crescimento bacteriano no sistema de cultivo. Neste estudo, a deterioração da qualidade da água do sistema de cultivo BFT nos níveis de maior densidade de estocagem ocorreu devido ao aumento de produtos de decomposição, e conseqüentemente, gerou um efeito negativo no crescimento dos peixes.

A composição centesimal dos resíduos de BFT das diferentes densidades de estocagem de tilápia do Nilo não variaram nos teores de umidade, proteína bruta, matéria mineral, e fibras, quando relacionados a composição inicial e final

deste estudo. A composição centesimal dos bioflocos pode variar de acordo com a fonte de carbono utilizada na manutenção do sistema BFT, da biota microbiana, a ração, os organismos aquáticos cultivados, além de fatores intrínsecos relacionados à sua formação (Avnimelech, 2007).

A qualidade nutricional do bioflocos encontra-se dentro dos níveis encontrados para a espécie (Craig e Helfrich, 2009), e nesse sentido, o valor nutricional, especialmente do teor de proteína possibilita a redução dos níveis de proteína bruta da ração e conseqüentemente os custos com alimentação.

5. CONCLUSÃO

A densidade de estocagem de 750 peixes.m⁻³ de alevinos de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos proporciona um ótimo desempenho produtivo, mantém adequadamente os processos fisiológicos do intestino, fígado e músculo, além de garantir os níveis de qualidade da água toleráveis para cultivo.

6. REFERÊNCIAS

Abou, Y., Fiogbé, E. D., & Micha, J. C. 2007. Effects of stocking density on growth, yield and profitability of farming Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., fed Azolla diet, in earthen ponds. *Aquaculture Research*, 38, 595–604.

AOAC – 2005. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of analysis of AOAC International. 18. ed. Washington: AOAC,

Avnimelech, Y. 2009. *Biofloc Technology – A Practical Guide Book*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.

Avnimelech, Y. 2015. *Biofloc Technology - A Practical Guide Book*, 3rd ed. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA.

Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 3-4, 227-235.

Avnimelech, Y., 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture* 264, 140–147.

- Azim, M.E., Little, D.C., 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283, 29–35.
- Bakhshi, F., H Najdegerami, E., Manaffar, R., Tokmechi, A., Rahmani Farah, K., & Shalizar Jalali, A. 2017. Growth performance, haematology, antioxidant status, immune response and histology of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fed biofloc grown on different carbon sources. *Aquaculture Research*, 49(1), 393–403.
- Baldisserotto, B., Cyrino, J. E. P., Urbinati, E.C. 2014. *Biologia e fisiologia de peixes neotropicais de água doce*. FUNEP-UNESP Jaboticabal, São Paulo, BR
- Bancroft, J. D., Stevens, A. 1982. *Theory and practice in of histological technicians*. London: Chrchill,
- Boscolo, W. R., Hayashi, C., Meurer, F. 2002. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31, 2, 539-545.
- Brown, C.R., Cameron, J.N. 1991. The relationship between specific dynamic action (SDA) and protein synthesis rates in the Channel catfish. *Physiological and Biochemical Zoology*, 64, 298–309.
- Caballero, M. J., Izquierdo, M. S., 1, Kjørsvik, E., Fernandez, A. J., Rosenlund, G. 2004. Histological alterations in the liver of sea bream, *Sparus aurata* L., caused by short or long term feeding with vegetable oils. Recovery of normal morphology after feeding fish oil as the sole lipid source. *Journal of Fish Diseases*, 27-9, 531-541.
- Carter, C. G., Houlihan, D. F. 2001. Protein synthesis. In: Wright, PA, Anderson, PM (Ed.). *Nitrogen excretion*. New York: Academic, *Fish physiology*, 20.
- Cavalcante, D.H., Sá, M.V.C. 2010. Efeito da fotossíntese na alcalinidade da água de cultivo da tilápia do Nilo. *Revista Ciência Agronômica*, 41, 1, 67-72.
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356-357, 351–356.

Crab, R.; Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356–357, 351–356.

Craig S. and Helfrich, L.A. 2009. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding. College of Agriculture and Life Sciences. Virginia Polytechnic Institute and State University. Virginia

de Oliveira, E.G., Pinheiro, A.B., de Oliveira, V.Q., da Silva, A.R.M., de Moraes, M.G., Rocha, Í.R.C.B., de Sousa, R.R., Costa, F.H.F. 2012. Effects of stocking density on the performance of juvenile pirarucu (*Arapaima gigas*) in cages. *Aquaculture* 370–371, 96–101.

De Schryver, P., Verstraete, W. 2009. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. *Bioresour. Technol.* 100, 1162–1167.

Dey, M. M., Paraguas, F.J., Bimbao, G.B., Regaspi, P.B. 2000. Socioeconomics of disseminating genetically improved Nile tilapia in Asia: an introduction. *Aquaculture Economics & Management*, 4, 5–11.

Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257, 346–358.

El-Khaldi, A.T.F., 2010. Effect of different stress factors on some physiological parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Saudi J. Biol. Sci.* 17, 241–246.

Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M., Gadd, D., 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *J. Fish Biol.* 61, 493–531.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. The state of food security and nutrition in the world.

Ferreira, P. M., Caldas, D. W., Salaro, A. L., Sartori, S. R. S., Oliveira, J. M., Cardoso, A. J. S., Zuanon, J. A. S. 2016. Intestinal and liver morphometry of the Yellow Tail Tetra (*Astyanax altiparanae*) fed with oregano oil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(2), 911-922.

Fitzsimmons, K., Martinez-Garcia, R, Gonzalez-Alanis, P. 2011. Why tilapia is becoming the most important food fish on the planet. In: Ninth International Symposium in Tilapia in Aquaculture, April, 2011, Shanghai, China. Proceedings... Shanghai: ISTA, 20121 p.1–8.

Fujimoto, R., Santos, F. B., Dias, H. M., Ramos, F. M., Silva, D. J.F., Honorato, C.A. 2016. Feeding frequency on the production viability of production and quantitative descriptors of parasitism in angelfish. *Ciência Rural*, 46,304-309.

Furuya, W.M. Tabelas brasileiras para nutrição de Tilápias. 21 ed. Toledo: GFM, 2010. 100 p.

Godinho, H., Tokimaru, M., Ferri, A. G. 1970. Histologia do trato digestivo de *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (pisces, Siluroidei). *Revista Brasileira de Biologia* 30(4):583-593.

Gomes, L.C.; Chippari-Gomes, A.R.; Lopes, N.P. et al. 2001. Efficacy of benzocaine as an anesthetic in juvenile tambaqui, *Colossomamacropomum*. *J. World Aquacult. Soc.*, 32, 426-431.

Haridas, H., Verma, A. K., Rathore, G., Prakash, C., Sawant, P. B., & Babitha Rani, A. M. 2017. Enhanced growth and immuno-physiological response of Genetically Improved Farmed Tilapia in indoor biofloc units at different stocking densities. *Aquaculture Research*, 48(8), 4346–4355.

Haridas, H., Verma, A.K., Rathore, G., Prakash, C., Sawant, P.B., Rani, A.M.B., 2017. Enhanced growth and immuno-physiological response of genetically improved farmed Tilapia in indoor biofloc units at different stocking densities. *Aquac. Res.* 48, 4346–4355.

Koumans, J. T.M., & Akster, H.A. 1995. Myogenic cells in development and growth of fish. *Comparative Biochemistry and Physiology -Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 110,3-20.

Li D, Liu Z, Xie C 2012. Effect of stocking density on growth and serum concentrations of thyroid hormones and cortisol in Amur sturgeon. *Acipenser schrenckii*. *Fish PhysiolBiochem* 38:511–520.

Lima, P.C.M., Abreu, J.L., Silva, A.E.M., Severi, W., Galvez, A.O., Brito, L.O., 2018. Nile tilapia fingerling cultivated in a low-salinity biofloc system at different stocking densities. *Span. J. Agric. Res.* 16, 1–9.

Liu, W., Luo, G., Chen, W., Tan, H., Wu, S., Zhang, N., Yu, Y., 2018. Effect of no carbohydrate addition on water quality, growth performance and microbial community in water-reusing biofloc systems for tilapia production under high-density cultivation. *Aquac. Res.* 1-9.

Long, L., Yang, J., Li, Y., Guan, C., Wu, F., 2015. Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 448, 135–14.

López-Elías, J.A., Moreno-Arias, A., Miranda-Baeza, A., Martínez-Córdova, L.R., Rivas-Vega, M.E., Márquez-Ríos, E., 2015. Proximate composition of bioflocs in culture systems containing hybrid red tilapia fed diets with varying levels of vegetable meal inclusion. *N. Am. J. Aquac.* 77 (1), 102–109.

Luo, G., Gao, Q., Wang, C., Liu, W., Sun, D., Li, L., Tan, H., 2014. 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* 422–423, 1–7.

Manduca, L. G., da Silva, M. A., de Alvarenga, É. R., de Oliveira Alves, G. F., Ferreira, N. H., de Alencar Teixeira, E., ... Turra, E. M. 2020. Effects of different stocking densities on Nile tilapia performance and profitability of a biofloc system with a minimum water exchange. *Aquaculture*, 735814.

Mansour, A.T., Esteban, M., 2017. Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol.* 64, 202–209.

Martínez-Córdova, L.R., Martínez-Porchas, M., Emerenciano, M.G.C., Miranda-Baeza, A., Gollas-Galván, T. 2016. From microbes to fish the next revolution in food production. *Crit. Rev. Biotechnol.* 1–9.

- Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L. R., & Ramos-Enriquez, R. 2009. Cortisol and glucose: Reliable indicators of fish stress? *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 4(2), 158–178.
- Melo, C.C., Costa, D.V., Gonçalves, A.C.S., Leira, M.H., Botelho, H.A., Oliveira, K.K.C., Freitas, R.T.F. 2016. Desenvolvimento dos tecidos muscular e adiposo em linhagens de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus*. *Cad. Ciênc. Agrá.*, 8, 2, 72-82.
- Menaga M, Felix S, Charulatha M, Gopalakannan A, Mohanasundari C, Boda S. 2020. *In vivo* efficiency of *Bacillus* sp. isolated from biofloc system on growth, haematological, immunological and antioxidant status of genetically improved farmed tilapia (GIFT). *Indian J Exp Biol.*;58(10):714–721.
- Menaga, M., Felix, S., Charulatha, M., Gopalakannan, A., Panigrahi, A., 2019. Effect of insitu and ex-situ biofloc on immune response of genetically improved Farmed Tilapia. *Fish Shellfish Immunol.* 92, 698–705.
- Nayak, S. K. 2010. Probiotics and immunity: A fish perspective. *Fish & Shellfish Immunology*, 29, 2-14.
- Pérez-Fuentes, J. A., Hernández-Vergara, M. P., Pérez-Rostro, C. I., Fogel, I. 2016. C:N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. *Aquaculture*, 452, 247–251.
- Person-Le Ruyet, J., Le Bayon, N. 2009. Effects of temperature, stocking density and farming conditions on fin damage in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources*, 22(3), 349–362.
- Ray, A. K., Ghosh, K., Ringø, E. 2012. Enzyme-producing bacteria isolated from fish gut: a review. *Aquaculture Nutrition*, 18(5), 465–492.
- Ridha, M. T., Cruz, E. M. 2001. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. *Aquacultural Engineering*, 242, 157–166

Ringo E., Lovmo L., Kristiansen M., Salinas I., Myklebust R., Olsen R.E., Mayhew T.M. 2010. Lactic acid bacteria vs pathogens in the gastrointestinal tract of fish: a review. *Aquaculture research*, 41, 451-467.

Silva, M.A., Alvarenga, É.R., Alves, G.F.O., Manduca, L.G., Turra, E.M., Brito, T.S., Sales, S.C.M., Silva Júnior, A.F., Borges, W.J.M., Teixeira, E.A., 2018. Crude protein levels in diets for two growth stages of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc system. *Aquaculture Research*, 1-11.

Simões, M.R., Ribeiro, C.F.A, Ribeiro, S.C.A, Park, K.J, Murr, F.E.X. 2007. Composição físico-química, microbiológica e rendimento do filé de tilápia tailandesa (*Oreochromis niloticus*). *Ciênc. Tecnol. Aliment*, Campinas, 27(3), 608-613.

Souza, M. L. R., Maranhão, T. C. F. 2001. Rendimento de carcaça, filé e subprodutos da filetagem da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L), em função do peso corporal. *Acta Scientiarum*, Maringá, 23, 4, 897-901.

Tessaro, L. et al. 2014. Animal performance and reproductive aspects of female *Rhamdia quelen* fed on different levels of digestible energy. *Aquaculture Research*, Oxford, 45, 9, 1425–1433.

Wang, Y., Xu, P., Nie, Z., Li, Q., Shao, N., Xu, G. 2019. Growth, digestive enzymes activities, serum biochemical parameters and antioxidant status of juvenile genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared at different stocking densities in in-pond raceway recirculating culture system. *Aquaculture Research*, 50(4), 1338–1347.

Wendelaar Bonga, S.E., 1997. The stress response in fish. *Physiol. Rev.* 77, 591–625.

Wu, F., Wen, H., Tian, J., Jiang, M., Liu, W., Yang, C., ... Lu, X. (2018). Effect of stocking density on growth performance, serum biochemical parameters, and muscle texture properties of genetically improved farm tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture International*. 1-13.

Zaki, M. A. A., Alabssawy, A. N., Nour, A. E.-A. M., El Basuini, M. F., Dawood, M. A. O., Alkahtani, S., & Abdel-Daim, M. M. 2020. The impact of stocking density and dietary carbon sources on the growth, oxidative status and stress markers of

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared under biofloc conditions. *Aquaculture Reports*, 16, 100282.

Zhang, N., Luo, G., Tan, H., Liu, W., Hou, Z., 2016. Growth, digestive enzyme activity and welfare of tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in a biofloc-based system with poly- β -hydroxybutyric as a carbon source. *Aquaculture* 464, 710–717.