

EVERTON ORTIZ ROCHA

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM AERADOR DE BAIXO CUSTO E
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS
INTENSIVOS DE PRODUÇÃO DE TILÁPIAS COM BIOFLOCOS
EM DIFERENTES DENSIDADES DE ESTOCAGEM

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO - 2019

EVERTON ORTIZ ROCHA

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM AERADOR DE BAIXO CUSTO E
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS
INTENSIVOS DE PRODUÇÃO DE TILÁPIAS COM BIOFLOCOS
EM DIFERENTES DENSIDADES DE ESTOCAGEM

Trabalho apresentado à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden
Coorientador: Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
MARÇO-2019

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

Rocha, Everton Ortiz

Análise da eficiência de um aerador de baixo custo e avaliação da qualidade da água em sistemas intensivos de produção de tilápias com bioflocos em diferentes densidades de estocagem / Everton Ortiz Rocha; orientador(a), Armin Feiden; coorientador(a), Jair Antonio Cruz Siqueira, 2019. 59 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, 2019.

1. Bioflocos. 2. Aeração. 3. Qualidade da água. 4. Densidade. I. Feiden, Armin. II. Siqueira, Jair Antonio Cruz. III. Título.

EVERTON ORTIZ ROCHA

Análise da eficiência de um aerador de baixo custo e avaliação da qualidade da água em sistemas intensivos de produção de tilápias com bioflocos em diferentes densidades de estocagem

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biocombustíveis, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:




Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Simone Damasceno Gomes

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Roberto Moreira

Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 21 de março de 2019

*Bom mesmo é ir à luta com determinação,
abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer
com ousadia,
porque o mundo pertence a quem se atreve
e a vida é “muito” para ser insignificante”.*

Augusto Branco

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela fé e perseverança para vencer os obstáculos.

À minha família, especialmente aos meus pais, Eluides e Joel, irmã Dara, pelo total apoio no decorrer de minha pós-graduação, amor, carinho e compreensão.

Aos amigos que conquistei fora e dentro da Universidade e que, de uma maneira ou outra, puderam me ajudar nos momentos felizes ou tristes, em especial à Laís, Nayara, Soni, Ricardo, Bianca, Bruna, João e Sidnei.

Ao meu orientador, Professor Dr. Armin Feiden, pelas orientações ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus professores, Dr. Jair Antônio Siqueira, que me coorientou e sua esposa, professora Dra. Luciene Tokura. Agradeço muito pela ajuda, sempre prestativos, preocupados com o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores do Curso da Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura (Nível mestrado) e aos professores da Unioeste, em geral, Campus Cascavel e Toledo.

A coordenação do mestrado, professor Dr. Samuel N. M. de Souza, a assistente Vanderléia L. S. Schmidt, por toda a assistência e dedicação aos discentes.

Ao GEMaQ (Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura) do departamento de Engenharia da Pesca da Unioeste – Campus Toledo. Aos professores envolvidos Altevir Signor e Aldi Feiden por todo o suporte e disponibilidade para a realização da pesquisa

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil) pelo apoio financeiro.

Enfim, sou grato a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desta dissertação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>), principal espécie cultivada no Brasil. Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).	5
Figura 2 - Imagem do bioflocos maturado. Fonte: Oliveira (2017).	7
Figura 3 - Modelo de aerador de pás. Fonte: Sul Pesca (2018).	13
Figura 4 - Aerador do tipo difusor. Fonte: Sul Pesca (2018).	14
Figura 5 - Esquematização do efeito venturi. Fonte: Adaptado por STRIEDER; SCHUCH, 2005).	15
Figura 6 - Protótipo experimental do bioflocos no laboratório de Aquicultura. Fonte: Registro fotográfico do pesquisador (2018).	18
Figura 7 - Distribuição das tilápias nos tanques: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160) em peixes.m ³	19
Figura 8 - Motobomba periférica ¼cv idb-35 bivolt. Fonte: Registro fotográfico do pesquisador (2018).	20
Figura 9 - Aerador montado (a) e Aerador implantado e em funcionamento (b).	21
Figura 10 - Etapas de montagem do aerador utilizado. Fonte: Adaptado pelo autor (2018).	21
Figura 11 - Módulo sensor pH. Fonte: o fabricante (2018).	22
Figura 12 - Especificações técnicas do módulo sensor pH. Fonte: o fabricante (2018).	22
Figura 13 - Sonda multiparâmetro YSI professional plus®. Fonte: O fabricante (2018).	23
Figura 14 - Superfoto AT 100 PBS II microprocessador com memória. Fonte: Alfakit (2018).	24
Figura 15 - Kit Spectro Alfakit. Fonte: O autor (2018).	24
Figura 16 - Processo de sedimentação entre os tratamentos utilizando cone de imhoff.	25
Figura 17 - Decantador utilizado durante o experimento. Fonte: O autor (2018).	26

Figura 18 - Variações do oxigênio dissolvido durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160), analisadas a cada 3 dias.	28
Figura 19 - Variações da temperatura durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160), analisadas a cada 3 dias.....	29
Figura 20 - Variações do pH durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160) analisadas a cada 3 dias.	30
Figura 21 - Variações da alcalinidade total durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas semanalmente.	31
Figura 22 - Variações do nitrito durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas a cada 3 dias.	32
Figura 23 - Variações do nitrato durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas semanalmente.	32
Figura 24 - Variações do fósforo durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas semanalmente.	33
Figura 25 - Variações da amônia total durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas a cada 3 dias.	34
Figura 26 - Variações das concentrações de sólidos sedimentares durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas a cada 3 dias.	36
Figura 27- Taxa de mortalidade durante o período experimental em cultivo de tilápias em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160).	37

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Custo total para a implantação do sistema de aeração para as 16 caixas	27
Tabela 2 - Médias e desvios padrões dos parâmetros físicos e químicos OD/Táguas/pH/Alct durante o cultivo de tilápias em sistema BTF em diferentes densidades de estocagem em peixes/m ³	29
Tabela 3 - Médias e desvios padrões dos parâmetros físicos e químicos nitrito/amônia total/nitrato/fosfato durante o cultivo de tilápias em sistema BTF em diferentes densidades de estocagem em peixes/m ³	31
Tabela 4 - Médias e desvios padrões dos parâmetros físicos e químicos DQO/DBO/SS durante o cultivo de tilápias em sistema BTF em diferentes densidades de estocagem em peixes/m ³	35

LISTA DE UNIDADES E ABREVIATURAS

Alct	Alcalinidade Total
BFT	Sistema de Bioflocos
C	Carbono
C:N	Relação Carbono/Nitrogênio
cv	Cavalo-vapor
H	Hidrogênio
H ₂ O	Água
kΩ	kiloohms
l	litro
mA	Miliampere
mg	miligrama
mg.L ⁻¹	Miligramas por litro
mL.L ⁻¹	Mililitros por litro
N	Nitrogênio
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Amônio
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
°C	Grau Celsius
OD	Oxigênio Dissolvido
PB	Proteína Bruta
peixes.m ⁻³	Peixes por metro cúbico
pH	Potencial Hidrogeniônico
W	Watts

ROCHA, Everton Ortiz. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, março de 2019. **Análise da eficiência de um aerador de baixo custo e avaliação da qualidade da água em sistemas intensivos de produção de tilápias com bioflocos em diferentes densidades de estocagem.** Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden. Coorientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira.

RESUMO

Dentre os tipos de sistema de produção aplicados na aquicultura, o sistema com bioflocos (BTF) vem ganhando espaço devido a suas práticas sustentáveis. Destacando-se a baixa ou a nula renovação de água, formação da população de microrganismos preponderantemente autotróficos e heterotróficos, resultando em flocos microbianos. Levando em consideração a eficácia do sistema na produção de tilápias, este trabalho teve como objetivo a construção, implantação e análise da eficiência de um aerador de baixo custo. Avaliar e controlar os parâmetros físico-químicos da água. Foram utilizados 3780 alevinos de tilápia do Nilo com biomassa média inicial de $3 \pm 0,5g$, distribuídos em 24 tanques retangulares com volume útil de 125 litros. O experimento contou com 6 tratamentos (T1 – 360 peixes/m³, T2 – 1800 peixes.m⁻³, T3 – 1080 peixes.m⁻³, T4 – 1440 peixes.m⁻³, T5 – 720 peixes.m⁻³ e T6 – 2160 peixes.m⁻³) e quatro repetições. O estudo teve duração de 60 dias. Foram analisados a eficiência do aerador efeito Venturi e os parâmetros da qualidade da água. Foram comparados por meio de análises estatísticas, utilizando-se do software SISVAR®. Os dados foram submetidos a análises de variâncias (ANOVA), e verificadas pelo teste F ($p < 0,05$). As comparações das médias foram realizadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os resultados encontrados para temperatura entre os tratamentos mantiveram-se entre 26 e 28°C. O oxigênio dissolvido ficou acima de 3 mg.L⁻¹. O pH se manteve próximo a 7,20 (recomendado por alguns autores). Quanto à alcalinidade, valores apresentados em mg.L⁻¹, tem-se T1=68,75±18,49^a, T2=98,50±28,48^c, T3=71,75±21,83^a, T4=95,50±30,29^c, T5=68,08±20,81^a e T6=77,50±22,79^b. Para nitrito, os dados obtidos foram: T1=1,57±1,97^a, T2=1,47±1,42^a, T3=1,42±1,40^a, T4=1,20±1,34^a, T5=0,98±1,41^a e T6=3,06±2,62^b. Para a amônia total: T1=0,99±1,23^a, T2=0,97±1,08^a, T3=1,58±1,24^a, T4=1,27±1,04^a, T5=1,10±1,43^a e T6= 1,02±0,64^a. Nitrito: T1= 2,71±1,79^a, T2= 2,94±2,70^a, T3= 2,78±2,42^a, T4= 2,56±1,89^a, T5= 2,80±2,21^a e T6= 3,02±2,95^a. Fosfato: T1= 23,62±16,11^a, T2=25,10±15,02^a, T3= 23,81±13,45^a, T4= 26,54±16,09^a, T5=24,83±14,51^a e T6=26,89±15,19^a. A partir das análises do oxigênio dissolvido, permitiram concluir que o aerador efeito Venturi foi eficiente durante o experimento, atingindo os níveis desejados, levando em consideração, também, a facilidade na aplicabilidade e o baixo custo para o seu desenvolvimento. Através das análises dos parâmetros físico-químicos da água e pelas taxas de mortalidade durante o experimento, pode-se também concluir que a densidade mais segura para operar utilizando o bioflocos é de até 720 peixes.m⁻³.

PALAVRAS-CHAVE: Bioflocos, aeração, qualidade da água, densidade

ROCHA, Everton Ortiz. State University of West Paraná, March 2019. Prof. Dr. Armin Feiden. **Analysis of the efficiency of a low-cost aerator and evaluation of water quality in intensive systems of tilapia production with bioflocs at different storage densities.**

ABSTRACT

Among the types of production system applied in aquaculture, the system bioflocos (BTF) is becoming more popular due to its sustainable practices. Highlighting is low or zero water exchange, formation of the population of predominantly autotrophic and heterotrophic microorganisms, resulting in microbial flocs. Taking into consideration the effectiveness of the system in the production of tilapia, This study aimed to the construction, implementation and analysis of the efficiency of an inexpensive aerator. Assess and control the physical and chemical parameters of water. 3780 fingerlings of Nile tilapia with initial average biomass of 3 ± 0.5 g, 24 distributed in rectangular tanks with a volume of 125 liters. The experiment had 6 treatments (T1 - 360 fish.m^{-3} , T2 - 1800 fish.m^{-3} , T3 - 1080 fish.m^{-3} , T4 - 1440 fish.m^{-3} , T5 - 720 fish.m^{-3} and T6 - 2160 fish.m^{-3}) and four replications. The study lasted 60 days. We analyzed the effect of the venturi aerator efficiency and water quality parameters. They were compared using statistical analysis, using the SISVAR® software. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and verified by F test ($p < 0.05$). Mean comparisons were performed by Tukey test at 5% significance. The results for room temperature between treatments were maintained between 26 and 28 ° C. The dissolved oxygen were above 3 mg L⁻¹. The pH remained close to 7.20 (recommended by some authors). As the alkalinity values given in mg.L⁻¹, you have T1 = 68.75 ± 18.49^a , T2 = 98.50 ± 28.48^c , T3 = 71.75 ± 21.83^a , T4 = 95.50 ± 30.29^c , T5 = 68.08 ± 20.81^a and T6 = 77.50 ± 22.79^b . To nitrite, data were obtained: T1= 1.57 ± 1.97^a , T2 = 1.47 ± 1.42^a , T3 = 1.42 ± 1.40^a , T4 = 1.20 ± 1.34^a , T5 = 0.98 ± 1.41^a and T6 = 3.06 ± 2.62^b . For total ammonia: T1 = 0.99 ± 1.23^a , T2 = 0.97 ± 1.08^a , T3 = 1.58 ± 1.24^a , T4 = 1.27 ± 1.04^a , T5 = 1.10 ± 1.43^a and T6 = 1.02 ± 0.64^a . Nitrate: T1 = 2.71 ± 1.79^a , T2 = 2.94 ± 2.70^a , T3 = 2.78 ± 2.42^a , T4 = 2.56 ± 1.89^a , T5 = 2.80 ± 2.21^a and T6 = 3.02 ± 2.95^a . Phosphate: T1 = 23.62 ± 16.11^a , T2 = 25.10 ± 15.02^a , T3 = 23.81 ± 13.45^a , T4 = 26.54 ± 16.09^a , T5 = 24.83 ± 14.51^a and T6 = 26.89 ± 15.19^a . From the analysis of dissolved oxygen showed that the aerator Venturi effect was efficient during the experiment, achieving the desired levels, taking into account also the ease of applicability and low cost for its development. Through the analysis of the physico-chemical parameters of the water and the mortality during the experiment, one can also conclude that the safer to operate using the bioflocs density is up to 720 fish.m^{-3} .

KEYWORDS: Bioflocs, aerator, water quality, density

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Tilápias do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	4
2.2 Sistema de Bioflocos - BFT	5
2.3 Cultivo de tilápias em bioflocos.....	8
2.4 Fatores que alteram a qualidade da água na aquicultura	9
2.4.1 Oxigênio Dissolvido	9
2.4.2 Temperatura.....	9
2.4.3 pH.....	10
2.4.4 Alcalinidade	10
2.4.5 Formação da amônia.....	11
2.5 Aeradores.....	13
2.5.1 Aerador de pás	13
2.5.2 Aerador por ar difuso.....	14
2.5.3 Aerador efeito Venturi.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Ambiente de estudo	17
3.2 Classificação da pesquisa.....	17
3.3 Delineamento experimental.....	17
3.3.1 Tratamentos.....	18
3.3.2 Alimentação dos peixes e relação C:N.....	19
3.3.3 Recirculação da água.....	19
3.3.4 Oxigenação no sistema	20
3.3.5 Materiais para confeccionar o aerador.....	21
3.4 Determinação dos parâmetros	22
3.4.1 Medição do pH.....	22
3.4.2 Medição do oxigênio dissolvido e temperatura	23
3.4.3 Medições dos compostos nitrogenados, fósforo e alcalinidade	23
3.5 Análise estatística	26
3.6 Programa de monitoramento	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Abordagem sobre o sistema de aeração.....	27
4.1.2 Custos para implantação.....	27
4.2 Parâmetros físico-químicos da água.....	28
4.2.1 Parâmetros diários.....	28

4.2.2 Compostos Nitrogenados e fosfatados.....	31
4.2.3 Matéria orgânica e Sólidos Sedimentares.....	34
5. CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

A indústria da aquicultura vem se desenvolvendo desenfreadamente. Desde a década de 1970, há uma taxa de 10% ao ano (FAO, 2008). Com esse crescimento, as indústrias estão contribuindo para a poluição e degradação do meio ambiente. Algumas medidas de gestão com base em práticas em sustentabilidade ecológicas tornaram-se essenciais para reverter essas situações. Além disso, a ampliação do cultivo é também restrita em razão dos custos de aquisição do espaço para a criação (BROWDY, 2001; DE SCHRYVER et. al., 2008). Segundo Bender (2004), mais de 50% dos custos da produção total é oriunda da alimentação baseada em dietas proteicas.

A contribuição da produção na aquicultura no mundo vem crescendo constantemente nos últimos anos, atingindo 46,8%, em 2016. Percebendo-se uma taxa de crescimento anual de 5,8% durante o período de 2001 a 2016 (FAO, 2016). A aquicultura é uma prática que vem se destacando com seu aumento em relação aos demais alimentos mais consumidos mundialmente (FAO, 2018). No Brasil, estima-se que o crescimento até 2025 deve ultrapassar os 104 % (FAO, 2016).

FAO (2018) indica que a ampliação do consumo não foi desencadeada apenas pelo aumento da produção, mas também devido às práticas de redução de desperdício, melhor aproveitamento no emprego dela, da logística aplicada na distribuição e aumento da procura. Fatores conectados com o aumento da população e fontes de renda.

Aumentar a produtividade é uma das prioridades no desenvolvimento da aquicultura, destacando-se a criação de tilápias. A intensificação de sistemas produtivos é notada como o jeito mais fácil de alcançar esse objetivo (AVNIMELECH, Y. et al, 2008).

Segundo Kubitzka (2003), no início de 1990, após os avanços tecnológicos, o cultivo de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi expandido industrialmente. O oeste paranaense foi escolhido para dar início a essa prática, especificamente nas cidades de Toledo e Assis Chateaubriand, Paraná. Foram essas cidades que iniciaram a implantação de frigoríficos aplicados no processamento de tilápias. Sua produção em 2002 atingiu

aproximadamente 12,8 toneladas, tornando-se mais tarde o Paraná o maior estado produtor brasileiro.

O interesse por sistemas fechados de criação de tilápias está aumentando, por incluir questões de biossegurança e ambientais. No momento em que a água é aproveitada, algumas ameaças como a proliferação de patógenos e o descarregamento de águas residuais, são contidas ou até mesmo eliminadas (RAY, 2012).

Para El-sayed e Kawanna (2008), a cultura da tilápia em sistemas de recirculação é operada em ambiente controlado. Assim, se faz essencial o acompanhamento das condições ambientais favoráveis para a criação, além de melhores práticas de manejo da cultura. Dessa forma, visando à otimização de produção e seus custos, respectivamente.

O sistema chamado de BFT (Biofloc Technology System) ou “bioflocos” fundamenta-se no desenvolvimento e manutenção de microrganismos preponderantemente heterotrófica e aeróbica em suspensão na água (AVNIMELECH, 2007). A formação desses microrganismos é impulsionada pelo acréscimo de carbono orgânico (açúcares) à água, em quantidades que mantenham a relação Carbono: Nitrogênio (C:N) esperada (dentro de 15-20:1) para a geração dos bioflocos (AVNIMELECH, 1999). Este sistema é avaliado como um sistema alternativo eficiente, desde que haja o aproveitamento contínuo de seus nutrientes. A abordagem sustentável de tal sistema é baseada no crescimento de microrganismos em meio de cultura, com mínima ou nenhuma troca de água. A aplicação desses microrganismos no sistema é baseada na manutenção da qualidade da água, convertendo o nitrogênio em compostos a base de proteína microbiana, aumentando a viabilidade do cultivo por meio da redução dos níveis de proteína da ração em até 50 % (RAY, 2012).

Na aquicultura, são empregados diversos modelos de aeradores mecânicos para a distribuição do oxigênio nos tanques de cultivo, tais como aerador propulsor, aerador de pás ou hélices, sopradores de ar, entre outros (BOYD, 1998).

Para um bom desempenho no cultivo em sistemas fechados com bioflocos, a aeração opera funcionalidades importantes, que irão acarretar ótimos resultados para a produção (Burford *et al.*, 2003). Uma das finalidades do sistema de aeração, fora demandar oxigênio aos animais, é a

disponibilidade da mistura da camada superior da água do cultivo, abundante em oxigênio dissolvido, com a camada inferior comumente mais carente, distribuindo-o de forma mais homogênea aos tanques (AVNIMELECH, 2003).

Brandão (2015) descreve a produção de um aerador construído com materiais de baixo custo, com materiais usualmente utilizados no setor construção civil e que não necessitam de equipamentos típicos como sopradores, difusores ou compressores. Diferente dos vistos no mercado, sendo que o aerador não faz uso de energia elétrica.

Por meio da abordagem do tema proposto, este trabalho teve como objetivo geral a implantação e avaliação de um aerador de baixo custo em sistemas de cultivos com bioflocos e avaliação dos parâmetros da água. Os objetivos específicos são de avaliar a eficiência de um aerador de baixo custo aplicados nos cultivos em tanques com tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes densidades de peixes. Realizar o monitoramento e avaliação dos parâmetros físico-químicos da água, dentre eles: temperatura, amônia, pH, alcalinidade, nitrito, nitrato, fósforo, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Verificar se há diferenças significativas na qualidade da água, para os diferentes tratamentos, identificando a densidade ideal para o cultivo para aumento da produtividade, a partir dos dados obtidos das análises físico-químicas e a taxa de mortalidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

A palavra aquicultura vem do latim e representa a junção da palavra aqua+cultura, respectivamente. Dessa maneira representa o tratamento de rios, tanques, lagos, entre outros, para a criação de animais como peixes, mariscos, plantas aquáticas etc. (ZACCHARIAS; Da ROCHA, 2016).

De acordo com o relatório do Banco Mundial (2013), dos peixes utilizados para o consumo humano, cerca de 62% virão da aquicultura por meio da produção em cativeiro. Assim, o Brasil representa um papel importante, segundo a FAO (2016), com o potencial protagonista na produção aquícola, com uma prospecção de produção de 20 milhões de toneladas ao ano (a.a.) até o ano de 2030. O Brasil ocupa o décimo terceiro lugar mundial de pescado, por meio de uma produção de pouco mais de meio milha de toneladas (FAO, 2016).

No país, a espécie *Oreochromis niloticus*, conhecida como tilápia do Nilo, que pertence à família Cichlidae (Perciformes), possui grande importância econômica para aquicultura nacional, sendo que foi introduzida no ano de 1971 na região do Nordeste (CORREIA, 2016).

Com mais de 70 espécies, as tilápias se dividem em três subgêneros de maior utilização econômica: *Oreochromis* (os machos constroem e cuidam do ninho para a desova e fertilização dos ovos, somente as fêmeas incubam os ovos na boca); *Sarotherodon* (ambos os pais cuidam da desova e juvenis na boca) e Tilápia (com desova em substrato e sem incubação dos ovos na boca) (CNAANI et al. 2008).

Na Figura 1, é apresentada a imagem de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) que é a principal espécie cultivada no Brasil.



**Figura 1 - Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), principal espécie cultivada no Brasil.
Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).**

As tilápias do Nilo possuem algumas vantagens como o rápido crescimento, tolerância às adversidades de condições ambientais como a temperatura, a salinidade e concentração de oxigênio (BORGES, 2002). Ainda tem grande resistência ao estresse, doenças e também a capacidade de reprodução em cativeiro. Além disso, tem a capacidade de consumir com eficiência dietas com diferentes ingredientes, superiormente a outras espécies, com dietas formuladas secas logo após a absorção do saco vitelínico (DOS SANTOS, 2013). Segundo Bowen (1982), a espécie é onívora que se alimenta de detritos, algas verdes e cianofíceas, diatomáceas, macrófitas e bactérias. O custo com rações representa mais de 50% do custo de produção da aquicultura intensiva.

De acordo com El- Sayed (1999), o alto custo das rações, mais de 50% do custo de produção da aquicultura intensiva o que leva a pesquisa de alimentos alternativos. Em razão disso, as rações com mínimo custo e com as exigências nutricionais são objetos de estudos, pois rações balanceadas e de boa qualidade são fundamentais para o alcance de altas taxas de produtividade, em função da melhoria da taxa de conversão alimentar (SIDONIO, 2012).

2.2 Sistema de Bioflocos - BFT

Para Primavera (2006), o desenvolvimento do setor aquícola deve ser controlado, pois pode provocar alguns problemas ambientais, como destruição

de mangues e de vegetações costeiras, disseminação de doenças associadas ao cultivo e principalmente à geração de efluentes com alta concentração de nutrientes e matéria orgânica. Dessa maneira, devem-se adotar sistemas de cultivo, em que a renovação de água seja minimizada, sempre com a função de reduzir os recursos hídricos. A partir disso, destacam-se as novas tecnologias de cultivos desenvolvidas em níveis mundiais, uma delas é o sistema chamado “BFT” (Biofloc Technology System ou Sistema de Bioflocos).

O sistema BFT tem a função de estimular o desenvolvimento de uma comunidade microbiana, por meio da disponibilidade da relação C:N na água do manejo, mantida em torno de 15-20:1, no qual bactérias e outros microrganismos, invertebrados, restos de fezes e ração formam os agregados, ou bioflocos (AVNIMELECH, 2007).

Os microrganismos presentes no bioflocos fazem o uso da amônia existente na água e, conseqüentemente, a incorporam na biomassa microbiana, que será utilizada como fonte de alimento dos organismos presentes neste ambiente (THOMPSON et al. 2002). Outro ponto positivo é que promovem a manutenção da qualidade da água e ainda promovem a redução do seu uso, proporcionam altas taxas de produção, diminuindo os gastos com a alimentação (das taxas de arrazoamento), pois os bioflocos chegam a atingir níveis de proteínas bruta (PB) de até 50% (AZIM; LITTLE, 2008).

Para o processo, é fundamental que o aerador produza altas taxas de oxigenação para o sistema, contribuindo para a sobrevivência das tilápias e dos microrganismos. O oxigênio fica abundante na água com as fontes de carbono, matéria orgânica e outros materiais em suspensão na água de cultivo. A partir disso, começam a emergir bactérias que secretam o muco, o qual é responsável pela agregação e formação dos flocos microbianos. Depois a comunidade microbiana começa a se diversificar e crescer. Dessa maneira, além de bactérias heterotróficas e autotróficas, nota-se a presença de microalgas, protozoários ciliados e flagelados, nematoides e rotíferos (Figura 2) (WASIELESKY, 2013).



Figura 2 - Imagem do bioflocos maturado. Fonte: Oliveira (2017).

Para Braga et. al, (2016), como esses sistemas possuem pouca ou quase nenhuma renovação de água ao longo do tempo, a comunidade viva presente ali vai se diversificando e provoca alterações em parâmetros como oxigênio dissolvido, pH, compostos nitrogenados e sólidos sedimentares. Assim, existe a necessidade de monitoramento e controle desses parâmetros para o sucesso dessa modalidade de cultivo. A fertilização orgânica no sistema possui métodos básicos para que ocorra o estímulo do crescimento dos bioflocos e controle dos compostos nitrogenados (amônia).

A disponibilidade de alimento sem interrupção por meio dos bioflocos é propício para o crescimento dos peixes ou outro organismo de criação cultivado. Outro benefício é que, os microrganismos dos bioflocos podem competir com os microrganismos patogênicos, evitando futuras doenças aos peixes (RODRIGUES et. al, 2017).

No sistema de bioflocos, os custos com a alimentação podem ser reduzidos, pois é possível a utilização de dietas com menores níveis de proteína bruta, como já mencionado, além do que pode ser considerada uma prática sustentável de aquicultura, visto que os efluentes gerados possuem menor quantidade de compostos nitrogenados ao final do ciclo produtivo e, respectivamente, diminuindo os riscos de eutrofização. A qualidade nutricional dos bioflocos varia conforme a comunidade de microrganismos desenvolvidos no sistema, visto que a composição centesimal do bioflocos é influenciada pelas variáveis: espécie produzida no sistema, pela presença de

microrganismos específicos e o manejo do sistema e tempo de cultivo dos flocos microbianos (DA ROCHA et al., 2012).

A essência no mecanismo do BTF é recircular nutriente, sustentando uma taxa alta de carbono em relação ao nitrogênio (C/N) no meio, promovendo o crescimento de microrganismos heterotróficos, convertendo amônia em carbono da biomassa microbiano, próprio para o consumo dos peixes (AVNIMELECH, 1999).

2.3 Cultivo de tilápias em bioflocos

As tilápias são extremamente adaptadas ao sistema de bioflocos, pois possuem a capacidade de se alimentar por filtração da água o que permite a absorção dos resíduos em suspensão, além de serem de rápido crescimento e adaptado a ambientes diversos (AVNIMELECH, 2011).

A tecnologia de bioflocos permite a utilização de altas densidades de estocagem e elevadas produtividades (10 a 40kg.m⁻³) (AVNIMELECH, 2005). Ainda essa tecnologia é importante para a melhoria da qualidade da água. Por meio da absorção do nitrogênio, desenvolvido pela biomassa bacteriana, reduz rapidamente a concentração de amônia se comparado com ao processo de nitrificação (Hargreaves, 2006). Como amônia em altas concentrações é tóxica para os peixes, o BFT torna-se auxiliador na manutenção da higidez dos mesmos. Além do que resulta em diminuição de cerca de até 30% de gastos com tratamento de água (AVNIMELECH, 2009).

Em trabalhos científicos de Azim e Litle (2008) foram encontrados resultados de produção de tilápias superior a 45%, em cultivos de recirculação, do que as que foram cultivadas em sistemas com águas-claras, demonstrando que o BFT é uma boa opção de alimentação para as tilápias. De acordo KUBTIZA (2011), em seu trabalho com alevinos, as tilápias demonstraram uma conversão alimentar de 1,10 a 1,25 e sobrevivências superiores a 90%. RAKOCY et al. (2008) encontraram alta densidade com estocagem final de 18,4 kg.m⁻³, além de bons índices de sobrevivência com cerca 99,7%, e um ganho médio de peso diário de 3,2 g.

Lima et. al. (2015) constataram em seus trabalhos científicos que a estocagem de 45 peixes.m⁻³ representa a melhor reposta, pois evidenciou uma

produtividade de $16,57\text{kg.m}^{-3}$ e sobrevivência de 91%, além da obtenção de peixes maiores que 400g em 128 dias de cultivo. Constatando, assim, que o sistema de bioflocos se enquadra no cultivo intensivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de engorda.

Apesar dos bons resultados encontrados, o BFT possui alguns empecilhos para produção de tilápias como a: necessidade constante de energia elétrica, monitoramento frequente dos parâmetros físico-químicos da água e mão de obra especializada são alguns exemplos.

2.4 Fatores que alteram a qualidade da água na aquicultura

2.4.1 Oxigênio Dissolvido

Para otimizar a produtividade de uma aplicação, deve-se assegurar que os parâmetros de qualidade de água fiquem dentro das ações exigidas pela natureza escolhida. As concentrações de oxigênio dissolvido na água dos tanques de produção é o principal restritivo para o desempenho zootécnico das tilápias (BOYD, 2002). Contudo, existem distintas maneiras de controlar a concentração de oxigênio dissolvido, a começar pela renovação e troca de água, até equipamentos que integram mecanicamente o oxigênio atmosférico na água dos tanques da cultura (KEPENYES; VARADI, 1984).

Para realizar-se as medições do oxigênio dissolvido, é necessário coletar a água a partir de uma profundidade média de 10 cm, por ser um ambiente ótimo para produção de gás. Hoje, as leituras são normalmente feitas diretamente na água em que são realizadas as criações, tanto em sistemas abertos quanto fechados, por meio de aparelhos medidores portáteis de oxigênio. Esses equipamentos possuem uma resposta imediata do resultado obtido a partir das coletas. A faixa ideal de oxigênio dissolvido deve estar acima de 3 mg.L^{-1} (LOURENÇO et al, 2019).

2.4.2 Temperatura

A temperatura é um fator de grande importância para a piscicultura, os peixes são seres que necessitam de fontes externas para conseguir manter

sua temperatura (ectotérmicos). A temperatura afeta, também, as características físico-químicas da água, conseqüentemente, observa-se que o metabolismo dos organismos aquáticos é dependente da temperatura, assim como a solubilidade do oxigênio dissolvido, a viscosidade e a densidade (LOURENÇO et al, 2019).

As tilápias têm conforto térmico entre 27 e 32°C. Com isso, temperaturas abaixo ou acima desta margem interferem no apetite e no crescimento dos peixes. Em geral, quando ocorre uma diminuição da temperatura, ocorrerá aumento nos níveis de instauração dos ácidos graxos. A partir de outros experimentos, realizados com tilápias em diferentes temperaturas, indicaram um aumento de alguns ácidos graxos em tilápias (KUBITZA, 2001).

2.4.3 pH

A medição do pH (potencial Hidrogeniônico) é uma análise utilizada em muitos laboratórios para assegurar algumas tomadas de decisões. O princípio básico da medição do pH fundamenta-se na determinação da atividade do íon de hidrogênio. Para isso, aplica-se eletrodo de medida de ligação e um dispositivo designado para transformar essa atividade química do hidrogênio em sinal elétrico (em milivoltagem) e após convertido em valor de pH (SOUZA et al. 2015).

Widanardi et. al. (2012) relatam que para a produção do bioflocos é necessário que os níveis desejados de pH sejam 6,5-8 e faixas de temperatura entre 26-30°C. Esse sistema requer pouca ou nenhuma troca de água, porém é essencial a reposição dela em razão das perdas causadas por evaporação.

2.4.4 Alcalinidade

Alcalinidade total da água refere-se à sua abundância de íons de bicarbonato e carbonato, principalmente, expressa em equivalentes de carbonato de cálcio. Os bicarbonatos e os carbonatos são os propulsores

responsáveis pelo tamponamento do pH da água, isto é, eles previnem grandes variações no pH da água, para mais ou para menos (BOYD, 2000).

A alcalinidade atua como um tampão regulador do pH da água em tanques fechados ou em sistemas abertos. Em águas com alcalinidade acima de 20,0 mg/L, ocorre melhor desenvolvimento do fitoplâncton e mudanças diárias bruscas do pH são minimizadas (TAVARES; MORENO, 1994).

2.4.5 Formação da amônia

Avnimelech & Ritvo (2003) observaram, em seu estudo, que apenas 20-25% da proteína da ração era assimilado pelos peixes, sendo que o restante era excretado, aumentando os níveis de amônia e nitrogênio orgânico, pelas fezes e os alimentos não consumidos (sobras de ração), implicando em uma troca maior de água no meio. Com o nitrogênio orgânico na forma de fezes, visto que os alimentos não são absorvidos pelos animais, mas sim mineralizados pelos microrganismos em decomposição consequência de nitrogênio inorgânico na forma amoniacal. As rações do peixe geralmente contêm um percentual superior a 25%, conseqüentemente, o alto consumo de alimentos aplicados no sistema intensivo na aquicultura é responsável pela agregação e acúmulo da amônia (BRUNE et. al. 2003), extremamente tóxico ao meio aquático (STICKNEY, 2005). Contudo, se essas águas forem desaguadas sem nenhum processo de tratamento, poderão não só prejudicar o ecossistema, como também desencadear eutrofização no ambiente aquático.

Para Esteves (1998), a concepção de compostos nitrogenados minimizados como, por exemplo, a amônia, incide como consequência da decomposição aeróbica e anaeróbica da matéria orgânica. A oxidação biológica desses compostos a nitrato é chamada de nitrificação. Ela é, de fato, um processo que se caracteriza pelo emprego de compostos inorgânicos minimizados, por exemplo, o íon amônio, que doa o hidrogênio, estando por meio de sua oxidação, as bactérias arranjam os equivalentes de redução para o processo de síntese.

Da mudança de íon amônio para nitrato (nitrificação) compartilham dois gêneros de microrganismos:

Nitrossomonas – que oxidam amônio a nitrito:

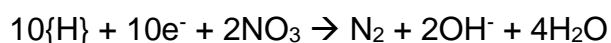


Nitrobacter – que oxidam nitrito a nitrato:

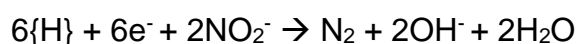


Os microrganismos nitrificantes são gram-negativos e fazem parte da família Nitrobacteriácea. A nitrificação é um processo predominantemente aeróbico e, deste modo, ocorre apenas nas regiões que apresentam oxigênio disponível. A designada respiração de nitrato é esquematizada a partir de duas variações.

(1ª) Desnitrificação, que faz parte da redução do nitrato a nitrogênio molecular:



(2ª) Amonificação do nitrato, que consta da redução do nitrato a íon amônio:



Nitrificação e desnitrificação são processos atrelados. Assim, no hipolímnio (camada profunda de alguns lagos em que se registra estratificação), no término de um período em condições anaeróbias acontece, geralmente, uma vasta quantidade de nitrogênio amoniacal.

Metcalf & Eddy (2003) comentam que, para ter boas condições de crescimento, os níveis desejáveis de pH devem estar em um ambiente mais neutro (6,5 a 8,0); de oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg.L⁻¹ e temperatura ótima a 35°C.

A relação $[\text{NH}_3]/[\text{NH}_4]$ é, pendente do pH e do número de uma constante de equilíbrio (K), estando como função da composição iônica da água e temperatura da mesma. Quando o pH diminui abaixo de 8,5, constata-se que NH_{4+} prevalece, enquanto NH_3 mantém-se constante quando o pH está acima de 10 (meio alcalino). Em vista disto, quanto maior for o pH, maior será a concentração da amônia total ativo como NH_3 (forma tóxica). Esteves (1998) comenta também que, no meio aquático, principalmente quando o pH é ácido ou neutro, a amônia desenvolvida é instável, sendo transformada por hidratação a íon amônio (NH_{4+}). Em ambiente alcalino, a probabilidade de

ocorrência desse processo é baixa, sendo capaz de causar aumento da concentração da forma não ionizada (NH_3).

2.5 Aeradores

Em sistemas de cultivo na aquacultura, o oxigênio pode ser assimilado com a água a partir de diferentes condições, tais como: o fitoplâncton por meio do processo de fotossíntese, por aeradores mecânicos e pelo oxigênio atmosférico incorporado a partir da difusão entre a área compartilhada entre ar/água por meio do vento, na inserção por intermédio de renovações de água, e (FAST & BOYD, 1992).

2.5.1 Aerador de pás

Os aeradores de pás, demonstrados a partir da figura 3, são aeradores com um formato cilíndrico, compostos por linhas de pás. O equipamento é movido por um motor elétrico ligado a um mecanismo de minimização da velocidade, proporcionando uma velocidade de 80 a 90 rpm. Usualmente, é preciso pelo menos 1kW de potência para cada meio metro de comprimento da estrutura do aerador. O diâmetro da peça mais a extensão dela, pode alcançar 91 cm para aeradores com potências superiores a 2 kW. Os aeradores de pás são instalados na água com ajuda de uma estrutura que fica emerso a ela, por meio de objetos mais leves feitas de materiais plásticos ou até mesmo metais (KUBITZA, 1998).



Figura 3 - Modelo de aerador de pás. Fonte: Sul Pesca (2018).

2.5.2 Aerador por ar difuso

O sistema de ar difuso foi constituído basicamente por um compressor ou soprador de ar, um sistema de tubulação para distribuição do ar e estruturas difusoras de ar, figura 4. Os sopradores de ar podem ser produzidos com material cerâmico, mangueiras de borracha, plásticos perfurados ou tubos de PVC perfurados, entre outros (KUBITZA, 1998).

O soprador oferece a vazão de ar ideal para o sistema e a tubulação de alimentação, propriamente dimensionada de modo a proporcionar uma velocidade ótima e constante na linha, deslocando o ar até os difusores. Esses difusores podem ser do tipo disco ou tipo tubular. Os difusores são prendidos na parte inferior do tanque, com a intenção de realizar a distribuição de ar de forma homogênea no sistema, conforme a vazão de ar requerida (BIOPROJECT, 2019).



Figura 4 - Aerador do tipo difusor. Fonte: Sul Pesca (2018).

2.5.3 Aerador efeito Venturi

A metodologia dos sistemas de autoaspiração de ar baseia-se na concepção do tubo de Venturi. Ele é usado para fornecimento da oxigenação da água onde utiliza-se o ejetor como mecanismo para misturar o oxigênio do ar com a água. Tais ejetores possibilitam a transformação da energia de pressão do fluido em energia de velocidade que impulsionará a geração de vácuo na seção de contração do Venturi, permitindo a sucção do ar atmosférico

por meio de um vaso paralelo ao escoamento. Portanto, nesse tipo de aeração, a oxigenação da água é criada pelos processos de ar dissolvidos e ar disperso, sem limitações da quantidade de ar que tem chance de ser acrescentada sem precisar do uso de compressores de ar. Dessa forma, tem-se uma ótima eficiência com baixo investimento, bem como um baixo consumo energético (PECCIN, 2010).

Cavalcanti (2010) relata as etapas de funcionamento de um bocal tipo Venturi baseando-se na medição de vazão por pressão diferencial, admitindo duas equações básicas: equação da continuidade e equação de Bernoulli.

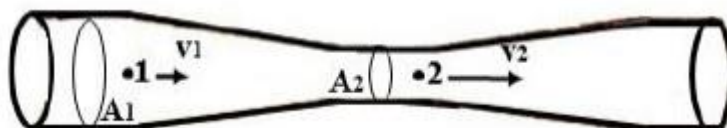


Figura 5 - Esquematização do efeito venturi. Fonte: Adaptado por STRIEDER; SCHUCH, 2005).

A equação da continuidade é utilizada com os líquidos não compressíveis, os quais têm uma redução de sua área, o que ocasiona um aumento na velocidade do fluido mantendo a vazão volumétrica ininterrupta. A equação da continuidade é descrita como:

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

Sendo:

Q = Vazão volumétrica ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

V = Velocidade média do escoamento ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);

A = Área de seção transversal (m^2);

A velocidade média ao sofrer variações gera uma mudança na pressão local do fluido, que pode ser avaliada por meio da equação de Bernoulli:

$$\frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 - h_L$$

Sendo:

p = Pressão do fluido (Pa);

γ = Peso específico (N.m⁻³);

V = Velocidade média do fluido no ponto (m.s⁻¹);

g = Aceleração da gravidade (9,81 m.s⁻²);

z = Altura da coluna de líquido (m);

h_L = Perda de carga (m).

Logo, se as pressões presentes em dois pontos específicos do Venturi são vistas, é possível determinar a velocidade média do fluido nesses pontos, atingindo ao valor da vazão existente na tubulação de forma indireta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesse tópico, será abordada a forma de como o trabalho será estudado e quais as ferramentas serão necessárias para a prática, segundo alguns autores e suas recomendações.

3.1 Ambiente de estudo

O experimento foi realizado no laboratório de aquicultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Campus Toledo, localizada geograficamente e definida pelas coordenadas 24°73' de latitude Sul (S) e 53°75' de latitude Oeste (W) e altitude de 577 metros acima do nível do mar. Vale salientar que foi conduzido no período de 60 dias entre os meses de outubro e dezembro de 2018.

3.2 Classificação da pesquisa

Segundo Gil (2002), a pesquisa, a partir de sua problemática, caracteriza-se como quantitativa, pois visa medir e quantificar os dados coletados, bem como utilizar métodos estatísticos buscando a validação das hipóteses de que o aerador de baixo custo é eficiente para o cultivo com bioflocos e identificar a melhor densidade de estocagem com base nos parâmetros analisados da qualidade da água entre os tratamentos. Já em relação aos objetivos, a pesquisa exibe característica descritiva e apresenta como finalidade principal a descrição das características do uso do bioflocos em relação ao meio aquático em um período de 60 dias. Quanto aos procedimentos, a pesquisa classifica-se como de experimentação e tem como objetivo analisar o aerador de baixo custo, em função ao ambiente de estudo, identificar os problemas com a qualidade da água durante o experimento, assim como a densidade ideal para o cultivo.

3.3 Delineamento experimental

O experimento teve um delineamento fatorial (linhagem x densidade), foram adquiridos 3378 alevinos (fase inicial do peixe) de tilápias do Nilo (*O. niloticus*) masculinizados, com uma biomassa média inicial de $3 \pm 0,5g$, de um produtor comercial localizado na cidade de Toledo – PR, Brasil. Após a chegada ao Laboratório de Aquicultura, os animais foram separados de acordo com o tratamento e mantidos em tanques retangulares de polipropileno com volume útil de 125 litros.

A estrutura é formada por 6 linhas (tratamentos), dispostos na vertical. Cada linha possui 4 tanques, totalizando 24 tanques, em meio heterotrófico (Figura 6). Cada linha contou com uma distribuição diferente de tilápias, ou seja, o número de animais estocados varia conforme o tratamento.

Cada caixa recebeu um termostato aquecedor de 200 watts de potência, com a intenção de reduzir as variações bruscas de temperatura ao longo do experimento, mantendo-se uma faixa de 26-28°C.



Figura 6 - Protótipo experimental do bioflocos no laboratório de Aquicultura. Fonte: Registro fotográfico do pesquisador (2018).

3.3.1 Tratamentos

Para o T1 (primeiro tratamento), foram alocados 45 alevinos por caixa e uma densidade inicial de 360 peixes.m⁻³. No T2 (segundo tratamento), foram alocados 225 alevinos, totalizando a densidade de 1800 peixes.m⁻³. No T3 (terceiro tratamento), foram alocados 135 alevinos, totalizando-se 1080

peixes.m⁻³. No T4 (quarto tratamento), foram alocados 180 alevinos, totalizando-se 1440 peixes.m⁻³. No T5 (quinto tratamento), foram alocados 90 alevinos, totalizando-se 720 peixes.m⁻³ e, por fim, no T6 (sexto tratamento), foram alocados 270 alevinos, totalizando-se 2160 peixes.m⁻³. A distribuição dos animais foi realizada conforme (Figura 7).

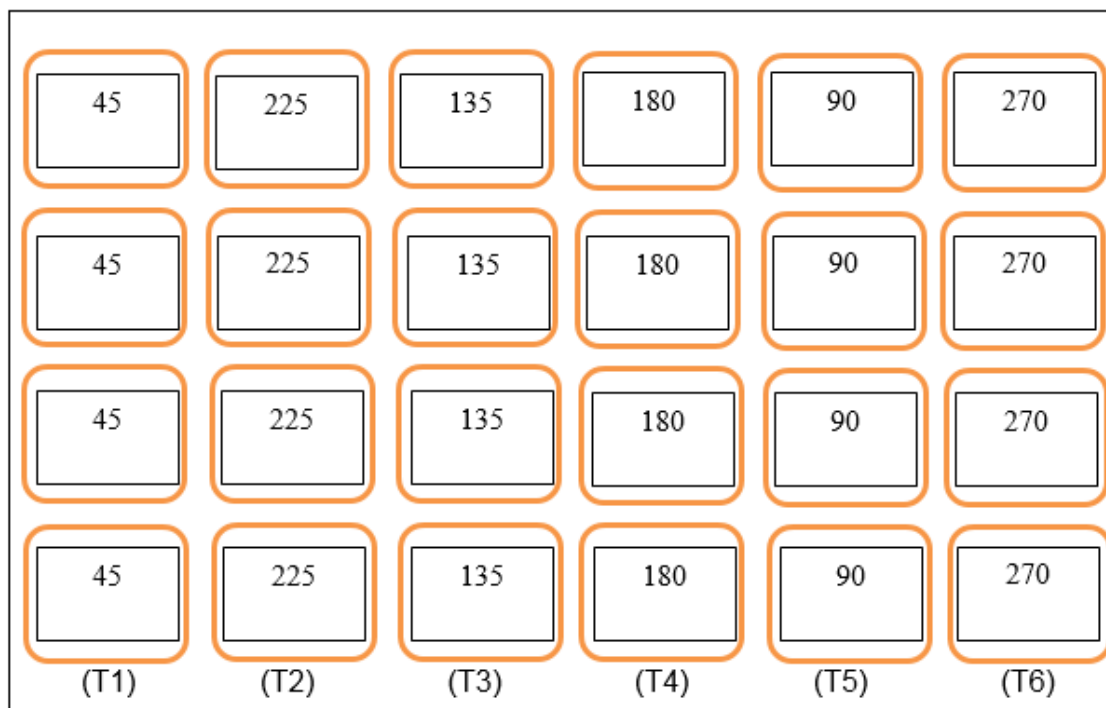


Figura 7 - Distribuição das tilápias nos tanques: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160) em peixes.m⁻³

3.3.2 Alimentação dos peixes e relação C:N

Os animais foram alimentados 2 vezes ao dia (8h e 17h) com ração extrusada comercial contendo 45% de proteína bruta. Inicialmente, para a realização do experimento, foram adicionados subprodutos (resíduo) de arroz como fonte de carbono para o desenvolvimento dos microrganismos nitrificantes. Para manter a relação C:N em 20:1, foi adicionado açúcar cristal diariamente. A dosagem diária de açúcar era definida de acordo com o resultado das análises dos níveis de nitrogênio.

3.3.3 Recirculação da água

Com a intenção de impulsionar a recirculação da água, cada linha contou com uma motobomba periférica ¼cv idb-35 bivolt, instalada ao lado da primeira caixa inferior de cada linha. Por meio de mangueiras cristalinas instaladas nas bombas, a água era bombeada da caixa inferior até a caixa do topo. Ao atingir o nível estipulado da caixa superior, a água escoava pelos canos (brancos) em PVC (por gravidade), distribuindo-se as demais caixas até atingir novamente a primeira caixa inferior e, assim, tornando-se um processo cíclico, apenas repondo o volume perdido por evaporação. (Figura 8).

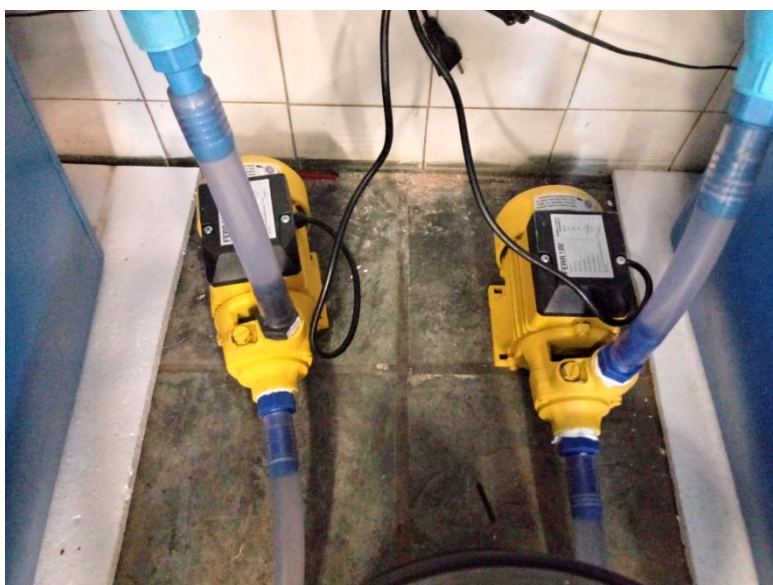


Figura 8 - Motobomba periférica ¼cv idb-35 bivolt. Fonte: Registro fotográfico do pesquisador (2018).

3.3.4 Oxigenação no sistema

Para a realização da oxigenação no sistema, utilizou-se um aerador de baixo custo (efeito venturi) em cada caixa, 24 protótipos. O aerador foi instalado diretamente no final da mangueira que faz a recirculação da água, por meio da motobomba. A água passa pelo cano, entra em contato com o ar atmosférico e o oxigênio sai incorporado à água. Figura 9.

A fim de atingir um melhor desempenho quanto à recirculação e, conseqüentemente, impulsionar a oxigenação sem alterar a estrutura do bioflocos por pressão que água atua no sistema, trabalhou-se com vazões de $0,027 \text{ m}^3.\text{min}^{-1}$, seguindo as recomendações descritas por Santos (2017), realizadas em seu trabalho.

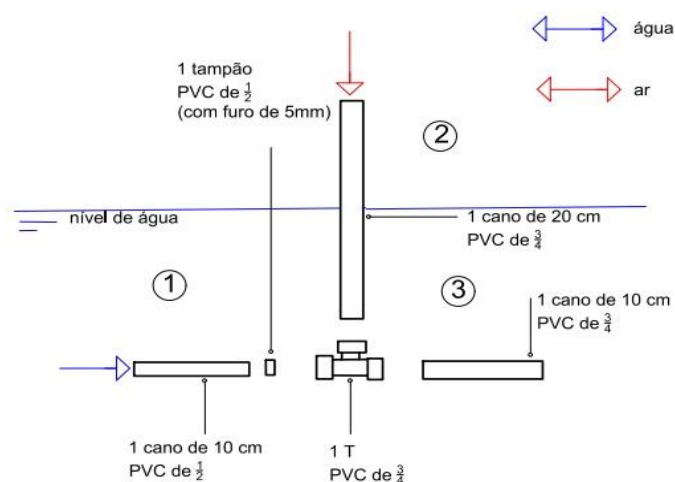


Figura 9 - Aerador montado (a) e Aerador implantado e em funcionamento (b).

3.3.5 Materiais para confeccionar o aerador

Para Santos (2017), os materiais necessários para confeccionar o aerador são os seguintes:

- 10 cm Tubo PVC 3/4 de polegada;
- Tubo de cola para PVC;
- 1 Tampão 1/2 polegada com um furo no centro de 5mm;
- 1 Conexão “T” PVC 3/4 de polegada;
- 10 cm Tubo PVC 1/2 de polegada; 20 cm Tubo PVC 3/4 de polegada;



1. A água entra pelo cano $\frac{3}{4}$ e cria pressão ao passar pelo furo de 5mm no tampão.
2. Devido a pressão o ar é sugado para dentro do sistema.
3. O ar se mistura com a água, oxigenando-a;

Figura 10 - Etapas de montagem do aerador utilizado. Fonte: Adaptado pelo autor (2018).

3.4 Determinação dos parâmetros

3.4.1 Medição do pH

O módulo sensor detector de pH foi utilizado para verificar os parâmetros do pH, sendo uma forma de garantir e controlar a qualidade da água, bem como um medidor de baixo custo e fácil aplicabilidade. Figura 11.



Figura 11 - Módulo sensor pH. Fonte: o fabricante (2018).

Pode-se observar na figura a seguir algumas especificações do módulo sensor de pH.

Tensão de aquecimento	5±0.2 V (AC-DC)
Corrente de trabalho	5-10mA
Intervalor de concentração de detecção	pH 0-14
Intervalor de detecção de temperatura	0-80°C
Tempo de resposta	5s
Consumo de energia	0.5 W
Umidade de trabalho	95% RhH (umidade 65% RH nominal)
Erro alcalino	0.2pH
Peso	25g

Figura 12 - Especificações técnicas do módulo sensor pH. Fonte: o fabricante (2018).

3.4.2 Medição do oxigênio dissolvido e temperatura

Para o controle do oxigênio dissolvido (OD) (que pode ser expresso em mg.L^{-1} ou termos de percentual de saturação) e a temperatura (expressa em $^{\circ}\text{C}$) foi utilizada a sonda multiparâmetro YSI professional plus®, capaz de apresentar os resultados em tempo instantâneo, ideal para o controle de água em baixas vazões (figura 13).



Figura 13 - Sonda multiparâmetro YSI professional plus®. Fonte: O fabricante (2018)

3.4.3 Medições dos compostos nitrogenados, fósforo e alcalinidade

O fotocolorímetro multiparâmetro com memória para 100 registros com marcação de data/hora permite a inserção de até 100 curvas de calibração, desenvolvido para operações em laboratórios, com excelente durabilidade. Possui 27 parâmetros, alguns com mais de um método, sendo 36 curvas pré-programadas de fábrica (Figura 14).



Figura 14 - Superfoto AT 100 PBS II microprocessador com memória. Fonte: Alfakit (2018).

Para a realização diária dos testes de amônia, nitrato, nitrito e fósforo, utilizou-se o kit comercial Spectro da Alfakit, com auxílio do fotocolorímetro para a leitura dos dados, baseado nas metodologias analíticas adaptadas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (EATON et. al. 2005). Já para a alcalinidade, foi realizado o método de titulação, também pelo kit comercial (figura 15).



Figura 15 - Kit Spectro Alfakit. Fonte: O autor (2018).

3.4.4 Medições do DQO, DBO e SS

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi realizada conforme descrito em APHA (2005), sendo feita em frascos padrão e incubadora de DBO.

Além disso, a demanda química de oxigênio (DQO) foi efetivada pelo método da refluxação fechada do dicromato com o uso do bloco digestor CIENLAB Dry Block.

O monitoramento da concentração de sólidos é possível ser realizado por meio de cones Imhoff, que medem a concentração de sólidos sedimentares em mL/L (HARGREAVES, 2013). Este método é ágil e de baixo custo, sendo o mais utilizado. Suas desvantagens são as mudanças de densidade do floco, que interfere na sedimentação, reproduzindo efeitos imprecisos. Figura 16.

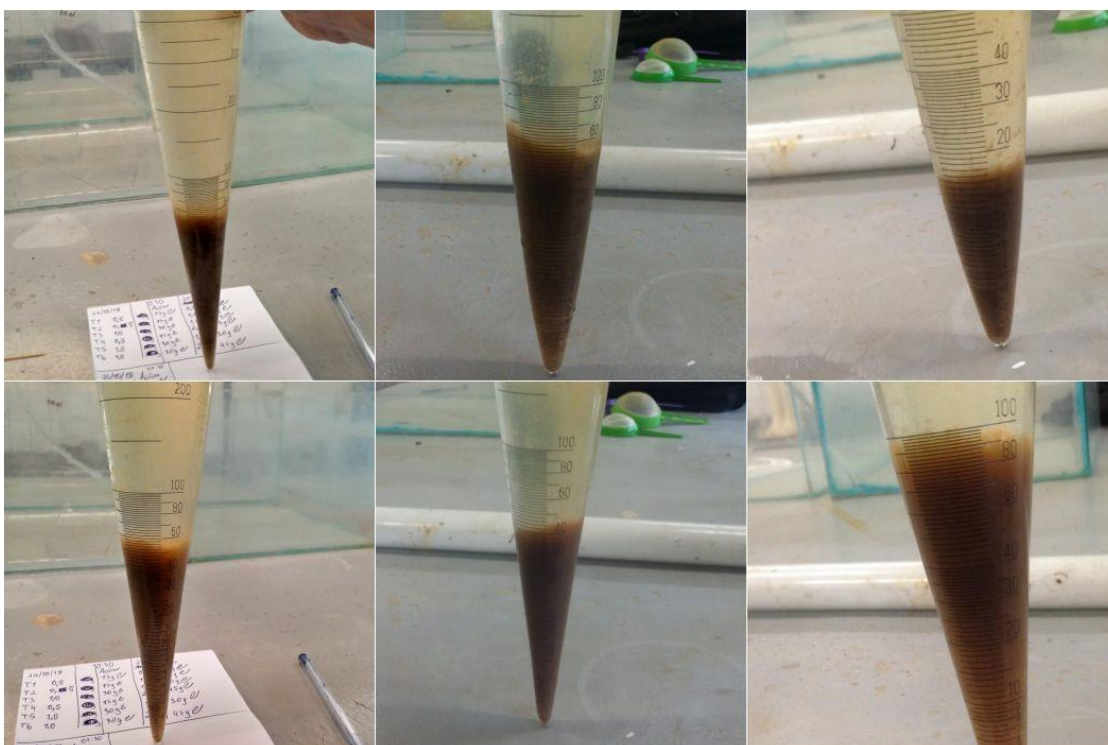


Figura 16 - Processo de sedimentação entre os tratamentos utilizando cone de Imhoff.

O excesso de sólidos durante o cultivo pode prejudicar os animais, dado que os sólidos que ficam suspensos na água juntam-se às brânquias impedindo a respiração, além de atrapalhar no seu consumo alimentar, reduzir os níveis de oxigênio da água, entre outros. Para permanecer na faixa ideal, faz-se o uso de decantação, a fim de reduzir os sólidos presentes na água. Figura 17.



Figura 17 - Decantador utilizado durante o experimento. Fonte: O autor (2018).

3.5 Análise estatística

Os parâmetros de qualidade da água foram comparados por meio de análises estatísticas, utilizando o software SISVAR® (Ferreira, 2011). Os dados, submetidos às análises de variâncias (ANOVA) unidirecionais, com medições contendo 3 repetições aplicadas nas análises das variáveis físicas e químicas da água, bem como verificadas por meio do teste F ($p < 0,05$) (Gomez e Gomez, 1984). As comparações das médias foram realizadas pelo teste de Tukey com 5% de significância (ZAR, 2010).

3.6 Programa de monitoramento

Para a caracterização da qualidade da água de cultivo, foram analisadas as seguintes variáveis físico-químicas:

Diariamente, pela tarde, foram monitorados: o pH a partir do sensor programado pelo Arduino; a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) por meio de um termômetro comercial, o oxigênio dissolvido (OD) com o uso da sonda multiparâmetro YSI professional plus®; Amônia total (AT) e Nitrito (NO_2^-).

Uma vez por semana foram analisadas as demandas químicas de oxigênio (DBO); Demanda bioquímica de oxigênio (DQO); Fosfato (PO_4^{-3}); Nitrato (NO_3^-); sólidos sedimentares (SS) e Alcalinidade total (AlcT), realizadas no laboratório de aquicultura e microbiologia da Unioeste campus Toledo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Abordagem sobre o sistema de aeração

4.1.2 Custos para implantação

Na tabela 1, são apresentados os custos totais para a implantação do sistema de aeração no experimento. O valor total para a fabricação dos aeradores foi de R\$ 112,28.

Tabela 1 – Custo total para a implantação do sistema de aeração para as 16 caixas

Materiais	Quantidade total utilizada	Valor unitário	Valor Total
Tubo PVC ¾'	4,80 metros	R\$ 3,00/metro	R\$ 14,40
Tubo PVC ½'	1,60 metros	R\$ 3,00/metro	R\$ 4,80
Tampão PVC ½'	16 unidades	R\$ 1,19/un.	R\$ 19,04
Conexão "T" PVC ½'	16 conexões	R\$ 0,89/un.	R\$ 14,24
Tubo de cola PVC	2 unidades	R\$ 29,80/un.	R\$ 59,80
TOTAL			R\$ 112,28

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

O custo para a implantação desse sistema é definitivamente baixo, comparado com outros sistemas convencionais que são fabricados a partir de materiais com custos mais elevados, como o aço.

Os sistemas convencionais necessitam de energia elétrica para possam desenvolver a suas operações, visto que o aerador de baixo custo não precisa a de energia elétrica, mas apenas do auxílio das motobombas periféricas ¼cv idb-35 bivolt, operando em vazões mínimas que, ao recircular a água, proporciona o seu transporte até o aerador, incorporando o oxigênio a ela e impulsionando a aeração.

4.2 Parâmetros físico-químicos da água

4.2.1 Parâmetros diários

As médias relacionadas aos parâmetros OD, T água, pH e AlcT no decorrer do cultivo são evidenciadas na tabela 2.

Foi possível observar que o Oxigênio Dissolvido (OD) não foi significativamente diferente entre os tratamentos, pois, com o aumento da densidade, a solubilidade do oxigênio na água não diminui ao longo do experimento. É notório que, em ambos os tratamentos, a concentração de OD ficou entre os níveis considerados ideais para as tilápias, ou seja, acima de 3 mg.L⁻¹ (Figura 18) (BOYD, 1998). Níveis de OD próximo à saturação resultam em ótima produtividade e níveis inferiores a 50% de saturação devem ser evitados (MCGRAW et al. 2001).

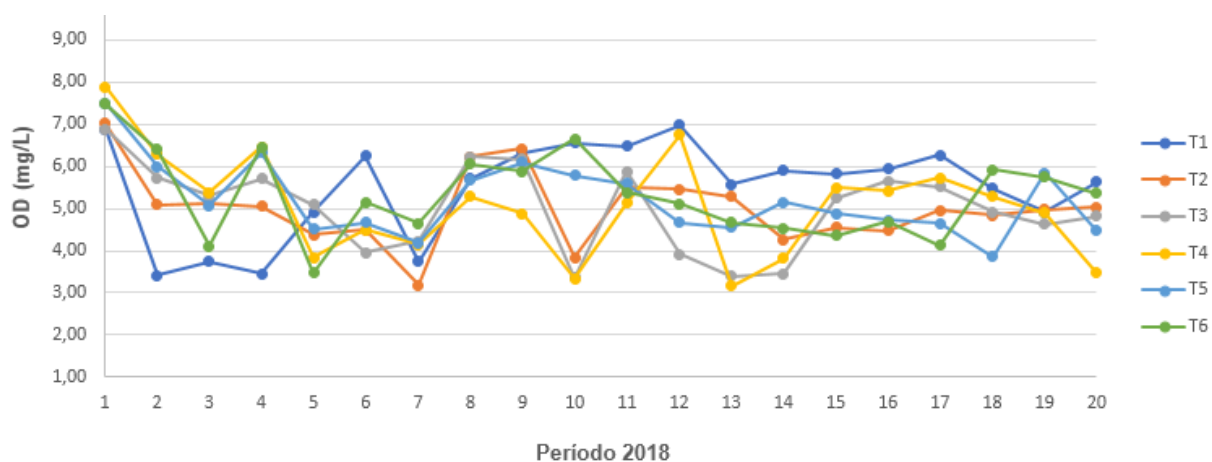


Figura 18 - Variações do oxigênio dissolvido durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160), analisadas a cada 3 dias.

A partir dos resultados apresentados na figura 18, mostra-se a eficiência do aerador efeito Venturi aplicado ao sistema BTF, contribuindo para a oxigenação, atingindo os níveis desejados para um bom funcionamento durante o experimento.

Os resultados dos parâmetros analisados mostram que existiram diferenças significativas para temperatura (C°) da água e alcalinidade, conforme mostra na tabela 2

Tabela 2 - Médias e desvios padrões dos parâmetros físicos e químicos OD/Táguas/pH/Alct durante o cultivo de tilápias em sistema BTF em diferentes densidades de estocagem em peixes/m³

Tratamentos	PARÂMETROS			
	OD (mg.L ⁻¹)	T água (°C)	pH	Alct (mg aCo ₃ .L ⁻¹)
T1 (360)	5,50±1,12 ^a	26,76±0,62 ^a	7,20±0,54 ^a	68,75±18,49 ^a
T2 (1800)	4,88± 0,87 ^a	27,67±1,15 ^c	7,23±0,53 ^a	98,50±28,48 ^c
T3 (1080)	4,87±1,02 ^a	27,19±1,03 ^b	7,13±0,60 ^a	71,75±21,83 ^a
T4 (1400)	5,03±1,22 ^a	27,20±0,60 ^b	7,22±0,69 ^a	95,50±30,29 ^c
T5 (720)	5,22±0,88 ^a	27,43±0,87 ^b	7,24±0,45 ^a	68,08±20,81 ^a
T6 (2160)	5,31±1,01 ^a	27,42±0,92 ^c	7,16±0,39 ^a	77,50±22,79 ^b
CV (%)	20,46	3,22	7,64	29,44

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

O pH não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, porém todos se mantiveram dentro dos valores ideais de pH para as tilápias, entre 6,0-8,0 (Chien, 1992).

Observou-se que o uso de aquecedores durante o experimento foi necessário. Nas figuras 19 e 20, são apresentadas as variações de temperatura e pH no decorrer do experimento, respectivamente.

No 38º dia, os valores de pH diminuíram em todos os tratamentos, mas logo foram estabilizados novamente.

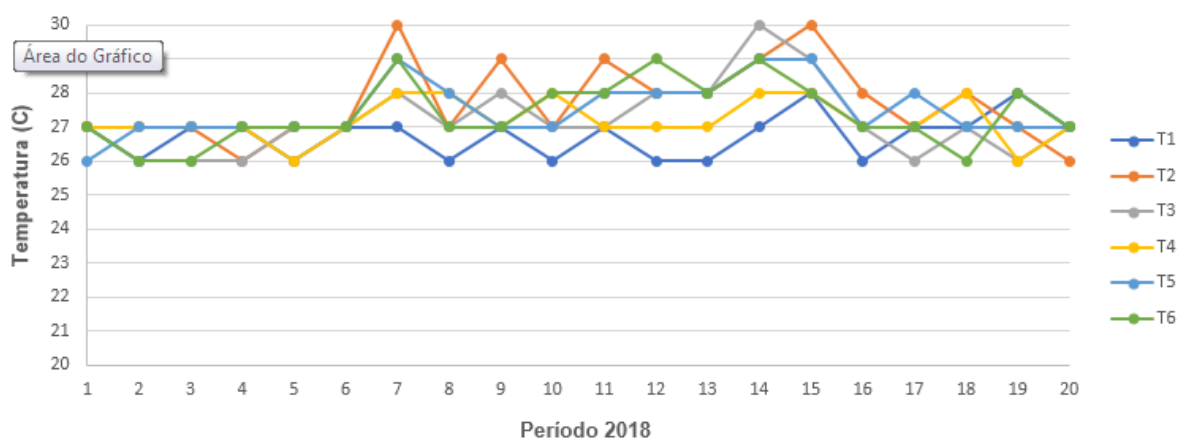


Figura 19 - Variações da temperatura durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160), analisadas a cada 3 dias.

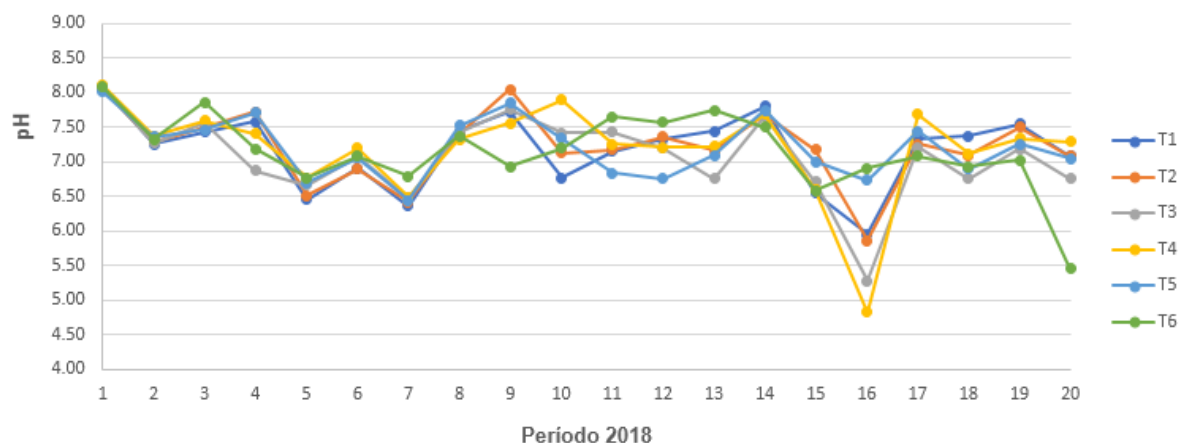


Figura 20 - Variações do pH durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160) analisadas a cada 3 dias.

Em relação à alcalinidade, há diferença entre os tratamentos. Os tratamentos T2 e T4, foram os que apresentaram maiores concentrações, médias de $98,50 \pm 28,48 \text{ mg.L}^{-1}$ de CaCO_3 para T2 e $95,50 \pm 30,29 \text{ mg.L}^{-1}$ de CaCO_3 para T4. Os valores de alcalinidade de quase todos os tratamentos no estudo proposto não afetaram negativamente as tilápias, exceto o T5 que ficou abaixo do valor mínimo descrito por Furtado et al. (2015), pois relata que a concentração deve ficar acima dos 40 mg.L^{-1} e valores ótimos próximos de 100 mg.L^{-1} .

Optou-se por não realizar as correções da alcalinidade para verificar como o sistema se comportaria, permitindo que fosse ajustado naturalmente. Entretanto, foi possível comprovar que o sistema necessita dessas correções para tenha um bom desempenho. Os valores das distribuições da alcalinidade podem ser observados por meio da figura 21.

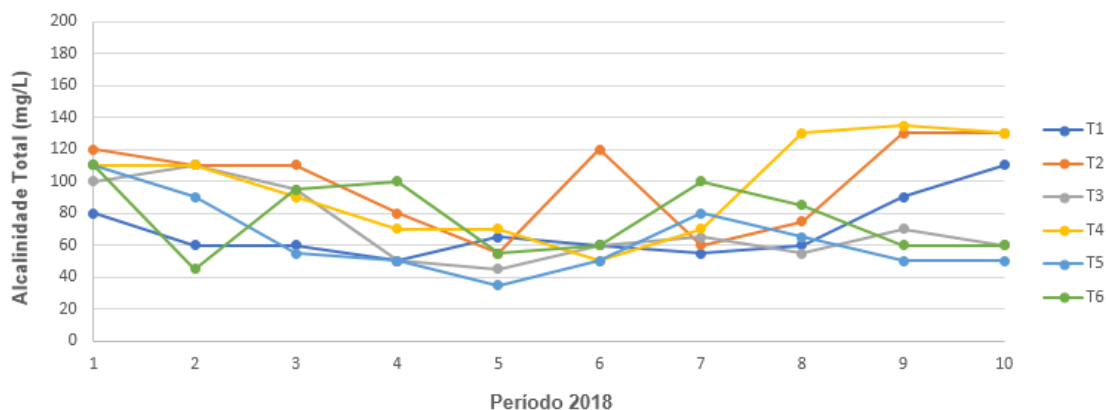


Figura 21 - Variações da alcalinidade total durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas semanalmente.

4.2.2 Compostos Nitrogenados e fosfatados

Na tabela 3, são demonstradas as concentrações médias de amônia total, nitrato, nitrito e fosfato no decorrer do experimento. Não foram identificadas diferenças significativas entre os tratamentos para nitrato, amônia total e fosfato. Já a concentração de nitrito foi diferente entre o T6, que apresentou maiores valores, em média $3,06 \pm 2,62 \text{ mg.L}^{-1}$.

Nas figuras 22, 23, 24 e 25, são apresentadas as variações das concentrações de nitrito, amônia, nitrato, fosfato e amônia total, respectivamente, durante o período experimental.

Tabela 3 - Médias e desvios padrões dos parâmetros físicos e químicos nitrito/amônia total/nitrato/fosfato durante o cultivo de tilápias em sistema BTF em diferentes densidades de estocagem em peixes/m³

Tratamentos	PARÂMETROS			
	Nitrito (mg.L ⁻¹)	Amônia total (mg.L ⁻¹)	Nitrato (mg.L ⁻¹)	Fosfato (mg.L ⁻¹)
T1 (360)	1,57±1,97 ^a	0,99±1,23 ^a	2,71±1,79 ^a	23,62±16,11 ^a
T2 (1800)	1,47± 1,42 ^a	0,97±1,08 ^a	2,94±2,70 ^a	25,10±15,02 ^a
T3 (1080)	1,42±1,40 ^a	1,58±1,24 ^a	2,78±2,42 ^a	23,81±13,45 ^a
T4 (1400)	1,20±1,34 ^a	1,27±1,04 ^a	2,56±1,89 ^a	26,54±16,09 ^a
T5 (720)	0,98±1,41 ^a	1,10±1,43 ^a	2,80±2,21 ^a	24,83±14,51 ^a
T6 (2160)	3,06±2,62 ^b	1,02±0,64 ^a	3,02±2,95 ^a	26,89±15,19 ^a
CV (%)	107,27	118,02	82,26	58,48

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

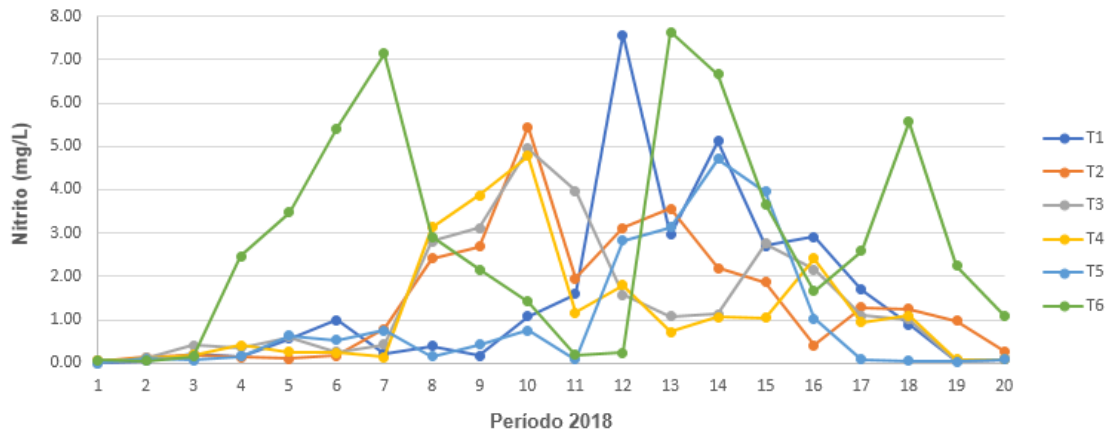


Figura 22 - Variações do nitrito durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas a cada 3 dias.

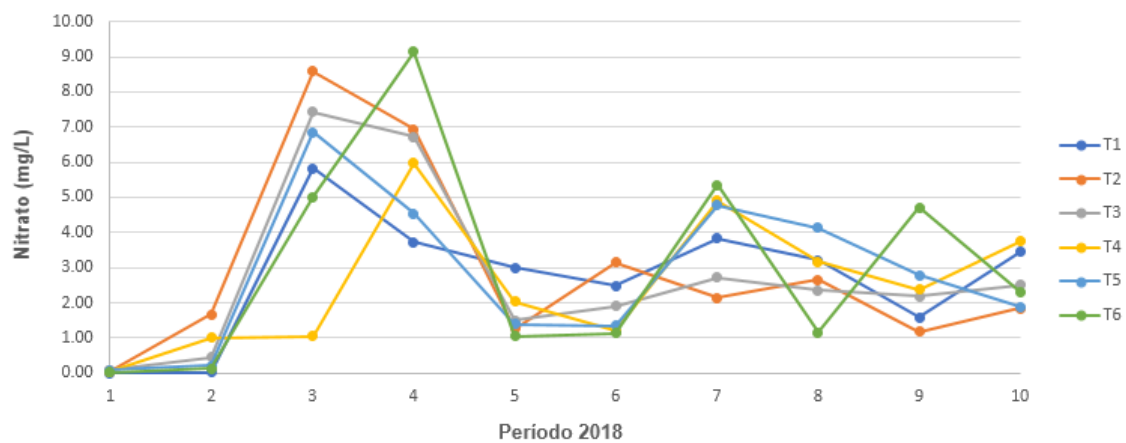


Figura 23 - Variações do nitrato durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas semanalmente.

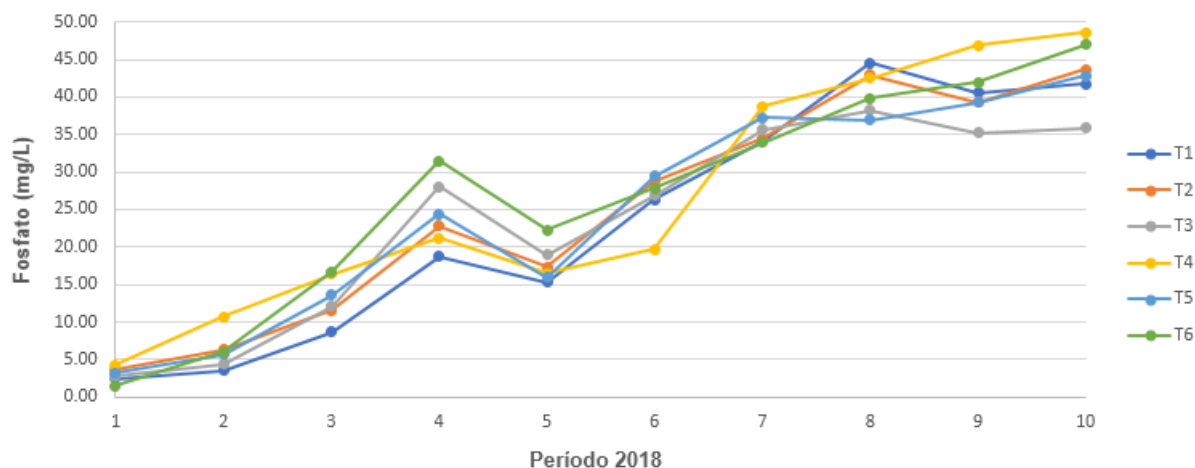


Figura 24 - Variações do fósforo durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas semanalmente.

A partir dos gráficos de nitrato e nitrito, foi possível certificar que, durante o cultivo, a nitrificação não foi o fator decisivo na contribuição para remoção de amônia. Afinal, as concentrações dos subprodutos das reações de nitrificação não se mantiveram constantes ao longo do cultivo, com grandes variações, principalmente os valores de nitrito. Além do crescimento desacelerado de bactérias nitrificantes, ocorre a competição entre microrganismo com outro perfil pelo ambiente e oxigênio com os microrganismos heterotróficos, como citado por Hargreaves (2006).

Altas concentrações de nitrito na água afetam as trocas gasosas em peixes por converter a hemoglobina em meta-hemoglobina (Wuertz et al., 2013). As moléculas de cloretos usam o mesmo mecanismo de entrada nas brânquias usado pelo nitrito, a salinização da água do sistema é um método preventivo, evitando a intoxicação dos peixes cultivados (Avnilemech, 2009; Wuertz et al., 2013).

Contudo, adicionar matéria orgânica ao meio acabou por inibir o crescimento de microrganismos autotróficos. Silva et al. (2013) observaram, ao avaliar a interação entre nitrogênio e fósforo em cultivo de tilápias com bioflocos, o aumento nas concentrações de nitrato a partir da 1ª semana de cultivo, chegando a valores máximos entre 6 mg.L⁻¹ e 9 mg.L⁻¹ entre os tratamentos. Nesta pesquisa, não ocorreu a clarificação. Com isso, as bactérias nitrificantes não foram removidas do sistema.

A amônia total teve um acréscimo durante a 1ª semana do cultivo, mas logo teve uma redução mantendo-se em níveis aceitáveis até o 42º dia. Novamente, foram observados, a partir da figura 25, os picos nas concentrações da amônia entre o 33º e o 54º dia, reduzindo-se na última semana do experimento.

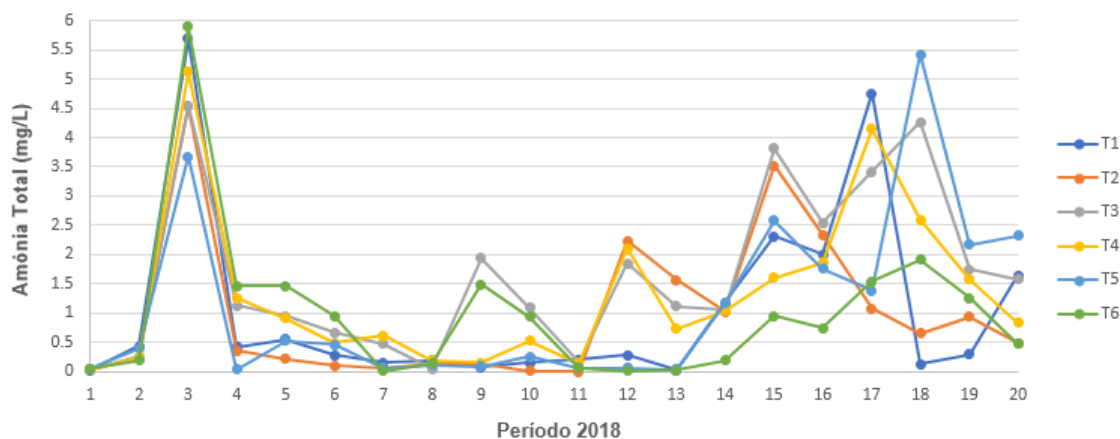


Figura 25 - Variações da amônia total durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas a cada 3 dias.

Quanto ao fosfato, há um acréscimo da sua concentração no decorrer do cultivo, já que é um elemento proveniente da ração, figura 24. Esse aumento crescente pode estar atribuído aos compostos presentes na ração. Nesta situação, Xu et al. (2016) certificaram o aumento de fósforo com a extensão da relação C:N.

O saturamento pela assimilação de fósforo por microalgas foi descrito como possível causa da diferença, mas levando em consideração que foi empregado açúcar cristalizado como fonte de carbono e elevadas relações C:N acarretam em maior suplementação de fonte de carbono. No entanto, apenas cerca de 30% do fósforo existente no alimento é normalmente incorporado à biomassa das tilápias, sendo o restante excretado (AVNIMELECH & RITVO, 2006).

4.2.3 Matéria orgânica e Sólidos Sedimentares

Na tabela 4, são apresentados os valores para demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) em todos os tratamentos. Verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos. Para DQO e DBO, provavelmente por conta da quantidade de açúcar adicionada durante o experimento mantendo-se a relação C:N em 20:1. Com base nos valores de DQO e DBO, foi possível caracterizar a biodegradabilidade da água de cultivo. Nesse caso, a relação DQO/DBO entre todos os tratamentos foi superior a 4, apresentando elevadas concentrações de material inerte ou não biodegradável no meio (VON SPERLING, 1996).

Em vista disso, baixo material orgânico disponível para os microrganismos está presente no meio. De acordo com Von Sperling (1996), este material orgânico inerte é produzido por meio do decréscimo da biomassa microbiana por morte, metabolismo endógeno, predação e assim por diante. Os níveis de salinidade podem ocasionar efeitos divergentes na flora microbiana, provocando plasmólise e diminuição nas atividades celulares (Medeiros et al, 2005), explicando possivelmente a alta concentração de material inerte em todos os tratamentos.

Os tratamentos T2 e T6, com as maiores densidades, apresentaram altos valores, tanto para DQO como DBO, isso se deve a elevadas concentrações de materiais inertes (açúcar adicionado). Para DQO, os valores para T2 e T6 foram de $679,99 \pm 280,45 \text{ mg.L}^{-1}$ e $1386,17 \pm 584,61 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. Já para o DBO, T2 e T6 foram de $61,37 \pm 30,28 \text{ mg.L}^{-1}$ e $90,09 \pm 40,37 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente.

Tabela 4 - Médias e desvios padrões dos parâmetros físicos e químicos DQO/DBO/SS durante o cultivo de tilápias em sistema BTF em diferentes densidades de estocagem em peixes/m³

Tratamentos	PARÂMETROS		
	DBO (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	SS (mL.L ⁻¹)
T1 (360)	42,19±17,38 ^a	580,05±470,39 ^a	41,62±15,73 ^a
T2 (1800)	61,37±30,28 ^b	679,99±280,45 ^b	56,33±32,22 ^a
T3 (1080)	46,92±27,93 ^a	422,88±170,26 ^a	50,71±21,06 ^a
T4 (1400)	44,21±23,81 ^a	643,54±157,95 ^a	65,86±28,64 ^a
T5 (720)	49,93±31,83 ^a	601,34±153,93 ^a	67,48±39,91 ^a
T6 (2160)	90,09±40,37 ^b	1386,17±584,61 ^b	197,71±105,81 ^b

Fonte: Dados da pesquisa (2018). DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, DQO – Demanda Química de Oxigênio, SS – Sólidos Sedimentares

A partir dos dados explicitados na tabela 4, as concentrações de sólidos sedimentares tiveram diferenças significativas entre os tratamentos. Os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 tiveram basicamente o mesmo comportamento, mantendo-se boa parte do experimento. Já o tratamento T6, mostrou-se com os maiores níveis de SS, atingindo valores médios de $197,71 \pm 105,81 \text{ mL.L}^{-1}$. Portanto, é provável que o processo de decantação não tenha sido suficiente para realizar a redução dos sólidos para esse tratamento, em razão da grande densidade estocada na linha. Os níveis de cada tratamento são apresentados na figura 26.

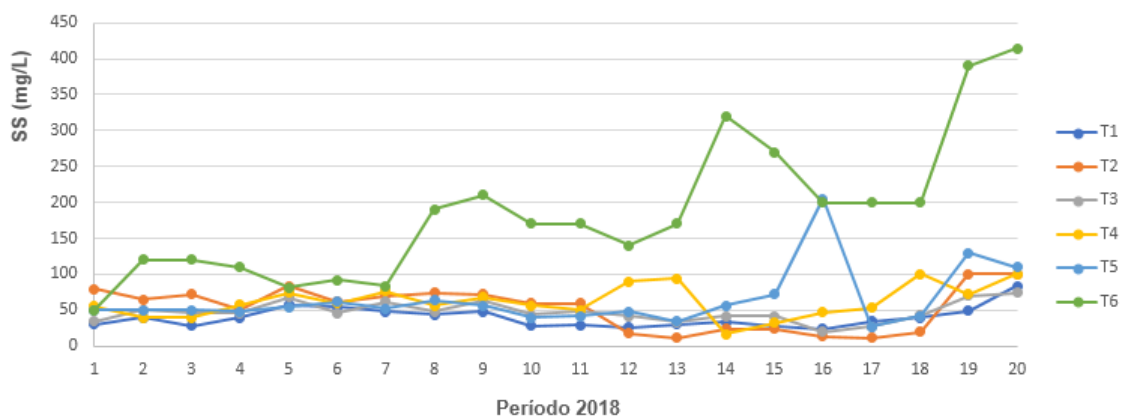


Figura 26 - Variações das concentrações de sólidos sedimentares durante o cultivo da tilápia em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160). Todas foram analisadas a cada 3 dias..

Examinando a figura 27, observou-se as taxas de mortalidade durante o período experimental, ou seja, os maiores níveis de mortalidade foram registrados nos tratamentos T2 (1800) com 43,71%, T4 (1440) com 38,83 % e T6 (2160) com 69,49%.

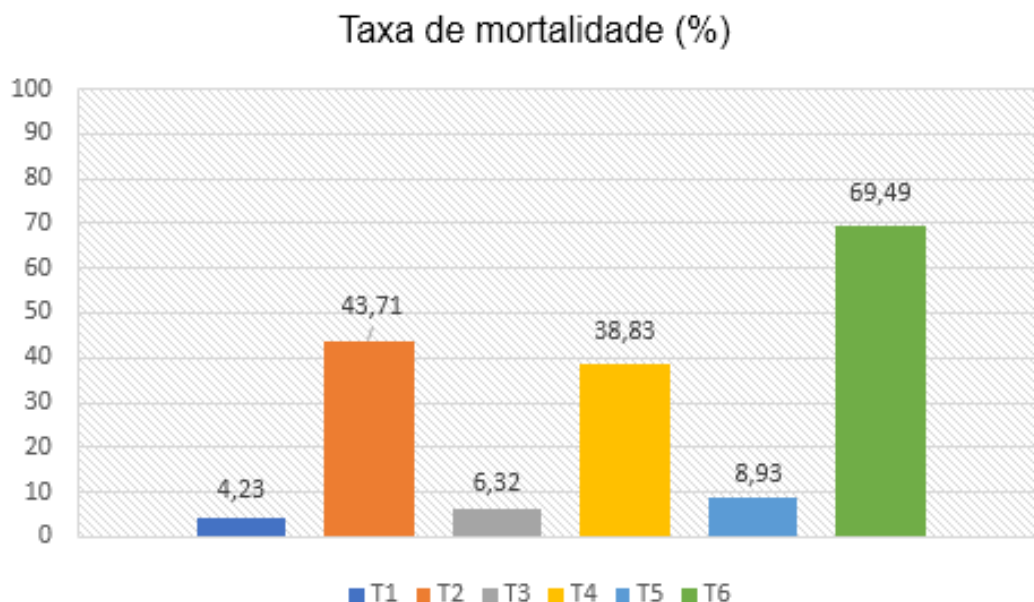


Figura 27- Taxa de mortalidade durante o período experimental em cultivo de tilápias em sistema BFT em diferentes densidades de estocagem: T1(360); T2(1800); T3(1080); T4(1440); T5(720); T6(2160).

A partir dos dados da figura 27, percebe-se que os tratamentos T2, T4 e T6 não são densidades adequadas para trabalhar com bioflocos, visto que são densidades que acarretaram elevadas concentrações de sólidos por conta do grande volume de peixes presentes no cultivo.

A relação negativa entre a densidade de estocagem, crescimento e a sobrevivência durante o período de produção de tilápias já foi observada por diversos autores (Moss & Moss, 2004) e, provavelmente, está associada a competição por espaço (Arnold et al. 2006) e por alimento (LEMOS et al. 2004; FROES et al. 2007).

5. CONCLUSÕES

Portanto, a partir dos testes de aeração realizados por meio da sonda multiparâmetro, pode-se concluir que o aerador produzido com material de baixo custo mostrou ótimos resultados para os níveis de aeração na água, alcançando valores de concentração de oxigênio dissolvido dentro das faixas aceitáveis para um bom desempenho. Sendo assim, o aerador mostrou-se eficiente no transporte de oxigênio para água.

Um das vantagens da utilização do sistema BFT é a economia no montante total da água utilizada e adicionado apenas à reposição de água perdida por evaporação ou por necessidade de manejo. Contudo, a piscicultura pode ser instalada mesmo em regiões que não se encontra água em abundância.

Em relação aos parâmetros analisados, conclui-se que os compostos nitrogenados tiveram uma maior concentração nas maiores densidades estudadas, em razão da quantidade gerada de excrementos e restos de resíduos ser menor que a quantidade de microrganismos nitrificantes, responsáveis pela conversão e manutenção da qualidade na água.

Outro ponto relevante, é o índice de mortalidade ocasionada para densidades superiores a 720 peixes.m⁻³, causadas pela competitividade de espaço e o acúmulo de materiais inertes.

A partir dos resultados encontrados, conclui-se que a densidade de estocagem de até 720 peixes.m⁻³ é uma densidade segura para ser utilizada na criação de tilápias em sistemas de bioflocos, sem renovação de água e sem correção de compostos nitrogenados durante o cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFAKIT. **Equipamentos para análise de água, solo e nutrientes**. Disponível em: < <https://alfakit.com.br/>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

APHA (American Public Health Association), American Water Works Association and Water Pollution Control Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA. 2005

ARDUINO. **What is Arduino?** ARDUINO, 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

ARNOLD, SJ, MJ SELLARS, P CROCOS & GJ COMAN. **Anevaluation of stocking density on the intensive production of juvenile brown tiger shrimp (Penaeus esculentus)** *Aquaculture*,256: 174–179. 2006.

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

Avnimelech Y, Ritvo G. **Shrimp and fish pond soils: processes and management**. *Aquaculture* 220:549-567. 2003.

AVNIMELECH, Y. **Tilapia harvest microbial flocs in active suspension research pond**. *Global Aquaculture Advocate*, p.57-58 October 2005.

AVNIMELECH, Y. **Bio-filters: The need for an new comprehensive approach**. *Aquacultural Engineering*, 34(3): 172-178. 2006.

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

AVNIMELECH, Y; VERDEGEM, M. C. J.; KURUP, M.; KESHAVANATH, P. **Sustainable land-based aquaculture: rational utilization of water, land and feed resources**. *Mediterranean Aquaculture Journal*, v. 1, p. 45-55, 2008.

AVNIMELECH, Y. **Biofloc Technology: a practical guide book**. **Baton Rouge, Louisiana**: World Aquaculture Society, 182p. 2009.

AVNIMELECH, Y. **Tilapia production using biofloc technology - saving water, waste recycling improves economics**. *Global Aquaculture Advocate*, p.66-68 May/June 2011.

AZIM, M.E.; LITTLE, D.C. **The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (Oreochromis niloticus)**. *Aquaculture*, v.283, p.29-35, 2008.

BANCO MUNDIAL. **Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture**. Washington: Banco Mundial, Dec. 2013.

BENDER, J.; LEE, R.; SHEPPARD, M.; BRINKLEY, K.; PHILIPS, P.; YEBOAH, Y.; WAH, R.C. **A waste effluent treatment system based on microbial mats for black sea bass *Centropristis striata* recycled water mariculture.** Aquac Eng 31:73-82. 2004.

BIOPROJECT – EQUIPAMENTOS AMBIENTAIS. **Sistema de aeração por ar difuso.** Disponível em: <<http://www.bioproject.com.br/sistema-aeracao-ar-difuso-circular.html>>. Acesso em: 14 jan. 2019.

BORGES, A. M. **Piscicultura.** Brasília: EMATER, 36 p. 2002.

BOSSIER, P., EKASARI, J., **Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals.** *Microb. Biotechnol.* 10, 1012–1016. doi:10.1111/1751-7915.12836, 2017.

BOYD, CE. **Pond water aeration systems.** *Aquacultural Engineering*, 18: 9-40. 1998.

BOYD, C.E., CLAY, J.W. **Evaluation of Belize Aquaculture, Ltd: A Superintensive Shrimp Aquaculture System.** Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. 17pp. 2002.

BOWEN, S. H. **Feeding, digestion and growth qualitative considerations.** In: PULLIN, R. S. V.; LOWE-MC-CONNELL, R. H. (Ed.) **The biology and culture of tilapias.** Manila, Philippines: ICLARM, p. 141-156. (Conference Proceedings, 7). 1982.

BURFORD, MA, PJ THOMPSON, RH BAUMAN & DC PEARSON. **Nutrient and microbial dynamics in high-intensive, zero-exchange shrimp ponds in Belize.** *Aquaculture*, 219: 393-411. 2003.

BRAGA, A. et al. **The effects of feeding commercial feed formulated for semi-intensive systems on *Litopenaeus vannamei* production and its profitability in a hyper-intensive biofloc-dominated system.** *Aquaculture Reports*, v. 3, p. 172-177, 2016.

BRANDÃO, P. **Oxigênio renovado – Piscicultor inventou um aerador simples e barato, que recicla água sem gastos com energia elétrica.** *Revista Globo Rural* Editora Globo ano 30 nº 358, agosto de 2015.

BROWDY, C. L.; BRATVOLD D.; STOKES A. D.; MCINTOSH R. P. **Perspectives on the application of closed shrimp culture systems.** In: Jory ED, Browdy CL, editors. *The new Wave. Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture*, The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA. p.20–34. 2001.

BRUNE, D.E.; SCHWARTZ, G.; EVERSOLE, A.G.; COLLIER J.A.; SCHWEDLER, T.E.; **Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems.** *Aquac Eng.* 28:65-86. 2003.

CAVALCANTI, C. A. N. *et al.* **Construção e operação de Venturi para medição de vazão de líquidos.** 2010. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2011/Carlos_Fernando_Ricardo.pdf> Acesso em: 10 nov. 2018.

CHIU, Y.S. and *et al.*, **pH Sensor Investigation of Various Length Photoelectrochemical Passivated ZnO Nanorod Arrays**, Journal of the Electrochemical Society, 2011.

CNAANI, A.; LEE, B.Y.; ZILBERMAN, N. *et al.* **Genetics of sex determination in Tilapiine species.** Sex. Develop., v.2, p.43-54, 2008.

CORREIA, Eudes de Souza *et al.* **Diferentes fontes de carbono no cultivo intensivo da tilápia do nilo *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) em sistema de bioflocos.** Dissertação (Programa de pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2016.

DA ROCHA, A.F.; ABREU, P.C.; WASIELESKY JR., W. *et al.* **Avaliação da formação de bioflocos na criação de juvenis de tainha mugil cf. hospes sem renovação de água.** Atlântica, v.34, p.63-74, 2012.

DE SCHRYVER, P.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOON, N., VERSTRAETE, W. **The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture.** Aquaculture 277:125-137, 2008.

DOS SANTOS, Cláudio V. F.; DE SÁ, Christyne B.; ANTUNES, Warley L.; DE FREITAS, Felipe B. V.; SILVA, Orlandemberg P.; SANTOS, Hans S. **Construção e Avaliação de um Aerador Feito com Material de Baixo Custo.** Revista de Engenharia da Faculdade Salesiana n. 6 pp. 35-46. 2017.

DOS SANTOS SILVA, Marcio Jose. **Efeito agudo da amônia e do nitrito em tilápias *Oreochromis niloticus* mantidas em baixa salinidade.** Dissertação (Programa de pós-graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2013.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.

EL-SAYED, A.F.M. **Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.*** Aquaculture, v.179, p.149-168, 1999.

EL-SAYED, A-F.M. **Tilapia culture.** CABI Publishing, Oxfordshire, U.K., 277 pp. 2006.

EL-SAYED, A-F.M.; KAWANNA, M. **Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system.** *Aquaculture Research*, v. 39, p. 670-672, 2008.

EMBARCADOS. **Website empresa.** 2018. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

ESTEVEES, F.A. **Fundamentos da limnologia.** 2. ed. 1998.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Culture aquaculture species information programme.** Rome: FAO, 243 p. 2008.

FAO. – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The state of world fisheries and aquaculture.** Contributing to food security and nutrition for all. p. 253p. 2016.

FAO. – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The state of world fisheries and aquaculture.** Meeting the sustainable development goals. p. 8-11, 2018.

FAST, A & CE BOYD. **Water circulation, aeration and other management practices.** In: **Marine Shrimp Culture: Principles and Practices.** Arlo FAST e James LESTER (Eds.). Amsterdam : Elsevier Science Publishers, p. 457-495. 1992.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projeto de Pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2002.

Gomez, K.A., Gomez, A.A. **Statistical procedures for agricultural research,** 2nd edn. John Willey & Sons, New York. 1984

HANWEI. **Datasheet TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR.** [S.I.]. 23, 24, 31, 32. 2008.

HARGREAVES, J.A., and S. Kucuk.. **Effects of diel un-ionized ammonia fluctuations on juvenile hybrid striped bass, channel catfish, and blue tilapia.** *Aquaculture* 195: 163-181, 2001.

HARGREAVES, J. A. **Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture.** *Aquac. Eng.* v. 34, p.344-363, 2006.

KEPENYES, J. & VÁRADI, L. **Aeration and oxygenation in aquaculture.** Pp 414-507. En: T. Pillay (ed.). *Inland Aquaculture Engineering.* United Nations Development Programme and FAO, Rome, 1984.

KUBITZA, F. **Qualidade da Água na Produção de Peixes - Parte III (Final).** *Panorama da Aquicultura,* Rio de Janeiro, v. 8, n. 47, mai./jun. 1998.

KUBITZA, F. **A evolução da tilapicultura no Brasil: produção e mercado.** *Panorama da Aquicultura,* Rio de Janeiro, v. 13, n. 76, mar./abr. 2003.

KUBITZA, F. **Criação de tilápias em sistema de bioflocos sem renovação de água.** Panorama da Aquicultura, v.21, n.125, p.14-23, 2011.

LIMA, Eduardo Cesar Rodrigues de et al. **Cultivo da tilápia do Nilo "Oreochromis niloticus" em sistema de bioflocos com diferentes densidades de estocagem.** Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 16, n. 4, 2015.

LOURENÇO, J. N. P; MALTA, J. C. O; DE SOUZA, J. N. **A importância de monitorar a qualidade da água na piscicultura.** Embrapa: Instruções técnica. nº 5, p. 1-4. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/668748/1/IT599.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

MARTINS, G.; TAROUCO, F.; ROSA, C.; ROBALDO, R. **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, v.468 , p. 10-17, 2017.

MCGRAW, W.; TEICHERT-CODDINGTON, D. R.; ROUSE, D. B.; BOYD, C. E. **Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds.** Aquaculture. v. 199, p. 311-321, 2001.

MCRBERTS, M. **Arduino Básico.** São Paulo: Novatec, 2011.

MEDEIROS, V. A.; FONTOURA, G. A. T.; DEZOTTI, M.; SANT'ANNA, G. L. **Avaliação do efeito das salinidades e da adição de um suplemento nutricional no tratamento biológico de um efluente industrial complexo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Campo Grande. Trabalho Completo. p.1-15. 2005.

METCALF & EDDY; **Wastewater Engineering: Treatment and reuse.** 4th ed. New York, Ed. McGraw Hill USA, 1819p. 2003

MOSS, KRK & SM MOSS. **Effects of artificial substrate and stocking density on the nursery production of Pacific whiteshrimp *Litopenaeus vannamei*.** J. World Aquac. p. 536–542. 2004.

OLIVEIRA, A. **BIOFLOCOS – Vantagens do sistema de aquicultura.** Cerrado editora. Disponível em: <<http://cerradoeditora.com.br/cerrado/bioflocos-vantagens-do-sistema-na-aquicultura/>>. Acesso em 19 jun. 2018.

PICCIN, J. S. *et al.* **Otimização de sistemas de autoaspiração de ar tipo Venturi para tratamento de água ferruginosa.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n5/a11v14n5.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2018.

PONCE-PALAFIX, J.; MARTINEZ-PALACIOS, C. A.; ROSS, L. G. **The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile**

white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. Aquaculture. v. 157, p. 107-115, 1997.

PRIMAVERA, JH. **Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone.** Ocean Coast Manage., 49: 531–545. 2006

RAKOCY, J.E.; DANAHER, J.J.; BAILEY, D.S.; SHULTZ, R.C. **Development of a Biofloc System for the Production of Tilapia.** Aquaculture, v.277, p. 138-145. Rio de Janeiro: Interciência. 602p. 2008.

RAY, A. **Biofloc technology for super-intensive shrimp culture.** In: Avnimelech Y, editor. Biofloc Technology - a practical guide book, 2nd ed., The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. p. 167-188, 2012.

RODRIGUES, Rômulo Batista et al. **Tecnologia de bioflocos no cultivo de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*).** Acta Tecnológica, v. 10, n. 2, p. 75-89, 2017.

SIDONIO, Luiza et al. **Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades.** BNDES setorial, v. 35, p. 421-463, 2012.

SOUZA, T. I.; PEREIRA, S.; DURÃES, C. A.; OLIVEIRA, J. P. **Desenvolvimento de um medidor de pH baseado em arduíno.** Congresso técnico científico da Engenharia e da Agronomia. Fortaleza, Ceará. 2015.

STICKNEY, R.R.; Aquaculture : an introductory text. Cambridge (Mass.): CABI publishing. SURESH AV, Lin CK. 1992. **Effect of stocking density on water quality and production of red tilapia in a recirculated water system.** Aquac Eng 11:1-22. 2005.

STRICKLAND, J.D., PARSONS, T.R. **A practical handbook of seawater analysis.** Fish Research Board, Canadá. 1972.

STRIEDER A.; SCHUCH, C. M. **EDUFLUID – Software para o ensino de medição de vazão por perda de carga através de tubo de Venturi.** 2005. Disponível em: <<http://www.revista.unisal.br/sj/index.php/123/article/view/79/92>> Acesso em: 27 set. 2018.

TAVARES, L. H. S.; MORENO, S. Q. **Variação dos parâmetros limnológicos em um viveiro de pisciculturários períodos de seca e chuva.** Revista UNIMAR, Maringa,v.16, n.4., p.229-242, 1994.

THOMPSON, FL, PC ABREU & W WASIELESKY. **Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture.** Aquaculture, 203: 263-278. 2002.

VINATEA, L. **Princípios químicos de qualidade da água em aquicultura,** Segunda edição revisada e ampliada. 2. ed. Florianopolis: Editorial UFSC. 2004.

VON SPERLING, V. M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 211p. 1996.

WASIELESKY, Wilson et al. **Cultivo de camarões em sistema de bioflocos: realidades e perspectivas**. Rev. ABCC, v. 15, n. 2, p. 30-36, 2013.

WIDANARNI, EKASARI, J., & MARYAM, S. **Evaluation of Biofloc Technology Application on Water Quality and Production Performance of Red Tilapia *Oreochromis sp.* Cultured at Different Stocking Densities**. HAYATI Journal of Biosciences, 19(2), 73–80. 2012.

ZACCHARIAS, Renan Lacerda; DA ROCHA, Rodrigo Vilela. **Automação dos processos de produção e controle para aumento de produtividade e redução de desperdícios na piscicultura**. Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar, v. 2, n. 2, p. 52-67, 2016.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. (5th ed.) Prentice Hall, New Jersey, 2010.