



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA

DANIEL MAIA REBOUÇAS

**CULTIVO INTENSIVO DE TILÁPIA DO NILO EM SISTEMA AQUAPÔNICO NO
MODELO DE BANDEJAS FLUTUANTES COM GERADOR DE BOLHAS
ULTRAFINAS DE OXIGÊNIO**

FORTALEZA

2023

DANIEL MAIA REBOUÇAS

CULTIVO INTENSIVO DE TILÁPIA DO NILO EM SISTEMA AQUAPÔNICO NO
MODELO DE BANDEJAS FLUTUANTES COM GERADOR DE BOLHAS
ULTRAFINAS DE OXIGÊNIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

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

R24c Rebouças, Daniel Maia.

Cultivo intensivo de tilápia do Nilo em sistema aquapônico no modelo de bandejas flutuantes com gerador de bolhas ultrafinas de oxigênio / Daniel Maia Rebouças. – 2023.
49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto.

1. Oreochromis niloticus. 2. Lactuca sativa. 3. Sistema de recirculação aquícola (SRA). I. Título.

CDD 639.2

DANIEL MAIA REBOUÇAS

CULTIVO INTENSIVO DE TILÁPIA-DO-NILO EM SISTEMA AQUAPÔNICO NO
MODELO DE BANDEJAS FLUTUANTES COM GERADOR DE BOLHAS ULTRA
FINAS DE OXIGÊNIO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Pesca, do Centro de
Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Pesca.

Aprovada em: 04/12/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Daniele Ferreira Marques
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Sergio Alberto Apolinario Almeida
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Aos meus pais, Regiane e Edmar.

Aos meus irmãos, Daniele, Ranieli e Danilo.

Ao meu filho, Davi Lucas.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida, agradeço aos meus pais, Regiane e Edmar por todos os conselhos e motivação, às minhas irmãs Daniele e Ranieli por todo apoio e paciência.

À minha companheira, Maiza Freitas, por me incentivar, me apoiar, acreditar em mim e não me deixar desistir.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto pela oportunidade de ser seu orientando, pelos ensinamentos compartilhados, críticas construtivas e conselhos profissionais.

Aos membros da minha comissão avaliadora Prof^ª. Dra. Daniele Ferreira Marques, sendo a Prof^ª. Daniele muito importante em todo o decorrer do experimento, me ajudando sempre e Prof Dr Sergio Alberto Apolinario Almeida pela disponibilidade e compromisso.

Aos membros da minha equipe Jonnathan Wenderson, Lucas Batalha e Heloísa Campelo, os quais me auxiliaram bastante nas atividades. Agradeço a todos os membros e vigilantes da Estação de Aquicultura pelo comprometimento e solidariedade, sendo meus olhos quando não pude estar presente na estação.

Às empresas Fishtec e Forte-Alev por ceder os peixes para realização do experimento.

À CORAq – Consultoria em Recursos Aquáticos por todos os ensinamentos e oportunidades ao longo de minha trajetória.

Aos meus amigos Beatriz Ribeiro, Matheus Samuel, Emerson Forte, Aline Costa, Jéssica Leite, Paulo Matheus e Dyjhorg Lucas por todos os momentos especiais compartilhados durante a graduação.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção superintensiva de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*), variedade crespa (BRS Leila) e Luminosa (tipo roxa, crespa), em sistema aquapônico experimental, modelo flutuante utilizando um gerador de bolhas ultrafinas de oxigênio. A pesquisa foi realizada na Estação de Aquicultura da Universidade Federal do Ceará (UFC) e teve duração de 180 dias. A unidade aquícola do sistema aquapônico experimental foi constituída por 6 tanques circulares de 250 L. O componente hidropônico, por sua vez, foi do tipo bandejas flutuantes de poliestireno de alta densidade instaladas em tanques retangulares de aproximadamente 3,5 m². Os tanques foram estocados de forma escalonada a cada cinco semanas com juvenis de tilápia do Nilo com massa variando entre 6 e 8 g. A densidade de estocagem em cada tanque variou de 100 a 160 indivíduos/m³. De maneira semelhante, as alfaces foram transplantadas para o sistema de forma escalonada, 18 mudas a cada semana de modo a obter uma densidade aproximada de 15 plantas/m². Foram mensurados a temperatura e o oxigênio dissolvido duas vezes ao dia e o pH apenas uma. Alcalinidade total, nitrogênio amoniacal total, amônia não ionizada e nitrito foram mensurados a cada cinco dias. O peso médio final dos peixes do TAF1 foi de 312 ± 111 g, sendo esse o único tanque que atingiu o ciclo comercial (6 meses), alcançando uma densidade final de 26,23 kg/m³. As alfaces alcançaram valores médios de massa fresca da parte aérea de 38,5 ± 2,9 g para a variedade BRS Leila e 9,29 ± 6,77 g para a Luminosa. No entanto, obtiveram resultados comerciais insatisfatórios, pois apresentaram baixo crescimento e, conseqüentemente, menor peso das folhas. Os parâmetros de qualidade da água se mantiveram dentro dos padrões indicados, com exceção do nitrito que alcançou valores médios de 1,31 ± 0,40 mg/L. Desta forma, é possível concluir que o gerador de bolhas ultrafinas foi eficiente em manter níveis de oxigênio dentro da faixa ótima para o desenvolvimento da tilápia do Nilo mantida em altas densidades.

Palavras chave: *Oreochromis niloticus*, *Lactuca sativa*, sistema de recirculação aquícola (SRA).

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the superintensive production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and lettuce (*Lactuca sativa*), curly variety (BRS Leila), and Luminosa (purple, curly type) in an experimental aquaponic system, a floating model using an ultrafine oxygen bubble generator. The research was conducted at the Aquaculture Station of the Federal University of Ceará (UFC) and lasted for 180 days. The aquaponic experimental system's aquaculture unit consisted of 6 circular tanks of 250 L each. The hydroponic component, in turn, was of the floating tray type made of high-density polystyrene installed in rectangular tanks of approximately 3.5 m². The tanks were stocked in a staggered manner every five weeks with Nile tilapia juveniles weighing between 6 and 8 g. Stocking density in each tank ranged from 100 to 160 individuals/m³. Similarly, lettuces were transplanted into the system in a staggered manner, 18 seedlings each week, to achieve an approximate density of 15 plants/m². Temperature and dissolved oxygen were measured twice a day, and pH was measured only once. Total alkalinity, total ammonia nitrogen, un-ionized ammonia, and nitrite were measured every five days. The final average weight of fish in TAF1 was 312 ± 111 g, and this was the only tank that reached the commercial cycle (6 months), achieving a final density of 26.23 kg/m³. Lettuces reached average fresh aerial part weights of 38.5 ± 2.9 g for the BRS Leila variety and 9.29 ± 6.77 g for Luminosa. However, they obtained unsatisfactory commercial results due to low growth and consequently, lower leaf weight. Water quality parameters remained within the recommended standards, except for nitrite, which reached average values of 1.31 ± 0.40 mg/L. Thus, it can be concluded that the ultrafine bubble generator was effective in maintaining oxygen levels within the optimal range for the development of Nile tilapia maintained at high densities.

Keywords: *Oreochromis niloticus*, *Lactuca sativa*, recirculating aquaculture system (RAS).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Representação das unidades que compõem um sistema aquapônico.....	20
Figura 2	- Sistema aquapônico com uso de substratos.....	22
Figura 3	- Sistema aquapônico NFT da Estação da Aquicultura.....	23
Figura 4	- Sistema aquapônico <i>floating</i> da Estação da Aquicultura.....	24
Figura 5	- Estação de Aquicultura da Universidade Federal do Ceará.....	28
Figura 6	- Vista do sistema aquapônico experimental. (1) tanques de criação dos peixes; (2) sistema de tratamento de água; (3) gerador de bolhas ultrafinas e (4) componente hidropônico.....	29
Figura 7	- Gerador de bolhas ultrafinas (A) e concentrador de oxigênio (B).....	30
Figura 8	- Aferição da massa (g) de um exemplar de tilápia do Nilo utilizando uma balança digital.....	32
Figura 9	- Aferição do comprimento total (cm) de um exemplar de tilápia do Nilo utilizando um paquímetro.....	32
Figura 10	- Plântulas da cultivar BRS Leila fixas em espuma fenólica.....	33
Figura 11	- Plântulas de alface com 5 dias após a semeadura prontas para serem transplantadas para o sistema aquapônico.....	34
Figura 12	- Aferição da massa fresca total – MFT (g) de um exemplar da variedade BRS Leila.....	35
Figura 13	- Aferição da altura (cm) de um exemplar da variedade BRS Leila.....	35
Figura 14	- Ganho de massa (g) da tilápia do Nilo em sistema aquapônico....	38
Figura 15	- Crescimento (cm) da tilápia do Nilo em sistema aquapônico.....	38
Figura 16	- Massa fresca total das alfaces cultivadas em sistema aquapônico.....	40
Figura 17	- Desempenho do gerador de bolhas ultrafinas de oxigênio.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Valores médios (média \pm desvio padrão) da temperatura (Temp.) e do oxigênio dissolvido (OD), no período da manhã e da tarde da água, e do pH da água dos tanques de criação (TAF) de tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) em sistema aquapônico com alface (<i>L. sativa</i>) e incorporação de oxigênio dissolvido por bolhas ultrafinas.....	37
Tabela 2	- Valores médios (média \pm desvio padrão) de alcalinidade total, amônia total, amônia não ionizada e nitrito na água do sistema de criação tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) em sistema aquapônico com alface (<i>L. sativa</i>) e incorporação de oxigênio dissolvido por bolhas ultrafinas.....	38
Tabela 3	- Valores médios (média \pm desvio padrão) da biomassa inicial (BMi), biomassa final (BMf), ganho de biomassa (GBM), peso médio inicial (PMi), peso médio final (PMf), conversão alimentar aparente (CCA), comprimento total inicial (CTi), comprimento total final (CFi), densidade de estocagem inicial (DEi), densidade de estocagem final (DEf) e sobrevivência (S) para tilápia do Nilo (<i>O. niloticus</i>) em sistema aquapônico com alface (<i>L. sativa</i>) e incorporação de oxigênio dissolvido por bolhas ultrafinas.....	39
Tabela 4	- Valores médios (média \pm desvio padrão) da massa fresca total (MFT), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), número total de folhas (NF), altura da planta e diâmetro da cabeça da alface <i>Lactuca sativa</i> , cultivada em sistema aquapônico com incorporação de oxigênio dissolvido por bolhas ultrafinas.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCC	Associação Brasileira de Criadores de Camarão
AMTI	Aquicultura multitrófica integrada
BMi	Biomassa inicial
BMf	Biomassa final
BUFs	Bolhas ultrafinas
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CCA	Conversão alimentar aparente
CO ₂	Gás carbônico
CTi	Comprimento total inicial
CFi	Comprimento total final
DEi	Densidade de estocagem inicial
DEf	Densidade de estocagem final
EDDHA	Etilenodiamina- <i>N, N'</i> - bis (ácido 2-hidroxifenilacético)
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FCA	Fator de conversão alimentar
GBM	Ganho de biomassa
MFPA	Massa fresca da parte aérea
MFR	Massa fresca da raiz
MFT	Massa fresca total
NAT	Nitrogênio Amoniacal Total
NF	Número de folhas
NFT	<i>Nutrient Film Technique</i>
NH ₃	Amônia
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
OD	Oxigênio dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial hidrogeniônico
PMi	Peso médio inicial
PMf	Peso médio final
PVC	Policloreto de vinil

RAS	<i>Recirculating Aquaculture Systems</i>
S	Sobrevivência
SRA	Sistema de Recirculação Aquícola
TAF	Tanque aquapônico flutuante

LISTA DE SÍMBOLOS

μm	Micrômetro
cm	Centímetros
g	Gramma
$\text{g}/\text{m}^2/\text{dia}$	Gramma por metro quadrado por dia
kg	Quilograma
kg/m^3	Quilograma por metro cúbico
km	Quilômetro
km^2	Quilômetro quadrado
L	Litros
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
mg/L	Miligramma por litro
%	Porcentagem
Σ	Somatório

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Aquicultura	18
2.2	Sistema de Recirculação Aquícola (SRA)	19
2.3	Aquaponia	20
2.4	Qualidade de água na aquaponia	24
2.5	Seleção da espécie de peixe	26
2.6	Seleção da espécie de planta	26
2.7	Bolhas ultrafinas	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	Local, período de execução do experimento e aquisição dos espécimes	28
3.2	Descrição do sistema experimental	29
3.3	Escalonamento da produção	31
3.4	Desempenho zootécnico da tilápia do Nilo	31
3.5	Desempenho fitotécnico das alfaces	33
3.6	Qualidade de água	36
3.7	Análise dos dados	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Parâmetros de qualidade de água	37
4.2	Desempenho zootécnico da tilápia do Nilo	39
4.3	Desempenho fitotécnico das hortaliças	41
4.4	Desempenho do gerador de bolhas ultrafinas	43
5	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial atualmente ultrapassando 8 bilhões de habitantes (ONU, 2022), têm-se discutido cada vez mais a respeito da produção de alimentos em quantidade suficiente para suprir a necessidade de todos, levando em conta os impactos ambientais e econômicos que essas atividades podem gerar.

O Brasil tem alto potencial como produtor de alimentos, pois na maior parte de seu território o clima é favorável. Além disso, o país possui a maior reserva de água doce do mundo, sendo essa mais de 8.000 km³, cerca de 12% de toda água doce disponível mundialmente (CARVALHO, 2021). Esses atributos tornam o território brasileiro ideal para atividades agrícolas e pecuárias, tais como: suinocultura, avicultura, bovinocultura e aquicultura.

A aquicultura consiste no cultivo de organismos aquáticos cuja vida (ou parte dela) se dá em meio aquático, sendo uma atividade que é desenvolvida no Brasil desde a década de 1970. Atualmente o país produz peixes e camarões (dulcícolas e marinhos), moluscos, rãs, microalgas e macroalgas. Esses cultivos são feitos em ambientes controlados, visando potencializar a produção, obtendo o máximo rendimento produtivo (MAGNO, *et al.*, 2013).

Dentre os sistemas de cultivos praticados podemos citar sistemas abertos, como viveiros escavados e tanques-rede, e sistemas fechados, como o sistema de recirculação aquícola (do inglês, *Recirculating Aquaculture Systems – RAS*) (SHEI, 2016). Cada sistema tem seus pontos positivos e negativos. Em viveiros escavados pode-se produzir uma variedade de peixes, porém há um grande aporte de efluentes para o meio ambiente (SCORVO FILHO *et al.*, 2004). Nos tanques-rede são praticadas altas densidades de estocagem com custos de produção relativamente mais baixos, no entanto, são muito dependentes dos fatores climáticos da região em que estão implantados (SCHMITTOU, 1997). Com relação ao sistema de recirculação aquícola é possível obter maior produtividade por área com descarte reduzido de efluentes, no entanto, exige um alto custo de investimento (TIMMONS; EBELING, 2010).

O sistema de recirculação aquícola (SRA) surge em meio aos sistemas convencionais de cultivo, mostrando-se sustentável, utilizando 90 a 99% menos água, cerca de 1% de área terrestre e tratamento e gerenciamento total de resíduos. O SRA

permite produção durante todo o ano com previsíveis cronogramas de despescas, o que resulta na maior produção por unidade de área (TIMMONS; EBELING, 2010). Como no SRA os custos são superiores (energia, infraestrutura *etc.*), é comum utilizar altas densidades (indivíduos por metro cúbico) e agregar valor ao cultivo com a aquicultura multitrófica integrada (AMTI) para compensar tais custos. A AMTI é um sistema de produção que integra seres de diferentes níveis tróficos, onde os rejeitos do cultivo de uma espécie são reciclados para servir de alimento (aporte) para outras espécies (CHOPIN, 2018). Como exemplo de sistemas multitróficos integrados temos a aquaponia.

Aquaponia é o cultivo integrado entre peixes e plantas em um sistema de recirculação, onde a maioria dos nutrientes necessários para o crescimento das plantas é proveniente dos resíduos derivados da alimentação dos peixes (RAKOCY *et al.*, 2006). Por ser um modelo de cultivo que visa o reúso de água, a aquaponia adapta-se muito bem no Nordeste Brasileiro (QUEIROZ *et al.*, 2017). Atualmente a alface é o vegetal mais cultivada nesse modelo (PAULUS *et al.*, 2010) e a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) a espécie de peixe mais produzido em sistemas aquícolas (PEIXE BR, 2023).

Apesar da tilápia do Nilo ser uma espécie rústica e suportar condições adversas de qualidade de água, é necessário proporcionar condições ideais para a sobrevivência e desenvolvimento satisfatório dos animais. Dentre os parâmetros de qualidade de água que devem ser observados para o bom desempenho dos peixes, podemos citar: alcalinidade, dureza total, pH, amônia, nitrito, temperatura e oxigênio dissolvido (KUBTIZA, 2011).

O oxigênio dissolvido (OD) é o principal fator limitante no crescimento de organismos aquáticos (SÁ, 2012), podendo ser incorporado na água por meio de aeração mecânica, como aeradores de pás e sistemas de ar difuso (BOYD, 1998), ou injeção de oxigênio na forma de bolhas ultrafinas (EBINA *et al.*, 2013). Em aquaponia, o OD é essencial para os peixes, plantas e bactérias nitrificantes (ESPINAL; MATULIC, 2019).

O uso de bolhas ultrafinas de oxigênio na aquicultura é uma tecnologia recente. Devido seu tamanho nanométrico, estas bolhas têm maior tempo de residência e estabilidade (UCHIDA, 2011), sendo possível aumentar rapidamente os níveis de OD na água, melhorando o desempenho zootécnico dos peixes (EBINA *et al.*, 2013) e obter melhora significativa no desempenho fitotécnico de vegetais

(MARQUES, 2022).

Assim, o objetivo do presente trabalho foi analisar a viabilidade do cultivo intensivo de tilápia do Nilo em sistema aquapônico no modelo de bandejas flutuantes com gerador de bolhas ultrafinas de oxigênio. Especificamente, avaliar o desempenho zootécnico da tilápia do Nilo, o desenvolvimento fitotécnico das hortaliças utilizadas e os parâmetros de qualidade da água do sistema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aquicultura

A aquicultura é uma prática tradicional antiga, encontrada em diversas culturas ao redor do mundo com registros históricos datados de séculos remotos. A expansão da aquicultura ocorreu primeiramente na China, como resposta à demanda alimentar causada pelo crescimento populacional (TIAGO, 2007). Esta atividade possui três componentes marcantes: a) o organismo produzido deve ser aquático; b) deve existir um manejo para a produção; e c) a criação deve ter um proprietário (VALENTI, 2002).

A produção pesqueira mundial tem aumentado exponencialmente nos últimos 70 anos, passando de 19 milhões de toneladas em 1950 para 178 milhões em 2020, crescendo a uma taxa maior que outros setores de produção animal. Dessa produção, 90 milhões de toneladas são provenientes da pesca por captura e 88 milhões originárias da aquicultura, demonstrando equilíbrio entre estas modalidades (FAO, 2022).

O Brasil possui mais de 5 milhões de hectares de áreas alagadas, uma costa de mais de 8.000 km (FAO, 2009), além de condições favoráveis para realização das diversas modalidades da aquicultura, nas quais se destacam a piscicultura e a carcinicultura (RIBEIRO *et al.*, 2016). Em 2022, o país produziu 860.355 toneladas de peixes oriundos de cultivo, sendo a tilápia do Nilo a responsável por 63,93% da produção piscícola. Os peixes nativos ocuparam a segunda colocação no *ranking* com 31,04% de representatividade (PEIXE BR, 2023). A carcinicultura também conseguiu atravessar os tempos sombrios de pandemia do Covid-19 e fechou o ano de 2021 com produção de 120.000 toneladas (ABCC, 2022).

Assim como outras formas de produção de alimentos, a aquicultura afeta o meio ambiente de forma física, química e biológica. Com a expansão da atividade e intensificação da produção, é comprovado que ocorre alteração nas estruturas e funcionamentos das comunidades naturais. Porém, novas estratégias de cultivo podem ser utilizadas, amenizando o impacto causado pela atividade (TIAGO, 2007).

2.2 Sistema de Recirculação Aquícola (SRA)

A proporção dos impactos ambientais causados pela aquicultura têm sido assunto recorrente. Atualmente, evidencia-se grande interesse em reduzir tais impactos, visando uma aquicultura sustentável. A utilização de sistemas de recirculação de água para diminuir a liberação de efluentes têm sido um método promissor para essa redução (ZELAYA *et al.*, 2001).

Os principais fatores que popularizaram o SRA foram a necessidade de reutilizar a água tanto por sua escassez, como para minimizar o desperdício e lançamento de efluentes, assim como sua baixa demanda hídrica. Quando é feita a recirculação da água nos meios de cultivo, o oxigênio geralmente é o principal fator limitante entre os parâmetros de qualidade de água, mas pode ser facilmente restaurado com a utilização de aeração ou oxigenação. Compostos nitrogenados, matéria orgânica suspensa e dissolvida, dióxido de carbono e alcalinidade são outros pontos essenciais a serem observados no SRA (EDING *et al.*, 2006).

Mesmo sendo um sistema fechado, com trocas mínimas de água, há perdas diárias por evaporação e limpeza dos componentes do sistema, podendo variar de 2 a 10% (TEIXEIRA *et al.*, 2006). Independentemente do modelo do SRA, todos vão contar com o mesmo princípio de funcionamento, que consiste na mineralização de compostos orgânicos e desnitrificação por meio de bactérias (LOBÃO, 1999).

Um sistema de recirculação aquícola deve possuir alguns componentes fundamentais, sendo esses: tanques de criação, decantadores, reator biológico, sistema de oxigenação, sistema de bombas, tubulações de drenagem e retorno e unidade de quarentena. Outros equipamentos e processos adicionais podem ser inseridos para melhorar a eficiência do tratamento da qualidade de água (KUBITZA, 2006).

Decantadores são utilizados para concentrar os sólidos decantáveis (partículas acima de 100 μm). Filtros mecânicos com telas finas ou filtro fechado com meio filtrante de areia ou cascalho conseguem remover os sólidos em suspensão (partículas entre 40 e 100 μm). Sólidos dissolvidos (partículas menores que 40 μm) podem ser retiradas do sistema com uso de fracionador de espuma (KUBITZA, 2006). Novas tecnologias podem ser utilizadas, como filtros de tambor rotativos que removem

partículas sólidas no sistema, tendo capacidade de filtrar grandes volumes de água em um espaço pequeno (SHEI, 2022).

O reator biológico é fundamental para o bom funcionamento do sistema. É neste componente que ocorre o processo de nitrificação, onde bactérias aeróbicas, principalmente as dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, vão converter amônia a nitrito e este em nitrato (BRAZ FILHO, 2000). A amônia e o nitrito são compostos particularmente importantes devido à toxicidade que apresentam, enquanto o nitrato é considerado um composto menos nocivo aos organismos cultivados (TIMMONS, EBELING, PIEDRAHITA, 2012).

O reator biológico geralmente é formado por uma caixa preenchida com substrato que possibilite a fixação dessas bactérias nitrificantes. Diversos tipos de substratos podem ser utilizados como areia grossa, brita, cascalho, flocos de isopor, cilindros ou esferas de plástico (KUBITZA, 2006). Contudo, deve-se atentar a qualidade do substrato utilizado, tendo em vista que um reator biológico mal dimensionado irá obstruir com facilidade, prejudicando sua eficiência (CORSO, 2010).

Por meio do SRA é possível obter maiores produtividades, embora exija custos operacionais e de instalação maiores quando comparado a outros sistemas de cultivo. Também é necessário mão de obra especializada e unidades de processos específicas para o tratamento da água, dimensionamento correto dessas unidades e criação de espécies com preço de mercado que justifique o alto investimento (PAZ; DE LUCA; SINMA, 2005; KUBITZA, 2006).

Durante o processo de tratamento da água, nutrientes não tóxicos e matéria orgânica acabam se acumulando. Esses subprodutos podem ser reutilizados em culturas secundárias, como no caso de sistemas aquapônicos (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006).

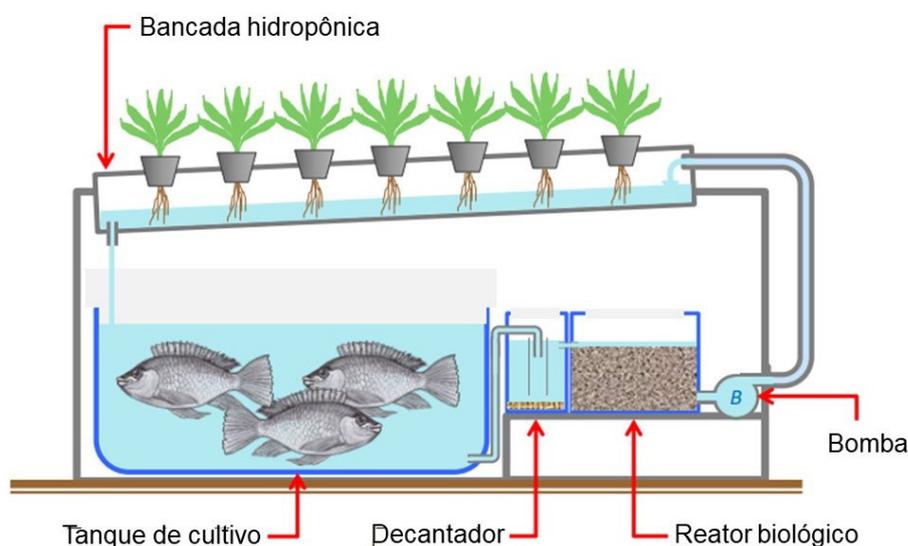
2.3 Aquaponia

Segundo Rakocy (1989), aquaponia pode ser definida como um sistema multitrófico integrado, combinando elementos dos sistemas de recirculação aquícola com a hidroponia, onde a água enriquecida de nutrientes do cultivo de peixes é utilizada para o desenvolvimento das plantas. Basicamente, é um sistema de recirculação de água composto por: tanques de criação de peixes, decantador, reator

biológico, componente hidropônico e reservatório para bomba (*sump*) (FIGURA 1) (RAKOCY, 2006).

Dentre as inúmeras vantagens da aquaponia podemos citar: reúso e troca mínima de água, dispensa o uso de solo, produz simultaneamente plantas e peixes em altas densidades, produção de hortaliças de qualidade e livres de herbicidas e por ser um sistema compacto, possibilita a produção em ambientes urbanos (HERBERT, 2008; BRAZ FILHO, 2000; CARNEIRO et al., 2015).

Figura 1 – Representação das unidades que compõem um sistema aquapônico.



Fonte: Adaptado de BLUM, 2018.

Algumas espécies de peixes têm sido utilizadas com sucesso em sistemas aquapônicos, tais como como pacu, tilápia, carpa comum e até peixes ornamentais. Uma grande variedade de vegetais também mostrou resultados positivos ao serem usadas na aquaponia: alface, rúcula, melão, salsa, brócolis, pimentão, cebola e plantas ornamentais (CALÓ, 2011). As plantas mais recomendadas para o cultivo aquapônico são as espécies adaptadas a hidroponia, principalmente por suportar altos teores de água em suas raízes. A escolha de ambas espécies, animais e vegetais, deve ser realizada levando em consideração fatores como temperatura, espaço, nutrição, dentre outros (CARNEIRO et al., 2015).

Na aquaponia moderna são utilizados três tipos principais de sistema para o cultivo de vegetais, sendo esses: sistemas com substrato (*media-filled* ou *gravel*

bed), técnica do filme nutriente (*Nutrient Film Technique – NFT*) e sistemas flutuantes (*floating*) (MAUCIERI *et al.*, 2018).

Os sistemas que utilizam substrato baseiam-se em regimes de inundação e drenagem. Como substrato pode-se usar cascalho, argila expandida ou outros componentes inertes, podendo assim descartar a necessidade de um reator biológico separado, pois o material também será utilizado para fixação de bactérias nitrificantes (QUEIROZ *et al.*, 2017).

Figura 2 – Sistema aquapônico com uso de substratos.



Fonte: Rural Pecuária.

Em sistemas com a utilização da técnica do filme nutriente (NFT), as calhas hidropônicas são geralmente feitas de policloreto de vinil (PVC) e podem ser alocadas acima dos tanques de cultivo. A água é bombeada do reator biológico para as calhas hidropônicas, formando uma fina lâmina d'água que irriga as raízes das plantas. O excesso de sólidos deve ser retirado do sistema para que não venha causar danos às raízes (LENNARD; LEONARD, 2006).

Figura 3 – Sistema aquapônico NFT da Estação da Aquicultura.



Fonte: Arquivo pessoal de Jonnathan Wenderson Teixeira da Silva.

No sistema de bandejas flutuantes (*floating*) as plantas ficam espaçadas entre si, com as raízes permanentemente dentro da água e apoiadas em placas de poliestireno expandido. Por ser um sistema que veda a entrada de luz solar direta, as raízes ficam protegidas dos raios solares, mantendo assim uma temperatura estável e inibindo o desenvolvimento de algas filamentosas (QUEIROZ *et al.*, 2017). No sistema *floating* podemos citar algumas vantagens como: facilidade de manutenção e limpeza, superfície adicional nas raízes para fixação de bactérias e suprimento constante de água. As principais desvantagens são: maior área disponível para implantação, maior volume de água e aeração obrigatória para as raízes (GODDEK *et al.*, 2015).

Figura 4 – Sistema aquapônico *floating* da Estação da Aquicultura.



Fonte: Autor.

2.4 Qualidade de água na aquaponia

É fundamental compreender os princípios físicos, químicos e biológicos do sistema aquapônico para proporcionar um ambiente favorável para os peixes, plantas e bactérias nitrificantes. Periodicamente, deve-se analisar e corrigir, se necessário, alguns parâmetros para evitar problemas com a qualidade de água. Os principais parâmetros avaliados são: oxigênio dissolvido, temperatura, alcalinidade, compostos nitrogenados e pH (CARNEIRO *et al.* 2015).

O sistema de oxigenação deve garantir níveis adequados de oxigênio disponível tanto para os peixes, como para as plantas e bactérias nitrificantes. Recomenda-se níveis de OD na água superiores a 4,0 mg/L, podendo essa concentração ser mantida por meio do uso de compressores, sopradores de ar, aeração mecânica (KUBITZA, 1998; RAKOCY *et al.*, 2006) ou pelo uso inovador da tecnologia de bolhas ultrafinas (MARQUES, 2022; MAHASRI *et al.*, 2018). É importante salientar que a aeração não deve estar presente apenas nos tanques de cultivo, mas também deve ser instalada em outros setores do sistema, como no reator biológico e compartimento de cultivo de plantas, como no caso dos sistemas do tipo flutuante (*floating*) (CARNEIRO *et al.* 2015).

A temperatura é outro parâmetro significativo na aquaponia. Os peixes dependem diretamente da temperatura da água para manter sua temperatura corporal

e seu metabolismo funcionando corretamente. Temperaturas fora da faixa ideal reduzem o consumo, diminuem o ritmo biológico e aumentam o risco de proliferação de doenças, podendo levar a grandes mortalidades (EL-SAYED, 2006).

Para as hortaliças, o intervalo entre 20 e 25°C de temperatura na água é aceitável para um bom desempenho. Temperaturas que fogem muito dessa faixa, causam diminuição na absorção de nutrientes, causando um crescimento lento e irregular. No caso das bactérias nitrificantes, a faixa ideal para o crescimento está compreendida entre 17 – 34 °C (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

A alcalinidade está intimamente ligada ao pH. Com níveis adequados de alcalinidade, acima de 100 mg/L de CaCO₃, juntamente com uma dureza adequada, é possível impedir grandes variações nos valores do pH. Este parâmetro é fundamental para o desenvolvimento das plantas e das bactérias nitrificantes, pois é fonte de carbonatos e bicarbonatos utilizados para realizar atividades essenciais (THORARINSDOTTIR *et al.*, 2015).

Os compostos nitrogenados são elementos importantes na aquaponia. A amônia (NH₃) proveniente da ração dos peixes e das excretas, é convertida em nitrito (NO₂⁻), que será convertido a nitrato (NO₃⁻) (HAGER *et al.*, 2021). As plantas são capazes de absorver nitrito e amônia, porém assimilam mais facilmente o nitrato dissolvido na água (FAO, 2014).

O pH é um dos pontos críticos, pois os organismos envolvidos em um sistema aquapônico tem faixas ideais distintas. As bactérias nitrificantes são predominantemente aeróbicas e sua faixa de pH ótimo encontra-se entre 7,0 e 8,0. As plantas cultivadas em hidroponia, apresentam melhor desenvolvimento e assimilação de nutrientes no intervalo de pH entre 5,5 e 6,5. Os peixes toleram uma faixa mais ampla de pH, podendo variar de 6,0 a 8,5. Assim, para atender todos os componentes biológicos de um sistema aquapônico, é recomendado manter o pH entre 6,5 e 7,0 (TYSON *et al.*, 2004; RAKOCY *et al.*, 2006; SOMERVILLE *et al.*, 2014; CARNEIRO *et al.* 2015).

2.5 Seleção da espécie de peixe

A aquaponia tem como base o sistema de recirculação aquícola. Como esse sistema visa a criação intensiva de peixes, a escolha da espécie deve ser feita considerando a sua tolerância a frequentes manejos e altas densidades de

estocagem. A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) se encaixa perfeitamente às condições de cultivo e pode ser considerada um dos peixes mais adequados para serem criados em aquaponia (CARNEIRO *et al.* 2015).

Dentre as características que tornam a espécie apta para o cultivo aquapônico, podemos citar: rusticidade e resistência, boa conversão alimentar, tolerância a altas densidades de estocagem, pacote tecnológico de cultivo, de melhoramento, de reprodução e de nutrição avançados e difundidos por todo o mundo e bom preço de mercado (MARENGONI, 2006).

Em condições ideais, a espécie pode crescer de juvenis com 50 g até adultos de 800 g, em cerca de seis meses. São peixes onívoros, podendo se alimentar de produtos de origem vegetal e animal nas rações formuladas. Em respeito à densidade de cultivo, a espécie pode ser agressiva, especialmente em baixas densidades, uma vez que os machos são extremamente territorialistas. O ideal é que sejam utilizadas altas densidades nos tanques de crescimento (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

2.6 Seleção da espécie de planta

No sistema de aquaponia podemos utilizar os mais diversos tipos de plantas, cada uma delas com necessidades diferentes de nutrientes. Por exemplo, espécies folhosas como a alface, a rúcula e a hortelã, necessitam de uma quantidade menor de nutrientes. Já plantas que produzem bulbos e frutos, como tomate, morango, pimenta e pepino, são mais exigentes e apresentam uma maior necessidade nutricional (ALEXANDRE, 2019).

No Brasil, a alface (*Lactuca sativa*) é a hortaliça mais produzida em solo e em sistemas hidropônicos, principalmente pelo fácil manejo que a cultura permite, aliado ao seu ciclo curto e rápido (SANTOS *et al.*, 2010; SOARES *et al.*, 2010). A alface é uma planta de porte herbáceo, com sistema radicular pivotante de ramificações finas e curtas, podendo atingir até 60 cm de profundidade (GOTO, 1998 *apud* RIGO, 2017). Originária do Mediterrâneo, região de clima temperado, é uma planta muito sensível às condições climáticas, de forma que fatores como fotoperíodo, intensidade de luz e, particularmente, a temperatura influenciam no crescimento e no desenvolvimento da planta (MULLER, 1991).

2.5 Bolhas ultrafinas

Bolhas ultrafinas (BUF) ou nanobolhas, são porções gasosas cercadas por um líquido que possuem diâmetro inferior a 1 μm (ISO, 2017). Em comparação com as macrobolhas e microbolhas, as nanobolhas têm elevado tempo de residência e estabilidade, alta pressão interna, grande área específica e maior solubilidade de gases no meio aquoso. Além disso, possuem elevada relação superfície/volume, o que as impede de subir à superfície e estourar (UCHIDA *et al.*, 2011; AGARWAL; NG; LIU, 2011; WU *et al.*, 2012).

A geração de nanobolhas pode ser realizada por meio de diversas formas: cavitação, eletrólise e nanomembranas. A cavitação é uma das técnicas mais conhecidas e empregadas na produção de nanobolhas. Durante a produção de bolhas ultrafinas por cavitação hidrodinâmica, é comum a solução aquosa se tornar leitosa, graças a presença de inúmeras microbolhas (WU *et al.*, 2012).

Atualmente, as nanobolhas tem aplicações em diversos campos da ciência: no tratamento de efluentes (AGARWAL; NG; LIU, 2011), na área médica (PERERA *et al.*, 2014), em processos biológicos (DAHRAZMA *et al.*, 2019) e na aquicultura (EBINA *et al.*, 2013; MAHASRI *et al.*, 2018; JAINONTEE *et al.*, 2019).

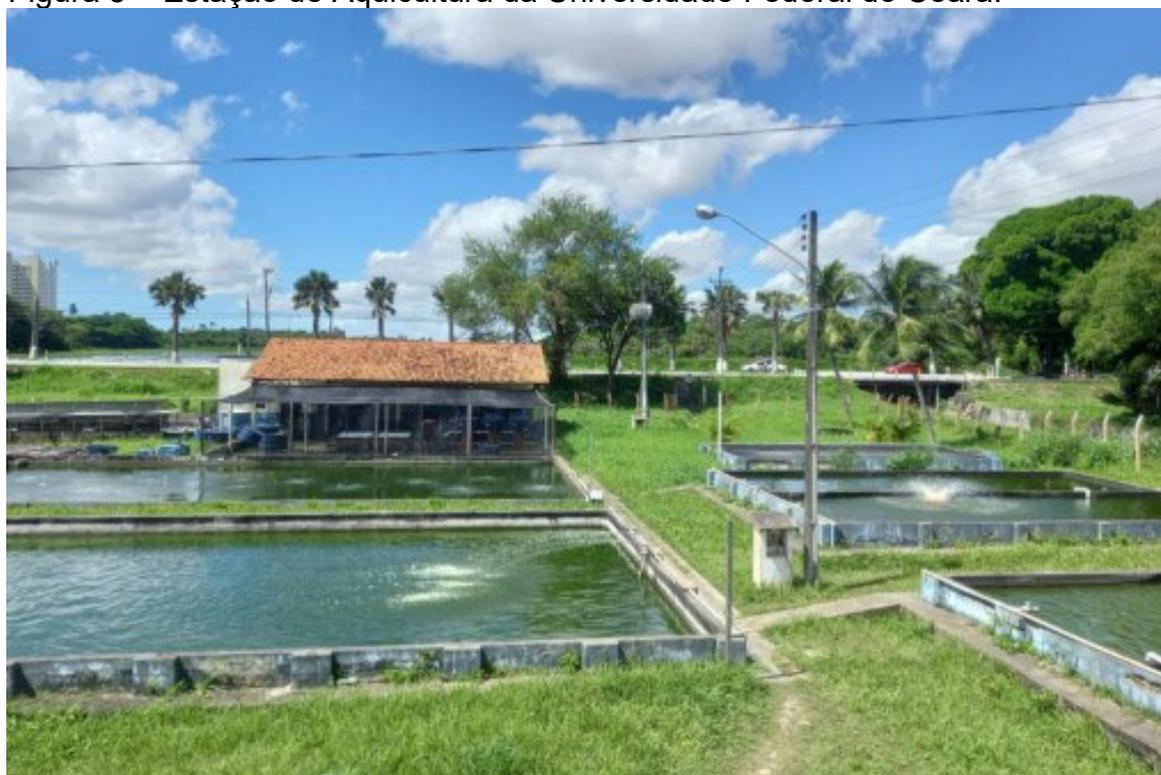
Na aquicultura, o uso de nanobolhas se mostrou eficiente, aumentando rapidamente os níveis de OD, melhorando o desempenho de peixes e camarões cultivados, contribuindo com a melhora da qualidade de água e aumentando a produtividade, pois com OD próximo a saturação e boa qualidade de água, consegue-se aumentar as densidades de estocagem (EBINA *et al.*, 2013; MAHASRI *et al.*, 2018; JAINONTEE *et al.*, 2019; MARQUES, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, período de execução do experimento e aquisição dos espécimes

O experimento foi conduzido na Estação de Aquicultura Prof. Dr. Raimundo Saraiva da Costa (FIGURA 5), do Departamento de Engenharia de Pesca, localizado no Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, *Campus* do Pici, no período de 16/03/2023 a 13/09/2023.

Figura 5 – Estação de Aquicultura da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: Arquivo pessoal de Jonnathan Wenderson Teixeira da Silva.

No experimento foram utilizados alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) provenientes de uma larvicultura local. As mudas de alface (*Lactuca sativa*) foram produzidas na Estação de Aquicultura, sendo obtidas a partir de sementes peletizadas adquiridas em loja especializada. As variedades de alfaces utilizadas foram: BRS Leila (tipo verde crespa) e Luminosa (tipo roxa crespa).

3.2 Descrição do sistema experimental

O sistema aquapônico experimental (FIGURA 6) foi composto por: a) 6 tanques circulares de polietileno, com volume útil de 250 L cada; b) sistema de tratamento de água composto por: um decantador primário, um decantador secundário (contendo 15 escovas filtrantes), um compartimento contendo três telas filtrantes, um desgaseificador para remoção do CO₂, equalizador e um *skimmer*; c) sistema gerador de bolhas ultrafinas e d) componente hidropônico do tipo flutuante. Este sistema possuía volume total de 7,5 m³ e cobertura com tela do tipo sombrite (50%) para proteção contra radiação solar direta.

Figura 6 – Vista do sistema aquapônico experimental. (1) tanques de criação dos peixes; (2) sistema de tratamento de água; (3) gerador de bolhas ultrafinas e (4) componente hidropônico.



Fonte: Autor.

O componente hidropônico foi constituído por dois tanques retangulares de fibra de vidro, cada um com 3,5 m² de área útil, 2.000 L de volume útil e capacidade de comportar 54 plantas. Foram utilizadas placas de poliestireno de alta densidade em uma piscina e placas de policloreto de vinila na outra. As placas ofereciam suporte aos vegetais, que ficavam inseridos em orifícios espaçados entre si por 25 cm.

Para a oxigenação do sistema aquapônico foi utilizado um gerador de bolhas ultrafinas (BUFs) de fabricação própria, do tipo multiestágio (FIGURA 7A), que atua segundo os princípios do cisalhamento mecânico e da cavitação hidráulica, com injeção de oxigênio proveniente de um concentrador. Este concentrador (FIGURA 7B) produzia oxigênio concentrado ($93\% \pm 3\%$) a partir do ar ambiente. O gerador captava água do equalizador e em seu interior ocorria a geração de BUFs. Em seguida, logo após a água ser supersaturada com oxigênio, passava para o *skimmer* que devolvia a água oxigenada para o componente hidropônico. Do último compartimento hidropônico, a água retornava aos tanques de criação dos peixes por meio de uma bomba submersa com vazão de 12.000 L/h.

Figura 7 – Gerador de bolhas ultrafinas (A) e concentrador de oxigênio (B).



Fonte: Autor.

A água dos tanques foi drenada com o auxílio de um dreno central (25 mm) com controle de nível por cavalete externo. Após a saída do tanque, a mesma era conduzida para o decantador primário por gravidade. Depois de ocorrer a decantação dos sólidos, a água passava por escovas e telas filtrantes para remoção de sólidos suspensos, caindo no desgaseificador, onde recebia intensa agitação por meio de

aeração, para remoção do gás carbônico e outros gases tóxicos. Após essa etapa, ia para o componente hidropônico e retornava para os tanques de cultivo.

Para a manutenção do sistema, os decantadores foram limpos diariamente em dois momentos: manhã e tarde. A limpeza total do sistema foi realizada semanalmente, retirando e lavando todas as escovas e telas filtrantes, o copo reservatório do *skimmer* e os sifões do sistema. Durante o período experimental não houve renovação de água, de modo que apenas o volume perdido pela limpeza dos decantadores, evaporação e evapotranspiração das plantas foi repostado.

3.3 Escalonamento da produção

As estocagens do sistema com peixes e plantas ocorreram de forma escalonada. O povoamento dos tanques de criação foi realizado a cada 5 semanas, com indivíduos com peso aproximado de 6 gramas, em duas densidades de estocagem: 2 tanques com 100 peixes/m³ (25 peixes/tanque) e 4 tanques com 160 peixes/m³ (40 peixes/tanque). Semanalmente foram transplantadas 18 alfaces para o componente hidropônico e, após 49 dias de ciclo de cultivo, a colheita de plantas foi realizada. Assim, semanalmente, havia biometria dos peixes, colheita e transplante de novas plantas para o sistema.

3.4 Desempenho zootécnico da tilápia do Nilo

Durante o período experimental utilizou-se um total de 210 peixes, que foram alimentados com ração comercial adequada para cada fase de desenvolvimento. O cálculo da oferta diária de ração foi efetuado de acordo com os resultados das biometrias e da indicação do fabricante. Nas biometrias, realizadas semanalmente, foram aferidos peso (g) e comprimento total (cm) de 25% da população de cada tanque, utilizando balança digital (0,01 g) (FIGURA 8) e paquímetro (FIGURA 9), respectivamente.

Figura 8 – Aferição da massa (g) de um exemplar de tilápia do Nilo utilizando uma balança digital.



Fonte: Autor.

Figura 9 – Aferição do comprimento total (cm) de um exemplar de tilápia do Nilo utilizando um paquímetro.



Fonte: Autor.

Ao final do período experimental, os parâmetros zootécnicos da tilápia do Nilo foram avaliados. A partir dos dados de peso (g) e comprimento total (cm), ração consumida (kg) e número de indivíduos, foram calculados (EQUAÇÕES 1 – 5):

$$\text{Peso médio} = \frac{\sum \text{pesos individuais (g)}}{n^{\circ} \text{ de indivíduos}} \quad (1)$$

$$\text{Biomassa (g)} = \text{Peso médio (g)} \times n^{\circ} \text{ de indivíduos} \quad (2)$$

$$\text{Ganho de biomassa (kg)} = \text{Biomassa final (kg)} - \text{Biomassa inicial (kg)} \quad (3)$$

$$\text{Fator de conversão alimentar (kg/kg)} = \frac{\text{Consumo de ração (kg)}}{\text{Ganho de biomassa (kg)}} \quad (4)$$

$$\text{Sobrevivência (\%)} = \frac{\text{n}^\circ \text{ final de peixes}}{\text{n}^\circ \text{ inicial de peixes}} \times 100 \quad (5)$$

3.5 Desempenho fitotécnico das alfaces

A germinação das sementes peletizadas foi realizada em substrato próprio (espuma fenólica) para semeadura de cultivares folhosas (FIGURA 10), levando-se em consideração as porcentagens de germinação indicadas pelos fabricantes. A germinação foi realizada semanalmente para obter o escalonamento da produção no sistema aquapônico.

Figura 10 – Plântulas da cultivar BRS Leila fixas em espuma fenólica.



Fonte: Autor.

O transplante das plântulas de alface para o componente hidropônico, foi realizado 5 dias após a semeadura. Foram utilizados copos plásticos perfurados (FIGURA 11) para que as alfaces ficassem fixas ao componente hidropônico. As plantas foram distribuídas de forma equidistante, com espaçamento de aproximadamente 25 cm entre elas. Um total de 108 plantas foram cultivadas de modo que o sistema apresentava, simultaneamente, diferentes estágios de desenvolvimento vegetal.

Figura 11 – Plântulas de alface com 5 dias após a semeadura prontas para serem transplantadas para o sistema aquapônico.



Fonte: Autor.

Após um ciclo de 42 dias no sistema, as 18 plantas de um mesmo lote foram colhidas. Semanalmente havia colheita e transplante de novas plantas para o sistema. Com o auxílio de uma balança digital (FIGURA 12) e uma régua (FIGURA 13), foram avaliados os seguintes parâmetros: massa fresca total – MFT (g); massa fresca da parte aérea – MFPA (g); massa fresca da raiz – MFR (g); altura da planta (cm) e diâmetro da cabeça (cm). Além disso, foi contabilizado o número total de folhas (NF) de cada planta.

Figura 12 – Aferição da massa fresca total – MFT (g) de um exemplar da variedade BRS Leila.



Fonte: Autor.

Figura 13 – Aferição da altura (cm) de um exemplar da variedade BRS Leila.



Fonte: Autor.

3.6 Qualidade de água

Diariamente foram avaliados, nos tanques de criação e nos tanques hidropônicos (períodos da manhã e da tarde), a concentração de OD (mg/L) e a temperatura (°C) da água utilizando um oxímetro portátil (AKSO AK-87). Os valores de pH foram acompanhados diariamente no período da tarde com o auxílio de um medidor de pH digital (AKSO AK-90). A cada cinco dias foram analisadas as concentrações de nitrogênio amoniacal total (mg/L), nitrito (mg/L) e alcalinidade total (mg/L de CaCO_3) por meio de testes colorimétricos e titulométricos. A concentração de amônia não ionizada (mg/L) foi obtida de maneira indireta por meio do cruzamento dos dados de nitrogênio amoniacal total (NAT) e os valores de pH e temperatura tabelados. A amostra de água coletada para análise de nitrogênio amoniacal total e nitrito, se deu em dois pontos do sistema de filtragem: entrada do decantador e saída do equalizador, enquanto que para a alcalinidade foi captada água da saída do equalizador.

Periodicamente, a fim de manter uma boa alcalinidade total, foram aplicados bicarbonato de sódio e calcário dolomítico. Além disso, para manter uma concentração de ferro que não limitasse o crescimento das alfaces, quelato Fe-EDDHA foi adicionado na água do sistema aquapônico.

3.7 Análise dos dados

Para a análise dos dados de desempenho zootécnico e fitotécnico e dos parâmetros de qualidade de água, foi realizada estatística descritiva com cálculo da média e do desvio padrão. Os gráficos e tabelas foram elaborados utilizando um programa computacional de planilhas eletrônicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros de qualidade de água

Os valores médios de temperatura e oxigênio dissolvido, nos períodos da manhã e da tarde, e de pH da água durante o período experimental, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios (média \pm desvio padrão) da temperatura (Temp.) e do oxigênio dissolvido (OD), no período da manhã e da tarde, e do pH da água dos tanques de criação (TAF) de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em sistema aquapônico com alface (*L. sativa*) e incorporação de oxigênio dissolvido por bolhas ultrafinas.

PARÂMETROS	TANQUES				
	TAF1	TAF2	TAF3	TAF4	TAF6
Temp. manhã (°C)	27,9 \pm 0,69	28,0 \pm 0,58	27,9 \pm 0,48	27,8 \pm 0,46	27,8 \pm 0,45
Temp. tarde (°C)	29,1 \pm 0,65	29,3 \pm 0,61	29,4 \pm 0,64	29,4 \pm 0,70	29,7 \pm 1,01
OD manhã (mg/L)	7,2 \pm 1,42	8,1 \pm 1,53	7,7 \pm 1,69	8,6 \pm 2,15	10,1 \pm 0,71
OD tarde (mg/L)	6,1 \pm 1,55	7,0 \pm 1,97	5,8 \pm 1,80	6,7 \pm 2,45	8,6 \pm 0,50
pH	7,2 \pm 0,41	7,1 \pm 0,39	7,0 \pm 0,38	6,9 \pm 0,28	6,9 \pm 0,28

Fonte: Autor.

Os valores médios de temperatura apresentaram máxima de $28,0 \pm 0,58^\circ\text{C}$ no período da manhã (TAF2) e $29,7 \pm 1,01^\circ\text{C}$ (TAF6) para o período da tarde. Pode-se observar a diferença nas temperaturas no período da manhã e tarde, esse fato é explicado pelo tempo de exposição aos raios solares diretamente no sistema. O intervalo ótimo de temperatura para o conforto térmico e crescimento da tilápia do Nilo está entre 25 e 30°C (SILVA *et al.*, 2015), desta forma, os valores encontrados neste trabalho estão dentro do padrão adequado para a espécie.

Oxigênio dissolvido apresentou média geral de 8,34 mg/L no período da manhã e 6,84 mg/L para o período da tarde. Pode-se observar diferença nos níveis de OD entre os tanques (TABELA 1), demonstrando relação inversa entre o nível de OD e o aumento da densidade de estocagem. Há uma relação entre a temperatura e o OD, de modo que quanto maior a temperatura, menor a disponibilidade de OD na água. Segundo Sá (2012) os níveis de OD devem estar acima de 4 mg/L, desta forma, os valores encontrados neste trabalho estão dentro do padrão adequado para a espécie.

O pH apresentou média geral de 7,02, valor que está dentro da faixa aceitável para todos os integrantes do sistema aquapônico, sejam eles, peixes, bactérias ou vegetais (RAKOCY *et al.*, 2006; CARNEIRO *et al.* 2015).

Valores de alcalinidade e compostos nitrogenados também foram avaliados e podem ser observados na TABELA 2.

Tabela 2 – Valores médios (média \pm desvio padrão) de alcalinidade total, amônia total, amônia não ionizada e nitrito na água do sistema de criação tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em sistema aquapônico com alface (*L. sativa*) e incorporação de oxigênio dissolvido por bolhas ultrafinas.

Parâmetros	Local de análise	
	Decantador	Bancada hidropônica
Alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃)	-	67,0 \pm 17,61
Amônia total (mg/L)	0,86 \pm 0,34	0,39 \pm 0,18
Amônia não ionizada (mg/L)	0,01 \pm 0,01	0,005 \pm 0,01
Nitrito (mg/L)	1,31 \pm 0,40	0,76 \pm 0,32

Fonte: Autor.

São aceitáveis para aquicultura em água doce, níveis de alcalinidade entre 20 e 150 mg/L, porém é recomendado valores próximos de 60 mg/L, pois proporciona maior resistência as variações de pH durante o dia devido ao poder tampão (SÁ, 2012). É importante citar, que durante o experimento foram corrigidos os níveis de alcalinidade, afim de mantê-los na faixa de 70 – 80 mg/L CaCO₃. Desta forma, os níveis de alcalinidade se mantiveram adequados durante o experimento.

A média de amônia total na entrada do decantador foi de 0,86 \pm 0,34 mg/L, enquanto na saída da bancada hidropônica foi de 0,39 \pm 0,18 mg/L. É recomendado que os níveis de amônia total em aquaponia estejam sempre abaixo de 2 mg/L (QUEIROZ *et al.*, 2017).

A amônia não ionizada apresentou valores médios de 0,01 \pm 0,01 mg/L e 0,005 \pm 0,01 mg/L para os pontos de coleta decantador e bancada hidropônica, respectivamente. Segundo Sá (2012), níveis abaixo de 0,1 mg/L são considerados seguros para peixes, logo, os níveis de amônia não ionizada não afetaram negativamente o desempenho dos peixes.

O nitrito apresentou valores médios de 1,31 \pm 0,40 mg/L na entrada do decantador e 0,76 \pm 0,32 mg/L na saída da bancada hidropônica. Valores acima de 1 mg/L de nitrito podem ser prejudiciais ao cultivo de peixes (TIMMONS; EBELING; PIEDRAHITA, 2009). Durante o período do experimento, foram observados valores

acima dessa faixa, porém não vieram a impactar de forma negativa o desenvolvimento dos peixes.

As diferenças encontradas nos valores médios de amônia (total e não ionizada) e nitrito no decantador e na bancada hidropônica demonstram a atuação do sistema de tratamento de água implantado no sistema experimental instalado na Estação de Aquicultura.

4.2 Desempenho zootécnico da tilápia do Nilo

Na Tabela 3 estão inclusos os valores obtidos para parâmetros de desempenho zootécnico da tilápia do Nilo produzida durante o período de 180 dias.

Tabela 3 – Valores médios (média \pm desvio padrão) da biomassa inicial (B_{Mi}), biomassa final (B_{Mf}), ganho de biomassa (GBM), peso médio inicial (P_{Mi}), peso médio final (P_{Mf}), fator de conversão alimentar (FCA), comprimento total inicial (CT_i), comprimento total final (CT_f), densidade de estocagem inicial (DE_i), densidade de estocagem final (DE_f) e sobrevivência (S) para tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em sistema aquapônico com alface (*L. sativa*) e incorporação de oxigênio dissolvido por bolhas ultrafinas.

PARÂMETROS	TANQUES				
	TAF1	TAF2	TAF3	TAF4	TAF6
B _{Mi} (kg)	0,16	0,17	0,28	0,21	0,24
B _{Mf} (kg)	6,55	4,00	6,92	5,51	1,05
GBM (kg)	6,39	3,83	6,64	5,30	0,81
P _{Mi} (g/peixe)	6,7 \pm 0,91	7 \pm 1,38	7,2 \pm 1,87	5,4 \pm 0,6	6,2 \pm 1,96
P _{Mf} (g/peixe)	312 \pm 111	250 \pm 85	197 \pm 51	177 \pm 45	26 \pm 10
FCA (kg/kg)	2,2	2	1,5	1,1	0,8
CT _i (cm)	7,1 \pm 0,4	7,2 \pm 0,41	7,4 \pm 0,63	6,46 \pm 0,32	6,87 \pm 0,74
CT _f (cm)	24,6 \pm 3,0	23,2 \pm 2,5	21,3 \pm 1,9	20,3 \pm 1,9	10,9 \pm 1,2
DE _i (kg/m ³)	0,66	0,69	1,20	0,90	1,00
DE _f (kg/m ³)	26,23	16,01	27,70	22,00	7,00
S (%)	76	68	85	77	80

Fonte: Autor.

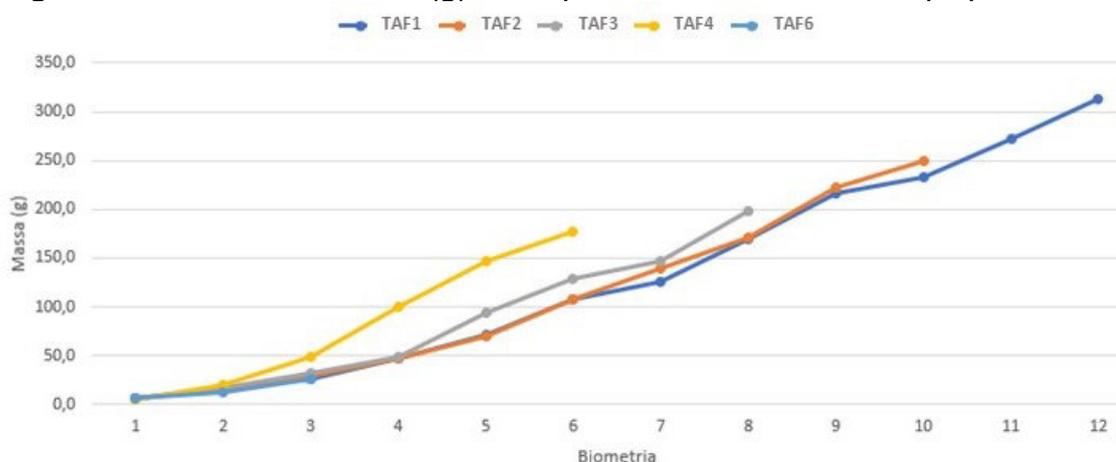
A sobrevivência para a tilápia do Nilo obtida nos tanques de produção ficou em média de 77%, provavelmente pelo fato dos peixes estarem em um sistema super intensivo e pelo limitado espaço disponível para o desenvolvimento dos mesmos. É importante citar que grande parte da mortalidade se deu durante a fase alevino/juvenil dos peixes. Segundo Kubitzka *et al.* (2000) peixes acima de 90 g são mais resistentes e tem maior expectativa de sobrevivência.

A densidade máxima de estocagem (kg/m³) alcançada no sistema foi de 27,7 kg/m³ no TAF3 que apresentava 160 peixes/m³. O FCA médio foi de 1:1,52,

sendo que nos tratamentos em que os peixes estavam a mais tempo o FCA obtido foi acima da média, enquanto que em tanques mais novos, foi abaixo.

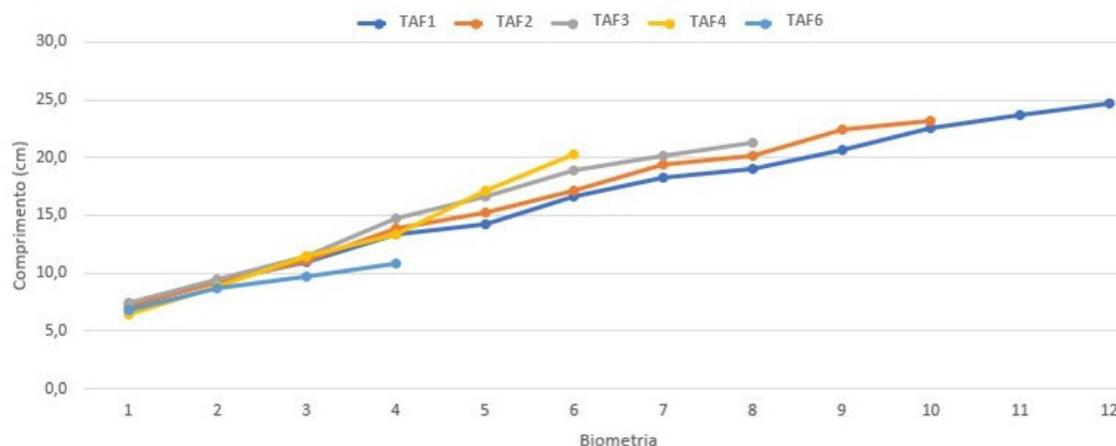
Houve ganho de peso e comprimento em todos os tanques, como é possível observar nas Figuras 14 e 15, respectivamente. É possível observar que a curva de crescimento tende a diminuir na medida em que a densidade de estocagem aumenta. Esse acontecimento é justificável, pois com o crescimento dos peixes, diminui o espaço disponível para o animal (ARAUJO *et al.*, 2010).

Figura 14 – Ganho de massa (g) da tilápia do Nilo em sistema aquapônico.



Fonte: Autor.

Figura 15 – Crescimento (cm) da tilápia do Nilo em sistema aquapônico.



Fonte: Autor.

Apesar dos peixes do TAF1 terem permanecido no sistema por 180 dias, tempo considerado suficiente para a tilápia do Nilo atingir o tamanho comercial de 800 a 1.000 g, os peixes apresentaram média de 312 ± 111 g. Tal fato pode ser explicado

por uma combinação de características do sistema e da espécie em questão. A tilápia é um peixe territorialista que defende seu espaço com muito vigor, o que causa gasto significativo de energia, falta de interesse na ração e estresse em todo o lote. Além disso, o pequeno tamanho do tanque aliado ao fato do sistema ser de águas claras, impedia que os peixes se dispersassem e possibilitava visualização direta entre os indivíduos.

Durante a realização do experimento, houve a mortalidade total dos peixes do TAF5, por motivos desconhecidos. Por esse motivo, não foram mostrados resultados do tanque em questão.

4.3 Desempenho fitotécnico das hortaliças

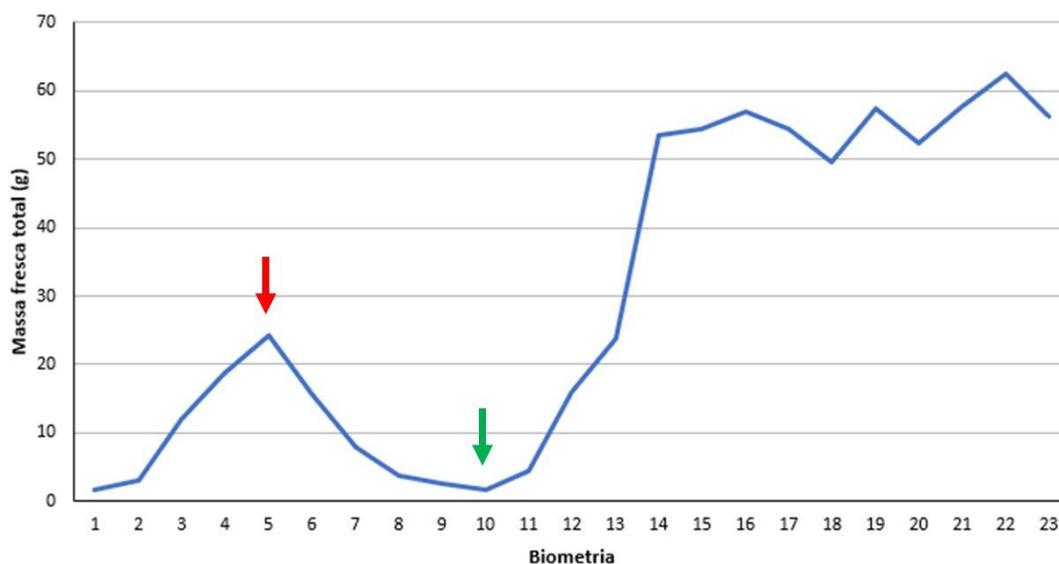
A Figura 16 apresenta a massa fresca total (MFT) das alfaces ao final do ciclo produtivo de 42 dias. Inicialmente as plantas apresentaram grande deficiência no desenvolvimento, pois a biomassa dos peixes e, conseqüentemente o aporte de ração ao sistema, eram insuficientes para fornecer os nutrientes necessários. Com o desenvolvimento dos peixes e a estocagem sequenciada dos demais tanques, foi possível observar o progressivo aumento da biomassa vegetal até quinta colheita. Entretanto, durante a realização da presente pesquisa, houve problemas de ordem técnica com a fonte de abastecimento de água da Estação de Aquicultura. Desta forma, foi necessário deixar de utilizar a água do poço profundo e passar a utilizar água da companhia de abastecimento. A seta vermelha na Figura 13 indica a semana na qual passou-se a utilizar a nova fonte de água, o que causou um declínio acentuado no desenvolvimento das plantas.

A análise físico-química da água do poço e da companhia de abastecimento revelou que estas apresentavam uma concentração de 0,8 mg/L e 0,0 mg/L de ferro total, um nutriente essencial para o desenvolvimento dos vegetais. De acordo com Rakocy (2012), o ferro derivado da alimentação dos peixes, é insuficiente para a produção dos vegetais. Desta forma, se faz necessária a suplementação deste nutriente em sistemas aquapônicos quando a fonte de água apresenta deficiência deste composto. Além do ferro, a água tratada da companhia de abastecimento também se mostrou deficiente em alcalinidade quando comparada à água do poço.

Com o início da suplementação de ferro a partir da 10ª semana (seta verde da Figura 16) e a continuação do aumento da biomassa de tilápias foi possível

observar a retomada do desenvolvimento das alfaces, comportamento que foi observado até a finalização do presente estudo.

Figura 16 – Massa fresca total das alfaces cultivadas em sistema aquapônico ao final do ciclo produtivo de 42 dias.



Fonte: Autor.

Conforme foi constatado, a concentração de ferro na água é um fator limitante para o desenvolvimento da alface. De acordo com Furlani (1998), a recomendação mínima da concentração do nutriente ferro para o cultivo hidropônico de folhosas é de 2 mg/L. Por sua vez, todos os testes de ferro realizadas no sistema, indicaram valores sempre inferiores a 0,5 mg/L, isto é, o limite de detecção, indicando escassez de tal nutriente para o desenvolvimento das plantas.

A Tabela 4 apresenta os valores médios de desempenho fitotécnico da alface, referente à massa fresca total (g), massa fresca da parte aérea (g), massa fresca da raiz (g), altura (cm), diâmetro (cm) e número de folhas após os 42 dias de cultivo no sistema aquapônico coletados a partir da 14ª biometria.

Tabela 4 – Valores médios (média \pm desvio padrão) da massa fresca total (MFT), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), número total de folhas (NF), altura da planta e diâmetro da cabeça da alface *Lactuca sativa*, cultivada em sistema aquapônico com incorporação de oxigênio dissolvido por bolhas ultrafinas. Dados coletados a partir da 14ª colheita.

PARÂMETROS DA ALFACE	BRS Leila	Luminosa
MFT (g)	53,9 \pm 3,8	13,28 \pm 7,94
MFPA (g)	38,5 \pm 2,9	9,29 \pm 6,77
MFR (g)	15,4 \pm 1,4	3,99 \pm 7,35
NF	16,1 \pm 1,9	8,95 \pm 2,23
Altura da planta (cm)	17,3 \pm 1,6	12,78 \pm 2,48
Diâmetro da cabeça (cm)	28,4 \pm 1,3	19,0 \pm 4,29

Fonte: Autor.

Conforme pode ser observado, os dados de desempenho produtivo das alfaces, ficaram bem abaixo do esperado para as cultivares. Lenz *et al.* (2017) afirmam ter obtido, em um cultivo de 28 dias, massa fresca de 64,54 g na parte aérea da alface em sistema integrado com tilápias e arraçoamento de 20 g/m²/dia. As médias da massa fresca da parte aérea obtidas no presente trabalho foram de 38,5 \pm 2,9 g para a BRS Leila e 9,29 \pm 6,77 g para a luminosa. Comparando com o cultivo hidropônico convencional, Barbosa *et al.* (2015) reportaram uma média anual de massa para alfaces de 144 g em ciclos de cultivo de 30 dias.

A relação de arraçoamento diário por metro quadrado de cultivo na presente pesquisa foi de aproximadamente 6,5 g/m²/dia. Para hortaliças como a alface, recomenda-se uma relação aproximada de 60 g de ração para cada m² de plantas/dia e uma densidade de plantio de 20 a 30 plantas/m² a fim de atingir os níveis mínimos de nutrientes necessários para nutrir as plantas (RAKOCY *et al.*, 2006). Entretanto, esses valores podem ser reduzidos significativamente, utilizando ração na proporção de aproximadamente 25 g/dia/m² para o cultivo de plantas folhosas (EMBRAPA, 2015).

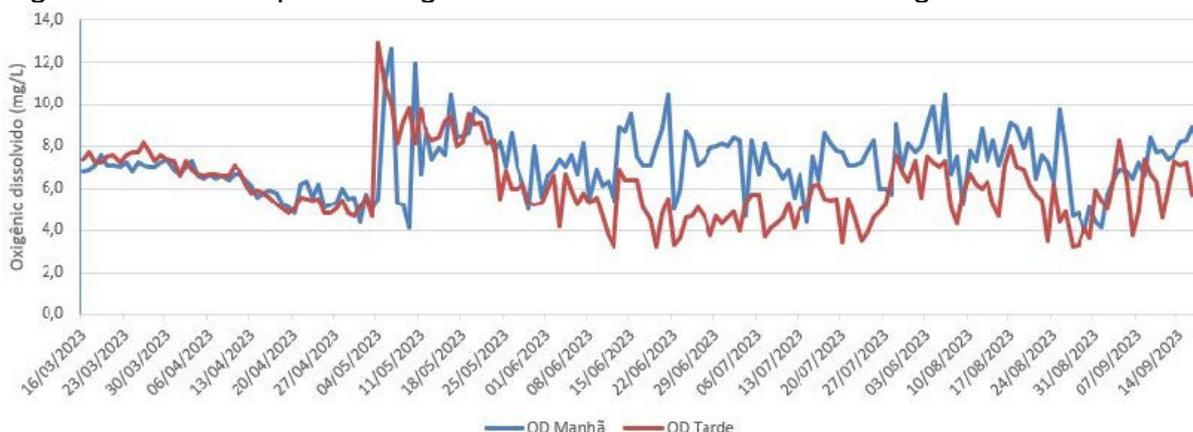
Desta forma, entende-se que no experimento, não foi possível atender o mínimo necessário para possibilitar o cultivo de vegetais nas condições do sistema, justificando assim os resultados aquém do esperado.

4.4 Desempenho do gerador de bolhas ultrafinas (BUF)

O desempenho do gerador de bolhas ultrafinas de oxigênio pode ser observado na FIGURA 17, ao longo do ciclo produtivo de tilápia do Nilo.

Pode-se notar que o gerador de bolhas ultrafinas atendeu satisfatoriamente a demanda de oxigênio dos peixes e das plantas no sistema aquapônico durante todo o experimento. Mesmo com o aumento da densidade de cultivo, foi possível obter níveis de oxigênio dissolvido sempre acima de 3 mg/L, valor adequado para todos os integrantes do sistema (QUEIROZ, 2017).

Figura 17 – Desempenho do gerador de bolhas ultrafinas de oxigênio.



Fonte: Autor.

No início do experimento, o gerador de bolhas esteve funcionando captando ar atmosférico para geração das bolhas ultrafinas. Até o início de maio, os níveis de OD se mostraram satisfatórios, porém com o aumento da densidade e povoamento de novos tanques foi necessário o uso do concentrador de oxigênio, mostrando assim uma relação inversa entre densidade de cultivo e disponibilidade de OD. Na pesquisa, o concentrador de oxigênio utilizado produz oxigênio concentrado ($93 \pm 3\%$) a partir do ar ambiente.

Ao observarmos o gráfico, é notório o aumento nas concentrações de OD a partir da ativação do concentrador de oxigênio, confirmando assim as propriedades das BUFs em solubilizar e estabilizar o oxigênio na água, aumentando rapidamente a concentração de OD e sua rápida incorporação na água (MARQUES, 2022; EBINA *et al.*, 2013).

5 CONCLUSÃO

Desta forma, é possível concluir que o gerador de bolhas ultrafinas foi eficiente em manter níveis de oxigênio dentro da faixa ótima para o desenvolvimento da tilápia do Nilo mantida em altas densidades. O resultado final do experimento foi satisfatório, tendo em vista as altas densidades de estocagem praticadas e o desempenho do gerador de bolhas ultrafinas, mantendo os níveis de oxigênio acima de 3 mg/L.

As alfaces e os peixes não se desenvolveram conforme o esperado. Com o tamanho limitado dos tanques os peixes não acompanharam a curva de crescimento observada em outros experimentos. Por esse motivo, a disponibilidade de ração/planta ficou muito abaixo do planejado, justificando assim o baixo desenvolvimento das plantas.

Considerando esses fatores, faz-se importante pesquisas futuras a serem conduzidas em tanques de maiores volumes de modo a proporcionar mais espaço para um melhor desenvolvimento dos peixes.

REFERÊNCIAS

- ABCC. **Censo da carcinicultura dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí.** Associação Brasileira dos Criadores de Camarão, 2022.
- AGARWAL, A.; NG, W. J.; LIU, Y. **Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment.** *Chemosphere*, [s.l.], v. 84, n. 9, p. 1175–1180, 2011.
- ALEXANDRE, C., Curso de aquaponia: **Como dimensionar um sistema de aquaponia.** Disponível em: <https://cursodeaquaponia.com.br/como-dimensionar-um-sistema-de-aquaponia/>. Acesso em: 30 de out. de 2023.
- ARAUJO, G.S. *et al.* **Cultivo da tilápia do Nilo em tanquesrede circulares em diferentes densidades de estocagem.** *Bioscience Journal*, v.26, n.3, p.428-434, 2010.
- BARBOSA, G. *et al.* **Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 12, p. 6879-6891, 2015.
- BLUM, M. N. **Efeito de diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral em sistemas de cultivo aquapônico de tilápia (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).** 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- BOYD, C. E. **Pond water aeration systems.** *Aquacultural Engineering*, [s.l.], v. 18, n. 1, p. 9–40, 1998.
- BRAZ FILHO, M.S.P. **Qualidade na produção de peixes em sistema de recirculação de água.** Monografia (Pós Graduação em Qualidade nas Empresas) - Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo. 2000.
- CALÓ, P. **Introducción a la Acuaponia.** Centro Nacional de Desarrollo acuícola (CENADAC). Ministerio de Agricultura, Ganaderia y Pesca. Argentina, 2011.
- CARNEIRO, P.C.F. *et al.* **Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais.** Macapá, 2015.
- CARVALHO, J, F. **Aquicultura no Brasil: uma indústria de 1 bilhão de dólares.** 2021. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/aquicultura-no-brasil/>. Acesso em: 26 set. 2023.
- CHOPIN, T. **Why is Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) developing more easily, and at a larger scale, in China than in the western world?** *Int. Aquafeed* 5–7, 2018.

CORSO, M. N. **Uso de sistemas com recirculação em aquicultura**. 2010. Monografia (Curso de Medicina Veterinária) - Faculdade de Veterinária. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS, Porto Alegre. 2010.

DAHRAZMA, B. *et al.* **Morphological and Physiological Responses of *Cucumis sativus* L. to Water with Micro-Nanobubbles**. Journal of Agricultural Science and Technology, [s.l.], 2019.

EBINA, K. *et al.* **Oxygen and Air Nanobubble Water Solution Promote the Growth of Plants, Fishes, and Mice**. PLoS ONE, [s.l.], v. 8, n. 6, p. 2–8, 2013.

EDING E. H., *et al.* **Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review**. Aquacultural Engineering, Wageningen, v. 34, 2006.

EL-SAYED, A-FM. **Tilapia Culture**. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006. 293 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Produção Integrada de Peixes e Vegetais em Aquaponia**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Documentos 189). Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.

ESPINAL, C. A.; MATULIĆ, D. **Recirculating Aquaculture Technologies**. In: **GODDEK, S. et al. (org.). Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future**. Switzerland AG: Springer Nature, cap. 3, p. 35-76, 2019.

FAO. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008**. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Roma

FAO. **Small-scale aquaponic food production**. – Integrated fish and plant farming. Rome. 2014

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022**. – Aquaculture production. Rome. 2022.

FERRI, M. G., WESLEY H. J. **Determinants of Financial Structure: a New Methodological Approach**. THE JOURNAL OF FINANCE, 1979.

FURLANI, P.R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia - NFT**. Campinas, Instituto Agrônomo de 1998,

GODDEK, S. *et al.* **Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future**. Cham: Springer Open, 2019.

HAGER, J. *et al.* **Aquaponics Production Manual: A practical handbook for growers**. Kentucky State University. 2021.

HERBERT, S. *et al.*, **Aquaponics in Australia - The integrations of Aquaculture and Hydroponics**. Mudge, Australia, 2008.

HUNDLEY, G. C. **Aquaponia, uma experiência com tilápia (*Oreochromis niloticus*), manjeriço (*Ocimum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de recirculação de água e nutrientes**. 2013. 57 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: . Acesso em: 16 out. 2020.

ISO. International Standards Organization. **Fine bubble technology - General principles for usage and measurement of fine bubbles - part 1: terminology**. ISO 20480-22017, 2017. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:20480:-1:ed-1:v1:en>. Acesso em: 26 out. 2023.

JAINONTEE, K. *et al.* **Preliminary study of the effects of air-fine (Micro/nano) bubbles (fb) on the growth rate of tilapia in phan district, Chiang Rai, Thailand**. International Journal of Plasma Environmental Science and Technology, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 84–88, 2019.

KUBITZA, F.; KUBITZA, L.M.M. **Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade**. Panorama da Aquicultura. v. 10, n. 60. 2000.

KUBITZA, F. **Sistemas de Recirculação: Sistemas Fechados com Tratamento e reuso da Água**. Panorama da Aquicultura , 2006.

KUBITZA, F. **Tilápia: Tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiá, São Paulo, 316 p, 2011.

LENNARD, W. A.; LEONARD, B. V. **A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system**. Aquaculture International, [s.l.], v. 14, n. 6, p. 539–550, 2006.

LENZ, G.L. *et al.* **Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade**. Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 614 - 630, 2017.

LOBÃO, V.L., *et al.* **Estudo comparativo entre quatro métodos de sistemas fechados de circulação em larvicultura de *Macrobrachium rosenbergii***. Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo, v. 25, 1999.

MAGNO, C. *et.al.* **Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira**. 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/ij/pab/a/fBzHsxNCwB5RmQGTqZfk7jb/>>. Acesso em: 26 set. 2023.

MAHASRI, G. *et al.* **Development of an aquaculture system using nanobubble technology for the optimization of dissolved oxygen in culture media for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, [s.l.], v. 137, n. 1, 2018.

MARENGONI, N. G. **Produção de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem.** Archivos de Zootecnia, Andalucía, v. 55, n. 210, p.127-138, 2006.

MARQUES, D. F. **Utilização de um gerador de bolhas ultrafinas para oxigenação de tanques de criação de tilápia do Nilo em sistema aquapônico.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2022.

MASSER, M. P., RAKOCY, J. **Recirculating Aquaculture Tank Production Systems – Management of Recirculating Systems. Revision.** Southern Regional Aquaculture Center, Mississippi, 1999.

MAUCIERI, C. *et al.* **Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review.** Italian Journal of Agronomy, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 1–11, 2018.

MULLER, A.G. **Comportamento térmico do solo e do ar em alface em diferentes tipos de cobertura do solo.** 1991. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

O POVO. **População mundial ultrapassa 8 bilhões, diz a ONU.** 2022. Disponível em: <<https://www.opovo.com.br/noticias/mundo/2022/11/15/populacao-mundial-ultrapassa-8-bilhoes-segundo-a-onu.html>>. Acesso em: 26 set. 2023.

PAULUS, D. *et al.* **Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina.** Horticultura Brasileira, v.28, n.1, p.29-35, 2010.

PAZ, M. F.; DE LUCA, S. J.; SINMA, E. A. **Desenvolvimento sustentável e a qualidade das águas de efluentes de sistemas aquícolas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005.

PEIXE BR. **Anuário Peixe BR da piscicultura 2023.** Associação Brasileira da Piscicultura, 2023.

PERERA, R. H. *et al.* **Nanobubble ultrasound contrast agents for enhanced delivery of thermal sensitizer to tumors undergoing radiofrequency ablation.** Pharmaceutical Research, [s.l.], 2014.

QUEIROZ, J. F.; MOURA, E. V. **Aquacultura e recursos pesqueiros: alternativa para o desenvolvimento sócio-econômico do Rio Grande do Norte.** Cadernos de Ciência & Tecnologia. Brasília. v.13, n.2, p. 195-224. 1996.

QUEIROZ, J. F. *et al.* **Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia.** Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna. 2017.

RAKOCY, J. E. **Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system.** Virgin Islands Agri Experiment Station, Island Perspectives, [s.l.], v. 3. p. 4–10, 1989.

RAKOCY, J. E. Aquaponics - Integrating Fish and Plant Culture. In: TIDWELL, J. (org.). **Aquaculture Production Systems**. New Delhi: Wiley-Blackwell, 2012. cap. 14, p. 343–383.

RAKOCY, J. E.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. **Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-integrating fish and plant culture**. SRAC Publication - Southern Regional Aquaculture Center, [s.l.], n. 454, p. 16, 2006.

RIBEIRO, V. *et al.* **Evolução da pesca e da aquicultura no mundo, no período de 1950-2002, e a pesca na Amazônia**. Papers do Naea. v. 1, n 1. 2016.

RIGO, C. D. **Avaliação de desempenho entre substrato e um sistema de aquaponia com tilápias (*Oreochromis niloticus*) para o cultivo de alface (*Lactuca sativa*) e chicória (*Cichorium intybus*)**. 2017. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

SÁ, M. V. C. **Limnocultura: Limnologia para aquicultura**. Edições UFC. p. 85. 2012.

SANTOS, A. N. *et al.* **Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.14, p.961-969, 2010.

SCHMITTOU, H.R. **Produção de peixes em alta densidade em tanques-redes de pequeno Campinas**: Mogiana Alimentos e Associação Americana de Soja, 78p, 1997.

SCORVO FILHO, J.D. *et al.* **Desempenho do pintado, *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) criado nos sistemas intensivo e semi-intensivo**. In: CONGRESSO DA AQUABIO AQUIMERCO, 2004, Vitória, ES. Anais... Vitória: Aqua Ciência, 145p, 2004.

SHEI, M. **O que é aquicultura em sistema de recirculação de água**. 2016.

SILVA, P.F.D *et al.* **“produção de mini-alface em cultivo hidropônico” unimontes Científica**, 2015 v.8 n. 1 p. 75-78

SOARES, T. M. *et al.* **Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.14, p.705-714, 2010.

SOMERVILLE, C. *et al.* **Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming**. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, n. 589, p. I, 2014.

TEIXEIRA, E. A. *et al.* **Sistemas de produção na piscicultura**. Revista Brasileira de Reprodução Animal. Belo Horizonte. v. 30, n.3/4, p. 86-99. 2006.

TIAGO, G.G. **Aquicultura, Meio Ambiente e Legislação**. 2 ed. São Paulo: Glauco

Gonçalves Tiago (Editor), 2007.

TIMMONS, M. B.; EBELING, J. M. **Recirculating Aquaculture 2nd Edition**. [s.l: s.n.] 2010.

TIMMONS, M. B; EBELING, J. M; PIEDRAHITA, R. H. **Acuicultura em Sistemas de Recirculacion**. 1. Ed. New York: Cavuga Aqua Ventures, LLC, 2009. 959p.

TORARINSDOTTIR, R. I. *et al.* **Aquaponics Guidelines**. 2015.
[https://skemman.is/bitstream/1946/23343/1/Guidelines_Aquaponics_20151112.pdf].

TYSON, R.V. *et al.* **Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels**. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Flórida, v. 117, n. 1, p. 79-83. 2004.

UCHIDA, T. *et al.* **Transmission electron microscopic observations of nanobubbles and their capture of impurities in wastewater**. *Nanoscale Research Letters*, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 1–9, 2011.

VALENTI, W.C. **Aquicultura sustentável**. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 12°, 2002, Vila Real, Portugal, Anais. Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos, 2002.

WU, C. *et al.* **Generation and characterization of submicron size bubbles**. *Advances in Colloid and Interface Science*, [s.l.], 2012.

ZELAYA, O.; BOYD *et al.* **Effects of Water Recirculation on Water Quality and Bottom Soil in Aquaculture Ponds**. In: EIGHTEENTH ANNUAL TECHNICAL REPORT, POND DYNAMICS/AQUACULTURE CRSP. Oregon, 2001. v. 1, p. 711.