



Instituto Federal Catarinense
Mestrado profissional em produção e sanidade animal
Campus Araquari

GABRIELY DE PAULA MOURA

**USO DE BIORREMEDIADOR NO CULTIVO DE ALFACE LISA EM SISTEMA
INTEGRADO COM TILÁPIA-DO-NILO EM BIOFLOCOS**

Araquari

2025

GABRIELY DE PAULA MOURA

**USO DE BIORREMEDIADOR NO CULTIVO DE ALFACE LISA EM SISTEMA
INTEGRADO COM TILÁPIA-DO-NILO EM BIOFLOCOS**

Dissertação submetida ao Programa de mestrado em produção e sanidade animal do Instituto Federal Catarinense – *Campus Araquari* para a obtenção do título de Mestre.
Orientador: Profº. Dr º Adolfo Jatobá
Coorientador: Drª Jaqueline de Andrade

Araquari
2025

GABRIELY DE PAULA MOURA

**USO DE BIORREMEDIADOR NO CULTIVO DE ALFACE LISA EM
SISTEMA INTEGRADO COM TILÁPIA-DO-NILO EM BIOFLOCOS**

Esta Dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em produção e sanidade animal e aprovada em sua forma final pelo curso de Mestrado em produção e sanidade animal do Instituto Federal Catarinense – *Campus Araquari*

Prof. Dr. Adolfo Jatobá (Orientador)

Doutor em Aquicultura pela Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil

Instituição de vínculo Laboratório de Aquicultura, IFC campus Araquari

Prof. Dr. Felipe do Nascimento Vieira

Doutor em Aquicultura pela Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil

Instituição de vínculo Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. Dr. Marco Shizuo Owatari

Doutor em Aquicultura pela Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil

Instituição de vínculo Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Araquari

2025



ATA (ANEXO) Nº 223/2025 - CGET/ARAQ (11.01.02.08)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 09/09/2025 15:23)

ADOLFO JATOBA MEDEIROS BEZERRA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
CGET/ARAQ (11.01.02.08)
Matrícula: ####307#1

(Assinado digitalmente em 09/09/2025 15:28)

MARIO LETTIERI TEIXEIRA
COORDENADOR DE CURSO - TITULAR
PGPSA/ARAQ (11.01.02.22)
Matrícula: ####551#2

(Assinado digitalmente em 16/09/2025 09:40)

GABRIELY DE PAULA MOURA
DISCENTE
Matrícula: 2023#####5

Visualize o documento original em <https://sig.ifc.edu.br/documentos/> informando seu número: 223, ano: 2025, tipo: ATA (ANEXO), data de emissão: 09/09/2025 e o código de verificação: a9ff9d966e

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática do ICMC/USP, cedido ao IFC e
adaptado pela CTI - Araquari e pelas bibliotecas do Campus de Araquari e Concórdia.

Moura , Gabriely de Paula
Mu USO DE BIORREMEDIADOR NO CULTIVO DE ALFACE LISA EM
SISTEMA INTEGRADO COM TILÁPIA-DO-NILO EM BIOFLOCOS
/ Gabriely de Paula Moura ; orientador Adolfo
Jatobá ; coorientador Jaqueline Andrade . --
Araquari, 2025.
45 p.

Dissertação (mestrado) - Instituto Federal
Catarinense, campus Araquari, , Araquari, 2025.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Biorremediação. 3. Bacilos. 4. Alface. 5. Cultivo integrado. I. Jatobá , Adolfo , II. Andrade , Jaqueline . III. Instituto Federal Catarinense. . IV. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelo dom da vida, e por permitir que eu tenha conseguido realizar esse sonho que já existia dentro do meu coração desde criança.

Aos meus pais, que são exemplos de pessoas determinadas, honestas e guerreiras. Nunca mediram esforços para que eu pudesse concluir a graduação e o mestrado, sempre me apoiando e me fortalecendo nos momentos difíceis. Nunca, nada do que faça, pode retribuir tudo o que vocês fizeram e ainda fazem por mim. Eu amo vocês infinitamente.

Ao meu companheiro de vida Angelo, que sempre esteve do meu lado, auxiliando em todas as etapas, sempre dizendo que estaria comigo e que tudo daria certo. À minha filha de quatro patas Panda que desde o início da graduação foi inspiração no caminho da medicina veterinária e minha melhor companhia.

Ao meu orientador Prof. Dr. Adolfo Jatobá que guiou o caminho durante a execução de todo o mestrado, pela sua dedicação e profissionalismo, dando todo o suporte necessário para a conclusão do curso. Agradeço à minha coorientadora Dra. Jaqueline Inês de Andrade por todo auxílio principalmente na parte prática da execução do experimento, por nunca medir esforços para ajudar e ensinar da melhor forma possível, tornando a trajetória mais leve.

À FAPESC, agência de fomento que apoiou a execução do experimento de mestrado, por meio da contemplação da bolsa de mestrado e a todos os alunos que participam ativamente das atividades do LAq (laboratório de Aquicultura) do Instituto Federal Catarinense *campus Araquari*, que formaram uma equipe unida realizando todas as atividades necessárias com dedicação e competência.

RESUMO

DE PAULA MOURA, Gabriely. **USO DE BIORREMEDIADOR NO CULTIVO DE ALFACE LISA EM SISTEMA INTEGRADO COM TILÁPIA-DO-NILO EM BIOFLOCOS.** 2025. 46f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Pós-Graduação em Produção e Sanidade Animal, Pró-reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2025.

Os cultivos integrados entre peixes e hortaliças representam uma alternativa promissora para tornar a aquicultura mais ambientalmente sustentável. Esses sistemas podem ser potencializados pelo uso de biorremediadores, capazes de reduzir compostos nitrogenados e melhorar a qualidade da água, além de ampliar a absorção de nutrientes. Este estudo avaliou o desempenho zootécnico de tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e o crescimento de alface lisa (*Lactuca sativa* var. *capitata*) sob a inclusão de um biorremediador à base de bacilos em sistema de bioflocos. O experimento foi conduzido em oito unidades experimentais, cada uma composta por duas caixas circulares (500 e 100 L), contendo 12 juvenis de tilápia-do-nilo (90,58 g) e 12 mudas de alface (25,35 g), cultivadas em sistema NFT. Após 27 dias, foram obtidos dados zootécnicos, fitotécnicos, de qualidade da água e de retenção de nutrientes (N, P e C). O oxigênio dissolvido e a temperatura foram monitorados diariamente, enquanto amônia, nitrito, nitrato, ortofosfato, pH, alcalinidade e sólidos suspensos totais foram avaliados semanalmente. A inclusão do biorremediador elevou a concentração de amônia ($0,04 \text{ mg.L}^{-1}$) em relação ao controle ($0,01 \text{ mg.L}^{-1}$), mas aumentou em 43,5% a retenção de nitrogênio no sistema. As tilápias-do-nilo do grupo experimental apresentaram melhor conversão alimentar (1,14 vs. 1,71), maior taxa de crescimento específico (1,05% vs. 0,93%) e maior produtividade (5,71 vs. 4,73 kg.m⁻³). No cultivo das hortaliças, todos os parâmetros fitotécnicos diferiram entre os tratamentos, com aumento de 20,64% na biomassa total das plantas no grupo experimental. Os resultados indicam que o uso de biorremediadores em sistemas integrados com bioflocos melhora o desempenho produtivo de peixes e hortaliças e aumenta a retenção de nutrientes, contribuindo para maior eficiência ambiental.

Palavras-chave: Aquaponia, Bacilos, Hortaliças, Flocponics

ABSTRACT

DE PAULA MOURA, Gabriely. **USE OF BIOREMEDIATOR IN THE CULTIVATION OF SMOOTH LETTUCE IN AN INTEGRATED SYSTEM WITH NILE TILAPIA IN BIOFLOCS.** 2025. 40f. Dissertation (Masters in Science) - Postgraduate Course in Animal Production and Health, Dean of Research, Postgraduate Studies and Innovation, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2025

Integrated fish–vegetable production systems represent a promising alternative for improving the environmental sustainability of aquaculture. These systems can be enhanced through the use of bioremediators capable of reducing nitrogenous compounds and improving water quality, in addition to increasing nutrient uptake. This study evaluated the zootechnical performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and the growth of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) under the inclusion of a *Bacillus*-based bioremediator in a biofloc system. The experiment was conducted in eight experimental units, each composed of two circular tanks (500 and 100 L), containing 12 juvenile tilapia (90.58 g) and 12 lettuce seedlings (25.35 g), cultivated in an NFT system. After 27 days, data on zootechnical performance, phytotechnical traits, water quality, and nutrient retention (N, P, and C) were collected. Dissolved oxygen and temperature were monitored daily, while ammonia, nitrite, nitrate, orthophosphate, pH, alkalinity, and total suspended solids were evaluated weekly. The inclusion of the bioremediator increased ammonia concentration (0.04 mg.L^{-1}) compared to the control (0.01 mg.L^{-1}), but increased nitrogen retention in the system by 43.5%. Tilapia in the experimental group showed a better feed conversion ratio (1.14 vs. 1.71), a higher specific growth rate (1.05% vs. 0.93%), and greater productivity ($5.71 \text{ vs. } 4.73 \text{ kg.m}^{-3}$). In the vegetable cultivation component, all phytotechnical parameters differed between treatments, with a 20.64% increase in total plant biomass in the experimental group. These results indicate that the use of bioremediators in integrated biofloc systems improves the productive performance of fish and vegetables and enhances nutrient retention, contributing to greater environmental efficiency.

Keywords: Aquaponics, *Bacillus*, Vegetables, Floponics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Registro fotográfico das unidades experimentais de cultivo integrado de tilápias-do-nilo e hortaliças.....	22
Figura 2 – Variação semanal de TAN (A), Alcalinidade (B) e pH (C) da água de biofoco ao longo do experimento de cultivo integrado das tilápias-do-nilo e hortaliças, com e sem biorremediador.....	29
Figura 3 – Variação semanal de NH ₃ (A), Nitrito (B) e Nitrato (C) da água de biofoco ao longo do experimento de cultivo integrado das tilápias-do-nilo e hortaliças, com e sem biorremediador.....	30
Figura 4 - Variação semanal de Sólidos suspensos totais (A), Volume de Floco (B) e Ortofosfato (C) da água de biofoco ao longo do experimento de cultivo integrado das tilápias-do-nilo e hortaliças, com e sem biorremediador.....	31
Figura 5 – Retenção de nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C) no sistema, ao longo do experimento de cultivo integrado das tilápias-do-nilo e hortaliças, com e sem biorremediador.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de qualidade (média ± desvio padrão) de água de biofoco de cultivo integrado das tilápias-do-nilo e hortaliças com e sem biorremediador.....26

Tabela 2 – Dados de produção do sistema (média ± desvio padrão) das tilápias-do-nilo e alface cultivadas em sistema de biofoco *indicam diferenças significativas no teste-t ...35

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E ESTADO DA ARTE.....	10
1.1	Tilapicultura	10
1.2	Sistema de bioflocos	11
1.3	“Flocponics” e Aquaponia em BFT	12
1.4	Bacilos na biorremediação	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	INTRODUÇÃO DO ARTIGO	19
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1	Material Biológico	21
4.2	Biofoco.....	21
4.3	Delineamento experimental.....	21
4.4	Unidades experimentais	22
4.5	Manejo experimental	22
4.6	Qualidade de água.....	23
4.7	Dados Fitotécnicos.....	23
4.8	Dados Zootécnicos.....	24
4.9	Dados de retenção de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) e Carbono (C)	24
4.10	Análise estatística	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1	Dados de qualidade de água	26
5.2	Dados de retenção de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Carbono (C).....	32
5.3	Produção do sistema	35
6	CONCLUSÃO	37
7	REFERÊNCIAS DO ARTIGO	39
8	REFERÊNCIAS DA DISSERTAÇÃO	42
9	ANEXOS.....	45

1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E ESTADO DA ARTE

1.1 Tilapicultura

Em 2022, a aquicultura atingiu o patamar de principal produtora de animais aquáticos, representando 51% da produção total, superando pela primeira vez na história a pesca de captura. Esse índice histórico foi alcançado principalmente pela participação da produção do continente asiático, responsável por 91,4% da produção mundial. Dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2024) indicam que a América Latina e o Caribe registraram 4,3 milhões de toneladas, figurando como a segunda maior região produtora de aquicultura do mundo. A aquicultura, que se refere à produção de organismos aquáticos em cativeiro, é uma prática de longa data e tem se estabelecido como uma atividade de destaque no setor primário da economia (Silva et al., 2023).

A criação de tilápia-do-nilo no Brasil tem a maior taxa de crescimento do mundo, sendo que em 2024, o Brasil produziu 662 mil toneladas de peixe, com um aumento de 14,36% em relação ao ano anterior (Peixe BR, 2025). Um dos diversos fatores que motiva o aumento da produção de peixe é a demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis. A tilapicultura exerce um impacto positivo significativo na geração de empregos e na promoção da inclusão social, especialmente em regiões economicamente mais carentes. Essa atividade tem sido alvo de investimentos crescentes, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento das comunidades locais. Além disso, a indústria de tilapicultura assume uma posição de destaque como geradora de divisas para o país, com um aumento notável nas exportações de peixes frescos e processados (O Presente Rural, 2023).

O delicado sabor da tilápia-do-nilo é uma de suas principais características atraentes; porém, o que tem capturado a atenção dos consumidores é sua reduzida quantidade de gordura, em comparação com outras fontes de proteína de origem animal. A tilápia-do-nilo é uma escolha altamente vantajosa quando observamos seus componentes macronutrientes, incluindo proteínas, carboidratos e gorduras (Zampiepi, 2023).

Portanto, a tilápia-do-nilo tem dominado de forma incontestável o mercado de peixes no Brasil. A facilidade na produção, somada à qualidade do produto final, tem garantido a crescente presença da tilápia-do-nilo na produção de alimentos no país. De acordo com a previsão da Associação Brasileira de Piscicultura (Peixe BR, 2025), até 2030 ela deverá representar cerca de 80% da produção nacional. A tilapicultura brasileira se estabeleceu como uma alternativa viável e sustentável no mercado de pescados, proporcionando importantes benefícios econômicos e sociais para produtores e consumidores (Peixe BR, 2025).

Na criação de peixes, a espécie escolhida para otimizar os resultados da produção deve ser tolerante a altas densidades de estocagem, bem como suportar manejos frequentes. Dessa forma, a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) destaca-se por ser um peixe rústico e resistente, apresentar boa conversão alimentar, tolerar altas densidades de estocagem, ter seu pacote tecnológico de cultivo difundido por todo o mundo e apresentar um bom valor comercial. Tem sido o peixe mais utilizado em sistemas de aquaponia, com resultados satisfatórios (Sansury, 2017).

1.2 Sistema de bioflocos

Na piscicultura, diferentes sistemas de produção são utilizados, os quais podem ser classificados como extensivos, semi-intensivos e superintensivos. Nos últimos anos, a busca por maior produtividade, associada à necessidade de práticas mais ambientalmente responsáveis, tem impulsionado o desenvolvimento e a adoção de sistemas de produção sustentáveis. Entre eles, destacam-se os sistemas de cultivo fechados, que visam minimizar os impactos ambientais e otimizar o uso de recursos naturais (Colt et al., 2022).

Nesse contexto, a tecnologia de bioflocos (BFT, do inglês *biosfloc technology*) surgiu como uma estratégia inovadora para promover a sustentabilidade na aquicultura, integrando aspectos econômicos, sociais e ambientais (Yildiz et al., 2017). O BFT baseia-se no desenvolvimento de comunidades microbianas heterotróficas e autotróficas capazes de realizar a ciclagem biológica de nutrientes, substituindo a necessidade de filtros biológicos tradicionais (Bossier; Ekasari, 2017). Esses microrganismos, além de contribuírem para a manutenção da qualidade da água por meio da metabolização de compostos nitrogenados, formam bioflocos que servem como suplemento alimentar rico em proteína para os organismos cultivados, reduzindo a dependência de rações comerciais e a necessidade de renovação constante da água (Martins et al., 2017).

Para o bom funcionamento do BFT, é essencial manter uma relação adequada entre carbono e nitrogênio (C:N), a fim de favorecer o crescimento das comunidades microbianas responsáveis pela ciclagem do nitrogênio. Nesse processo, a amônia excretada pelos peixes é oxidada a nitrito e, posteriormente, a nitrato, tornando-se menos tóxica para os organismos cultivados. Além disso, o monitoramento frequente dos parâmetros físico-químicos da água — como pH, temperatura, oxigênio dissolvido, alcalinidade, amônia, nitrito, sólidos suspensos e salinidade — é indispensável para garantir a estabilidade do sistema e o bem-estar das espécies cultivadas (Azevedo, 2022).

No caso da tilapicultura, o BFT tem se mostrado uma alternativa promissora, com potencial para reduzir a taxa de conversão alimentar, aumentar a produtividade e reforçar a biossegurança do cultivo (Martins, 2017). A tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) adapta-se de forma eficiente ao sistema, devido à sua capacidade de filtrar e consumir bioflocos em suspensão, além de tolerar altas densidades de estocagem e apresentar rápido crescimento. (Day et al., 2016). Jatobá et al. (2019) demonstraram que, na tilapicultura, é possível produzir 1 tonelada de peixes com um consumo de água até 186 vezes menor em comparação com sistemas convencionais, evidenciando o potencial do BFT para o reuso de nutrientes e a redução do consumo hídrico.

1.3 “Flocponics” e Aquaponia em BFT

O desafio de crescer em um mundo de recursos limitados evidencia a necessidade de adotar práticas sustentáveis na produção aquícola. Nesse contexto, a integração entre o cultivo de plantas e a criação de animais aquáticos tem como objetivo otimizar o uso dos nutrientes e da água presentes no sistema, além de evitar a descarga de resíduos, diversificar a produção e garantir segurança alimentar ao consumidor final (Erhardt et al., 2016).

A aquaponia é definida como a integração da produção de organismos aquáticos com o cultivo de plantas sem solo, caracterizando um sistema sustentável que maximiza o aproveitamento dos recursos (Genuncio et al., 2011). Com a intensificação da produção, esse tipo de sistema requer menos espaço em comparação aos métodos tradicionais, proporcionando economia nos custos produtivos, redução do consumo hídrico e tratamento eficiente do efluente aquático, por meio do reaproveitamento dos nutrientes na hidroponia. Assim, a integração de viveiros de peixes com o cultivo vegetal tem apresentado resultados promissores tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

O conceito de ‘FLOCponics’, proposto por Pinho et al. (2021), combina os princípios da aquaponia com a tecnologia de bioflocos (BFT), representando um avanço no cultivo integrado. Esse sistema reduz os impactos ambientais ao reutilizar o excesso de nutrientes do biofloco para o crescimento das plantas hidropônicas. Além de ganhos econômicos, a estratégia traz benefícios ecológicos, pois as plantas contribuem para reter compostos acumulados no sistema, criando um ambiente mais equilibrado e seguro para a produção de peixes.

A integração da aquaponia com a tecnologia de bioflocos tem se mostrado uma abordagem promissora para a aquicultura sustentável. Esse sistema combinado utiliza os bioflocos como fonte de nutrientes para as plantas, contribuindo para a manutenção de baixos

níveis de compostos nitrogenados, como amônia, nitrito e nitrato, graças à absorção contínua pelas raízes das plantas. Além disso, a utilização de bioflocos como suplemento alimentar para os organismos aquáticos reduz a necessidade de rações comerciais, promovendo uma alimentação mais natural e sustentável. Essa integração não apenas melhora a qualidade da água e a eficiência no uso de nutrientes, mas também oferece uma alternativa viável para a produção de alimentos em ambientes urbanos, enfrentando desafios como a escassez de espaço e recursos hídricos limitados (Zhang et al., 2023).

1.4 Bacilos na biorremediação

A intensificação da piscicultura gera um aumento na geração de resíduos orgânicos que podem ser prejudiciais à produção aquícola. A biorremediação é um dos processos mais usados como alternativa para remediar ambientes contaminados, tais como águas superficiais, subterrâneas e sedimentos, incluindo sedimentos com excesso de matéria orgânica, sendo uma alternativa ecologicamente adequada e eficaz no tratamento de ambientes contaminados com moléculas orgânicas de difícil degradação (Jardina et al., 2017).

Esta técnica pode ser compreendida como um processo onde organismos vivos, geralmente plantas ou microrganismos, são utilizados para reduzir ou remover poluentes do ambiente. Os processos biológicos de descontaminação enquadrados na categoria de biorremediação utilizam, majoritariamente, microrganismos, os quais exercem influência na transformação da matéria orgânica. Algumas bactérias têm ação na decomposição de matéria orgânica, como por exemplo as bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* e *Lactobacillus* (Silva et al, 2023). Estes dois gêneros têm sido amplamente pesquisados e incorporados em produtos comerciais, em especial como probióticos, tendo como seus maiores potenciais a melhoria no crescimento, bem como da eficiência alimentar (Soares, 2023).

A decomposição da matéria orgânica ocorre com a quebra de compostos orgânicos particulados solúveis, através de uma grande variedade de enzimas extracelulares (Martins, 2017). Bactérias do gênero *Bacillus* sp. são produtoras de enzimas importantes neste processo. *B. subtilis* e/ou *B. licheniformis* são conhecidas por produzir hidrolases, como as proteases, lipases, amilases, quitinases, celulases e xilanases. Estes compostos, uma vez quebrados em formas menores, têm sua assimilação dentro das células bacterianas mediada, em grande parte, pela condição de aerobiose ou anaerobiose do meio. *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* são aeróbios facultativos, ou seja, podem

degradar matéria orgânica tanto na presença quanto na ausência de oxigênio, embora a via aeróbia apresente maior eficiência energética (Tortora; Funke; Case, 2016; Nelson; Cox, 2014).

A aplicação da biorremediação na aquicultura faz parte das soluções posteriores à geração dos efluentes e se refere ao tratamento do efluente objetivando a retirada de nitrogênio, fósforo e sólidos em suspensão. Uma das formas de biorremediação já descritas é a utilização de tanques de sedimentação ou de alagados artificiais, construídos com macrófitas aquáticas, tendo por vantagem a construção de baixo custo, uma vez que empregam processos naturais na remoção de poluentes (Brito et al., 2018).

Além dos benefícios já observados no sistema BFT, o uso de biorremediadores à base de *Bacillus* tem mostrado impactos expressivos na produtividade vegetal em sistemas integrados. Estudos indicam que a adição de *B. subtilis* e *B. licheniformis* em cultivos combinados de tilápia-do-nilo e alface promoveu aumentos significativos na massa fresca e seca da alface, concomitantemente à melhoria da qualidade da água e ao incremento no aproveitamento de nutrientes (Zhao et al., 2024).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Contribuir com a sustentabilidade na produção de alimentos através do uso de um biorremediador a base de *Bacillus* sp na produção de tilápia-do-nilo em sistema de bioflocos integrada à produção de alface (*Lactuca sativa* var. *capitata*).

2.2 Objetivos específicos

Avaliar o efeito do uso de um biorremediador a base de *Bacillus* sp. nos dados zootécnicos da tilápia-do-nilo cultivada em biofoco em sistema integrado com alface;

Avaliar o efeito do uso de um biorremediador a base de *Bacillus* sp. na saúde da tilápia-do-nilo cultivada em sistema de biofoco;

Avaliar o efeito do uso de um biorremediador a base de *Bacillus* sp. nos dados fitotécnicos da alface cultivada em biofoco em sistema integrado com tilápia-do-nilo;

Avaliar a retenção de nitrogênio, fósforo e carbono do sistema de produção integrado entre tilápias e alface utilizando tecnologia de bioflocos com uso de um biorremediador a base de *Bacillus* sp; e

Buscar compreender a dinâmica dos nutrientes dissolvidos na água do sistema de produção integrada em bioflocos de tilápia-do-nilo e alface.

**Uso de biorremediador no cultivo de alface lisa em sistema integrado com
tilápia-do-nilo em bioflocos**

Este artigo será submetido a revista: Aquaculture
<https://www.editorialmanager.com/aquaculture/default.aspx>

Autores

Gabriely de Paula Moura
Amanda Dartora
Maísa de Lima Lasala
Vanessa Bertoldo Martins
Keren Fagundes de Moraes
Jaqueline Inês Alves de Andrade
Adolfo Jatobá

USO DE BIORREMEDIADOR NO CULTIVO DE ALFACE LISA EM SISTEMA INTEGRADO COM TILÁPIA-DO-NILO EM BIOFLOCOS

Os cultivos integrados constituem uma alternativa promissora para tornar a aquicultura mais ambientalmente sustentável. Esses sistemas podem ser potencializados por meio do uso da biorremediação, a qual atua na redução de compostos nitrogenados e, consequentemente, na melhoria da qualidade da água, além de favorecer a absorção de nutrientes. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho zootécnico de tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e o desempenho fitotécnico de alface lisa (*Lactuca sativa* var. *capitata*) sob a utilização de biorremediadores à base de bacilos em um sistema integrado com bioflocos. Foram utilizadas oito unidades experimentais, cada uma composta por duas caixas circulares com capacidade de 500 e 100 L. Em cada unidade foram alocados 12 juvenis de tilápia-do-nilo, com peso médio inicial de 90,58 g, e 12 mudas de alface lisa, com peso médio inicial de 25,35 g, cultivadas em calhas no sistema NFT (*nutrient film technique*). Ao final do experimento, foram coletados dados para avaliação zootécnica das tilápias-do-nilo e dados fitotécnicos das hortaliças, além da retenção de nutrientes no sistema, incluindo nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C). A qualidade da água foi monitorada ao longo do experimento. O oxigênio dissolvido e a temperatura foram mensurados diariamente, enquanto as concentrações de amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), ortofosfato (PO_4^{3-}), bem como pH, alcalinidade e sólidos suspensos totais (SST), foram avaliadas semanalmente. O experimento teve duração de 27 dias. A inclusão do biorremediador resultou em maior concentração de amônia no sistema experimental ($0,04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) em comparação ao grupo controle ($0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), porém promoveu um aumento de 43,5% na retenção de nitrogênio no sistema. As tilápias-do-nilo do grupo experimental apresentaram melhor conversão alimentar (1,14) em relação ao grupo controle (1,71), bem como maior taxa de crescimento específico (1,05% vs. 0,93%) e maior produtividade ($5,71 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vs. $4,73 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). No desempenho fitotécnico das hortaliças, observou-se diferença estatística em todos os parâmetros avaliados, exceto na biomassa radicular, destacando-se um aumento de 20,64% na biomassa total das plantas no grupo experimental. Conclui-se que a utilização de biorremediadores à base de bacilos em sistemas integrados com bioflocos promoveu melhorias no desempenho zootécnico e fitotécnico, bem como maior retenção de nitrogênio no sistema, nas condições experimentais avaliadas.

Palavras-chave: Aquaponia, Bacilos, Hortaliças.

USE OF BIOREMEDIATOR IN THE CULTIVATION OF SMOOTH LETTUCE IN AN INTEGRATED SYSTEM WITH NILE TILAPIA IN BIOFLOCS.

Abstract: Integrated systems represent an alternative for improving the environmental sustainability of aquaculture. These systems can be enhanced through the use of bioremediation, which reduces nitrogenous compounds and consequently improves water quality, as well as increases nutrient uptake. This study aimed to evaluate the zootechnical performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and the phytotechnical performance of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) under the use of *Bacillus*-based bioremediators in a biofloc system. Eight experimental units were used, each composed of two circular tanks with capacities of 500 and 100 L, in which 12 juvenile Nile tilapia, with an average weight of 90.58 g, and 12 butterhead lettuce seedlings, with an average weight of 25.35 g, were allocated in NFT (*nutrient film technique*) channels. At the end of the experiment, data were collected for the zootechnical evaluation of tilapia and the phytotechnical evaluation of vegetables, as well as for nutrient retention, including nitrogen (N), phosphorus (P), and carbon (C). Water quality was monitored throughout the experiment; dissolved oxygen and temperature were measured daily, while ammonia (NH₃), nitrite (NO₂⁻), nitrate (NO₃⁻), orthophosphate (PO₄³⁻), alkalinity, pH, and total suspended solids (TSS) were evaluated weekly. The experiment lasted 27 days. The addition of the bioremediator resulted in a higher ammonia concentration in the experimental system (0.04 mg·L⁻¹) compared to the control (0.01 mg·L⁻¹); however, nitrogen retention in the system increased by 43.5%. Furthermore, tilapia in the experimental group showed better feed conversion (1.14 vs. 1.71), a higher specific growth rate (1.05% vs. 0.93%), and greater productivity (5.71 vs. 4.73 kg·m⁻³). Regarding the phytotechnical performance of vegetables, statistically significant differences were observed in all evaluated parameters except root biomass, with a 20.64% increase in total biomass in the experimental group. It is concluded that the use of *Bacillus*-based bioremediators in integrated biofloc systems improved zootechnical and phytotechnical performance and increased nitrogen retention under the experimental conditions evaluated.

Keywords: Aquaponics, *Bacillus*, Vegetables.

3 INTRODUÇÃO DO ARTIGO

Em 2022, a aquicultura alcançou um marco histórico ao se consolidar como a principal produtora de animais aquáticos, respondendo por 51% da produção total mundial e superando, pela primeira vez, a pesca de captura. Este crescimento foi impulsionado, sobretudo, pela contribuição do continente asiático, responsável por 91,4% da produção global (FAO, 2024). Na América Latina e Caribe, a produção atingiu 4,3 milhões de toneladas, consolidando a região como a segunda maior produtora de aquicultura no mundo. No Brasil, a produção aquícola apresentou, em 2020, um aumento de 5,9% em relação ao ano anterior, configurando o maior índice de crescimento entre todas as cadeias de proteína animal. Este setor movimenta cerca de R\$ 8 bilhões em receita bruta e gera mais de 1 milhão de empregos diretos no país. Dentre as espécies cultivadas, a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) destaca-se por sua importância econômica e crescente demanda no mercado global, seja em virtude da busca por uma alimentação mais saudável ou como alternativa de proteína animal (Peixe BR, 2025)

Visando atender a esta demanda de forma sustentável, a tecnologia de bioflocos (BFT, do inglês *biofloc technology*) surge como uma alternativa promissora, promovendo ganhos econômicos, sociais e ambientais (Yildiz et al., 2017). O BFT caracteriza-se pela formação de comunidades microbianas heterotróficas e autotróficas que realizam a ciclagem biológica de nutrientes, permitindo a manutenção da qualidade da água, a redução da renovação hídrica e o fornecimento de bioflocos como suplemento alimentar para os peixes (Martins et al., 2017).

Uma evolução deste conceito é o sistema FLOCponics, que integra os princípios do BFT à aquaponia. Este sistema reutiliza o excesso de nutrientes provenientes do biofloco para nutrir plantas cultivadas em hidroponia, reduzindo o impacto ambiental e aumentando a eficiência produtiva (Pinho et al., 2021).

As hortaliças, como a alface (*Lactuca sativa*), desempenham papel essencial na retenção de compostos acumulados no biofloco, tornando o sistema mais seguro para os peixes (Martins et al., 2017). De forma análoga, a aquicultura multitrófica integrada (IMTA) busca recriar as relações tróficas naturais, aproveitando resíduos de organismos de nível trófico superior como recurso para níveis inferiores, o que promove o reaproveitamento de nutrientes e a geração de biomassa adicional com valor comercial (Soares, 2023). E as tilápias-do-nilo adaptam-se bem a este sistema devido à sua capacidade de filtrar os bioflocos em suspensão e ao bom desempenho sob altas densidades de estocagem (Day et al., 2016).

Além disso, estima-se que o BFT possibilite a produção de 1 tonelada de peixes utilizando até 186 vezes menos água em comparação a sistemas convencionais (Jatobá et al., 2019).

Para potencializar ainda mais o desempenho dos sistemas integrados de produção aquícola e vegetal, destaca-se o uso de biorremediadores, uma técnica baseada na aplicação de organismos vivos, especialmente microrganismos, para reduzir ou remover poluentes do ambiente. Entre os microrganismos mais utilizados, as bactérias do gênero *Bacillus* têm demonstrado resultados promissores devido à sua capacidade de decompor matéria orgânica e melhorar os parâmetros de qualidade da água, contribuindo para a eficiência do sistema (Soares, 2023).

Estudos recentes mostram que a inoculação de *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* em sistemas integrados tilápia-do-nilo e alface promoveu aumentos significativos na massa fresca e seca da alface, além de melhorar a disponibilidade de nutrientes como nitrato e fósforo na água (Silva et al., 2023). De forma semelhante, o uso de *Bacillus mojavensis* elevou em até 82,9% o número de folhas de alface e incrementou o teor de vitamina C, evidenciando o potencial desses microrganismos como aliados na otimização da produção vegetal e na manutenção da estabilidade ambiental dos sistemas (Zhao et al., 2024). Além disso, esses biorremediadores contribuem para reduzir compostos nitrogenados tóxicos e matéria orgânica excessiva, beneficiando tanto o crescimento vegetal quanto a saúde dos peixes cultivados (Soares, 2023).

Assim, o objetivo deste trabalho é contribuir com a sustentabilidade na produção de alimentos por meio da utilização de um biorremediador à base de *Bacillus* sp. na criação de tilápia-do-nilo em sistema de bioflocos integrado à produção de alface (*Lactuca sativa* var. *capitata*).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Aquicultura do Instituto Federal Catarinense, campus Araquari -SC (latitude 26°22'12" sul e a uma longitude 48°43'20" oeste) entre os meses de maio e junho de 2024, tendo duração de 27 dias. A utilização de animal para a execução do mesmo foi aprovada pela Comissão de ética no uso de animais (CEUA) do Instituto Federal Catarinense – campus Araquari (IFC – Araquari), sob número de protocolo 372/2021.

4.1 Material Biológico

Para execução do experimento utilizou-se tilápias-do-nilo, provenientes do Instituto Federal Catarinense, campus Araquari. O peso médio inicial dos animais foi de 90,58g e foram distribuídos 12 peixes por unidade experimental.

Nas calhas de NFT (do inglês, *Nutrient Film Technique*) foram alocadas 12 mudas de hortaliças (*Lactuca sativa* var. *capitata*) por sistema, totalizando 96 mudas, elas foram sustentadas por uma base de espuma fenólica e apresentavam peso médio de $25,3 \pm 0,5$ g.

4.2 Biofloco

Para a fertilização das unidades experimentais foi utilizado biofloco maduro. Foi mantida a temperatura constante.

A fertilização das unidades experimentais foi realizada com a transferência de 100 L deste biofloco matriz (inóculo), caracterizado por água rica em sólidos suspensos, microrganismos heterotróficos e matéria orgânica particulada, para as unidades experimentais e as caixas foram completadas com 220 L de água clara. Após esse processo ocorreu o povoamento dos peixes.

4.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi completamente casualizado, dividido em dois grupos (controle e biorremediador), em quadruplicata, totalizando 8 unidades experimentais alocadas em uma estufa de lona agrícola.

4.4 Unidades experimentais

Figura 1 – Registro fotográfico das unidades experimentais de cultivo integrado de tilápias-do-nilo e hortaliças.



Fonte: (arquivo pessoal). Unidades experimentais de cultivo integrado em estufa fechada

Utilizaram-se caixas circulares com capacidade de 500 L para o cultivo de tilápias-do-nilo. Por meio de uma bomba submersa (Sarlobetter, modelo SB1000C, com vazão de 400 a 1000 L·h⁻¹), a água era transportada até uma caixa “pulmão” com capacidade de 100 L, a partir da qual escoava por gravimetria para as calhas do sistema NFT, com inclinação de 7°, nas quais foram cultivadas as mudas de alface lisa.

Com o intuito de garantir condições adequadas para o desenvolvimento dos animais, foram utilizados aquecedores de 500 W nas caixas de maior volume, programados para manter a temperatura constante.

4.5 Manejo experimental

Os peixes foram alimentados três vezes ao dia (08:00, 11:00 e 16:00 h), com uma taxa de arraçoamento correspondente a 2,8% da biomassa total dos peixes, utilizando ração comercial (Presence – NUTRIPISCIS IMMUNITY, pellet de 3–4 mm). Os níveis de garantia

da ração foram: proteína bruta mínima de 36%, extrato etéreo mínimo de 6%, matéria mineral máxima de $1,4 \times 10^5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, fibra bruta máxima de 5,0%, cálcio mínimo de $1,0 \times 10^4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, cálcio máximo de $2,0 \times 10^4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, vitamina C mínima de $700 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, vitamina E mínima de $0,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, além da presença de betaglucanas e mananoligossacarídeos. O manejo alimentar seguiu as recomendações de Silva e Marchiori (2016), sendo a quantidade de ração reajustada semanalmente, com incremento de 10%, conforme o crescimento dos animais.

O bicarbonato de sódio foi adicionado três vezes por semana, em quantidade equivalente a 10% da ração diária, com o objetivo de manter a alcalinidade das unidades experimentais e assegurar o efeito tampão do sistema.

Devido à perda de volume de água por evaporação, a reposição hídrica foi realizada duas vezes por semana, visando manter o nível operacional do sistema. Da mesma forma, duas vezes por semana foi realizada a lavagem das raízes das hortaliças para remoção do excesso de biofoco acumulado, bem como a limpeza das caixas pulmão.

4.6 Qualidade de água

Diariamente, a temperatura e o oxigênio dissolvido foram monitorados utilizando um oxímetro multiparâmetro (YSI Pro 20), assim como o volume de sólidos sedimentáveis, determinado por meio do cone de Imhoff. Semanalmente, foram realizadas análises de alcalinidade, pH (pHmetro Mylabor PA 210A), amônia total (TAN), amônia não ionizada (NH_3), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), ortofosfato (PO_4^{3-}), utilizando fotocolorímetro AT-100P (Alfakit®, Florianópolis, SC, Brasil), e sólidos suspensos totais (SST), conforme os métodos descritos por APHA (2017).

4.7 Dados Fitotécnicos

A produtividade da hortaliça, foi avaliada por meio da análise da sobrevivência, crescimento, biomassa total e número de folhas. Sendo que para a obtenção número de folhas foi realizada a contagem individual, bem como a pesagem individual de cada muda cultivada.

Os dados de sobrevivência e crescimento foram calculados conforme as fórmulas descritas a seguir:

$$\text{Sobrevivência}(\%) = \left[\frac{(\text{População inicial} - \text{População final})}{\text{População inicial}} \right] \times 100$$

$$\text{Crescimento} = [\text{Média comprimento final} - \text{Média comprimento inicial}]$$

4.8 Dados Zootécnicos

Para a obtenção dos dados de desempenho zootécnico (conversão alimentar, sobrevivência, taxa de crescimento específico, produtividade, crescimento semanal e peso médio final) foram utilizadas as fórmulas descritas abaixo:

$$\text{Conversão alimentar} = \left[\frac{(\text{Biomassa inicial} - \text{Biomassa final})}{\text{Ração ofertada}} \right]$$

$$\text{Sobrevivência}(\%) = \left[\frac{(\text{População inicial} - \text{População final})}{\text{População inicial}} \right] \times 100$$

$$TCE(\%. \text{ dia}^{-1}) = \left[\frac{(\text{Log(peso final)} - \text{Log(peso inicial)})}{\text{dias decultivo}} \right] \times 100$$

$$\text{Produtividade (kg.m}^{-3}) = \left[\frac{(\text{Biomassa final} - \text{Biomassa inicial})}{\text{volume da unidade experimental}} \right]$$

$$\text{Crescimento semanal (g.semana}^{-1}) = \left[\frac{(\text{Média final} - \text{Média inicial})}{\text{Semanas decultivo}} \right]$$

$$\text{Peso médio final} = \left[\frac{(\text{Média do peso final} - \text{Média peso inicial})}{\text{Número de peixes}} \right]$$

4.9 Dados de retenção de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) e Carbono (C)

Os teores de nitrogênio e fósforo (AOAC, 2005) da ração e das amostras iniciais e finais dos peixes foram analisados para a determinação da retenção desses nutrientes.

$$\text{Retenção (\%)} = \left[\frac{(\text{Concentração final} - \text{Concentração inicial})}{\text{Quantidade de nutriente ofertado}} \right]$$

Para a análise da retenção de nitrogênio, fósforo e carbono, foram coletadas, no momento do povoamento das unidades experimentais, 0,10 kg de amostras de alevinos de tilápia-do-nilo e 0,05 kg de amostras de cada espécie de hortaliça. Ao final do experimento, as mesmas massas foram novamente coletadas em cada unidade experimental e

encaminhadas para análises laboratoriais na empresa Biohall Pesquisa e Inovação, localizada em Itajaí, Santa Catarina, Brasil. As amostras de tilápia-do-nilo foram mantidas congeladas, enquanto as amostras vegetais foram mantidas refrigeradas a 5 °C, até a realização das análises laboratoriais.

O carbono orgânico foi determinado por oxidação química da matéria orgânica com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido, catalisada pelo calor do ácido sulfúrico (H_2SO_4). A quantificação foi realizada de forma indireta, com base na diferença entre o dicromato adicionado inicialmente e o dicromato residual após a reação, refletindo a quantidade de carbono oxidado.

O teor de nitrogênio total (N) foi determinado pelo método de Kjeldahl. Uma quantidade conhecida de amostra foi submetida à digestão com ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) e catalisadores apropriados, promovendo a conversão do nitrogênio orgânico em amônio (NH_4^+). Após a digestão, o extrato foi neutralizado com uma base forte (NaOH), liberando amônia (NH_3), a qual foi destilada e coletada em solução ácida padrão. A quantificação do nitrogênio foi realizada por titulação da amônia destilada, permitindo a determinação do teor total de N presente na amostra.

O fósforo disponível foi determinado por meio da formação do complexo fosfomolíbdico azul, após redução com ácido ascórbico, e quantificado por espectrofotometria. O método baseia-se na dissolução de minerais fosfatados e no deslocamento do fósforo adsorvido em superfícies sólidas por ânions competidores, representando a fração do fósforo total disponível aos organismos.

4.10 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de KOLMOGOROV-SMIRNOV para avaliar se a distribuição de dados está dentro da curva de normalidade, e ao teste de LEVENNE para verificar sua homocedasticidade. Os dados obtidos zootécnicos, fitotécnico, retenção de nutrientes e qualidade de água atenderam aos pré-requisitos de normalidade e homocedasticidade, e então foram submetidos ao teste “t” de separação de médias. Para todas as avaliações foi utilizada 5% de significância como descrito por Zar (2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados de qualidade de água

Tabela 1 – Dados de qualidade (média ± desvio padrão) de água de biofloco de cultivo integrado das tilápias-do-nilo e hortaliças com e sem biorremediador.

Parâmetros	Controle	Biorremediador	Significância
Temperatura (°C)	24,48 ± 0,22	24,53 ± 0,40	0,822
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,34 ± 0,07	7,20 ± 0,15	0,139
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	182,25 ± 10,48	174,38 ± 10,52	0,330
TAN (mg.L ⁻¹)	0,29 ± 0,6	0,48 ± 0,24	0,169
NH ₃ (mg.L ⁻¹)	0,01 ± 0,01	0,04 ± 0,02*	0,015
NO ₂ (mg.L ⁻¹)	2,99 ± 1,52	4,90 ± 2,78	0,272
NO ₃ (mg.L ⁻¹)	974,28 ± 107,59	1248,52 ± 906,02	0,570
Ortofosfato (mg.L ⁻¹)	13,76 ± 0,35	15,40 ± 0,23	0,196
pH	8,02 ± 0,06	8,00 ± 0,09	0,738
TSS (mg.L ⁻¹)	149,55 ± 29,07	196,25 ± 109,89	0,443
Volume sólidos sedimentáveis (mL)	10,87 ± 2,73	10,64 ± 2,73	0,909

Asteriscos indicam diferença estatística ($p>0,05$) no teste t. Total de Amônia (TAN). Amônia (NH₃). Nitrogênio (NO₂). Nitrato (NO₃). Sólidos suspensos totais (TSS).

Durante o experimento, todos os parâmetros de qualidade de água mantiveram-se dentro das faixas recomendadas para o cultivo de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e não diferiram entre os grupos experimental e controle, exceto pela diferença estatística observada na concentração de amônia entre os grupos. A literatura estabelece que a espécie apresenta bom desempenho zootécnico quando mantida em temperaturas entre 25 e 30 °C, oxigênio dissolvido acima de 5 mg.L⁻¹, pH entre 6,5 e 8,5, nitrito inferior a 0,2 mg.L⁻¹ e nitrato abaixo de 50 mg.L⁻¹ (De Heus, 2022; Gurumuda, 2023). No presente estudo, a temperatura manteve-se estável ao longo do período experimental e adequada para o cultivo simultâneo de tilápias-do-nilo e hortaliças, não havendo diferenças significativas entre os grupos.

O pH também não apresentou variação estatística entre os tratamentos, exceto na primeira semana (Figura 1C). Contudo, os valores observados ($\text{pH} \geq 8,0$) ficaram acima da faixa ideal para o cultivo de hortaliças, que preferem ambientes levemente ácidos (Jordan, 2022). Ainda assim, os níveis registrados não comprometeram visivelmente o desenvolvimento das plantas. Os demais parâmetros físico-químicos monitorados, como oxigênio dissolvido, nitrato e alcalinidade, permaneceram estáveis e não diferiram

significativamente entre os grupos (Tabela 1), demonstrando a eficiência do sistema em manter condições ambientais adequadas ao longo do experimento.

Apesar da maioria dos parâmetros de qualidade de água manterem-se dentro dos valores considerados adequados para a criação de tilápia-do-nilo observou-se um aumento nos níveis de ortofosfato e de sólidos suspensos totais (SST) no tratamento com biorremediador. O acúmulo de ortofosfato (PO_4^{3-}) pode estar associado ao aporte excessivo de fósforo proveniente da ração, considerando que a tilápia-do-nilo excreta grande parte do fósforo ingerido. Além disso, a eficiência de absorção desse nutriente por plantas ou microrganismos pode ter sido limitada, especialmente em fases iniciais de crescimento vegetal ou em condições de desequilíbrio microbiológico (Zhou et al., 2018). Já o aumento nos SST pode estar relacionado à própria dinâmica do sistema biofloco, caracterizado pela elevada concentração de matéria orgânica particulada, incluindo fezes, restos de ração e agregados microbianos. Embora os biorremediadores atuem na decomposição desses compostos, sua ação não implica na redução física dos sólidos, podendo inclusive aumentar temporariamente a turbidez em função da fragmentação de partículas maiores (Crab et al., 2007). Tais alterações, embora esperadas em sistemas intensivos, reforçam a necessidade de estratégias de manejo adequadas para o controle da carga orgânica e do fósforo solúvel.

Entre os parâmetros de qualidade de água analisados, observou-se diferença estatística ($p < 0,05$) na concentração de amônia entre os grupos, com o grupo controle apresentando média de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ e o grupo experimental $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 1). Além, da diferença significativa, ambos os valores permaneceram fora da faixa recomendada para a criação de tilápia-do-nilo, estando abaixo do limite de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ para amônia total e próximos do valor ideal de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ para a fração tóxica (amônia não ionizada – NH_3) (Diprotec, 2021; El-Sayed, 2006). A amônia, quando fora da faixa aceitável em sistemas bioflocos (BFT), pode comprometer o desempenho zootécnico dos peixes (Martins, 2017). No presente estudo, a presença da alface (*Lactuca sativa* var. *capitata*) integrada ao sistema NFT demonstrou capacidade de reduzir os níveis de nitrogênio amoniacal total (TAN) e NH_3 . Esse efeito, potencializado pela ação do biorremediador à base de *Bacillus*, sugere que a associação entre vegetal e microrganismos pode ser uma ferramenta promissora no controle de compostos nitrogenados em sistemas aquapônicos com BFT.

Além disso, observou-se que a concentração de nitrito apresentou um pico pontual na segunda semana do experimento, mantendo-se em níveis reduzidos nas semanas subsequentes. O nitrito é um produto intermediário da nitrificação, processo no qual a amônia é inicialmente oxidada a nitrito e, posteriormente, convertida em nitrato por bactérias

nitrificantes (Almawatech, 2023). Assim, é possível que esse aumento temporário esteja associado à elevação da concentração de TAN registrada nessa mesma semana, refletindo o ajuste microbiano do sistema à carga nitrogenada. A rápida estabilização do nitrito ao longo do tempo demonstra a eficiência do processo de nitrificação e reforça o equilíbrio microbiano estabelecido nas unidades experimentais.

Ao longo das semanas de monitoramento da qualidade da água, foram observadas diferenças estatísticas pontuais em alguns parâmetros entre os tratamentos. Especificamente, houve diferença significativa na alcalinidade na última semana, no pH na primeira semana, nos teores de nitrato na segunda e terceira semanas, bem como nos sólidos suspensos totais e na concentração de flocos na terceira semana. No entanto, essas variações foram transitórias e não se mantiveram até o final do experimento, momento em que os valores desses parâmetros não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Ademais, essas flutuações semanais não comprometeram o equilíbrio do sistema nem resultaram em efeitos adversos sobre o desempenho zootécnico dos peixes ou a produtividade das hortaliças, indicando que o sistema se manteve funcional e dentro de condições adequadas para o cultivo de tilápia-do-nilo e alface.

Figura 2 – Variação semanal de TAN (A), Alcalinidade (B) e pH (C) da água de biofloco ao longo do experimento de cultivo integrado das tilápias-do-nilo e hortaliças, com e sem biorremediador.

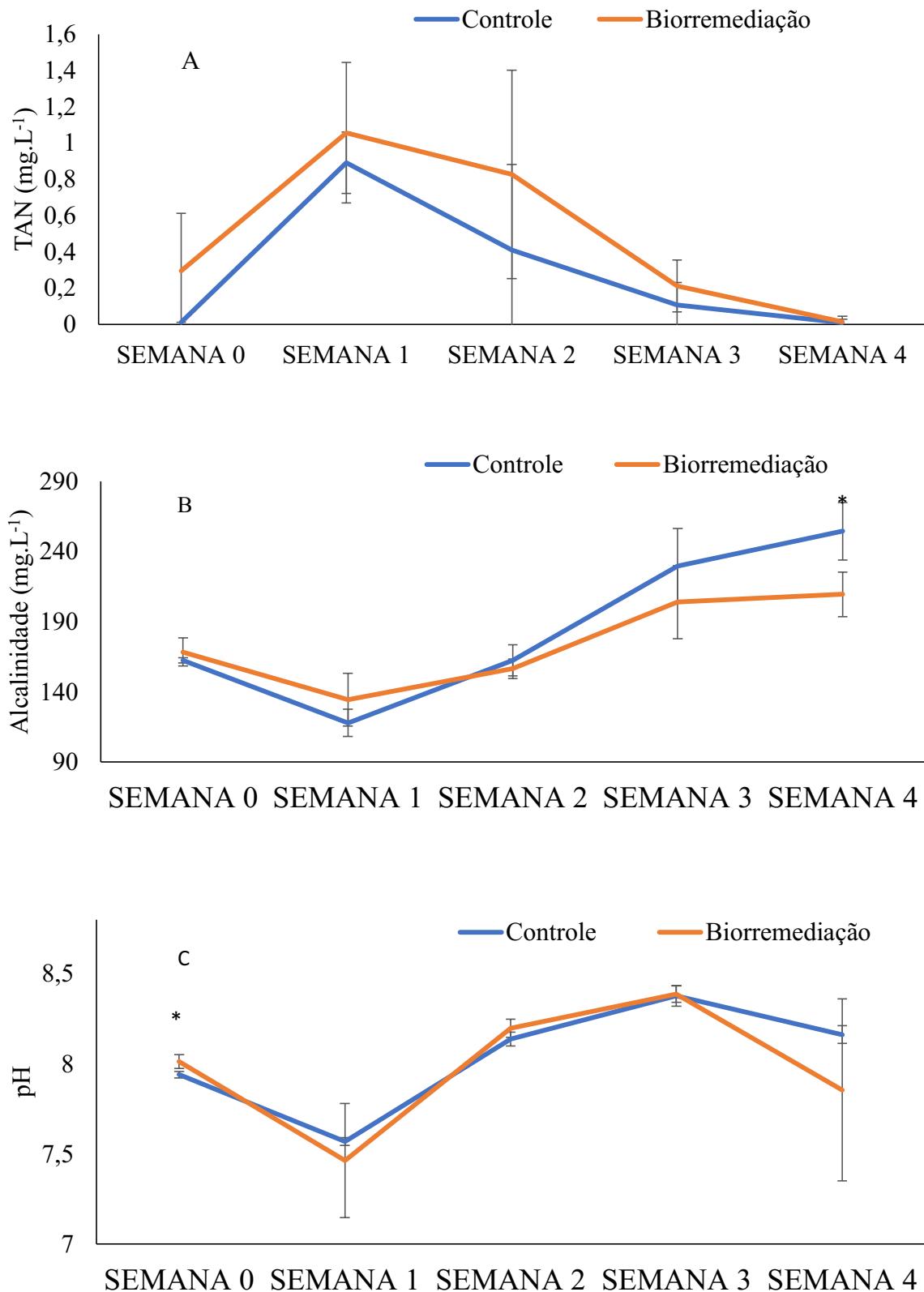


Figura 3 – Variação semanal de NH₃ (A), Nitrito (B) e Nitrato (C) da água de biofloco ao longo do experimento de cultivo integrado das tilápias-do-nilo e hortaliças, com e sem biorremediador.

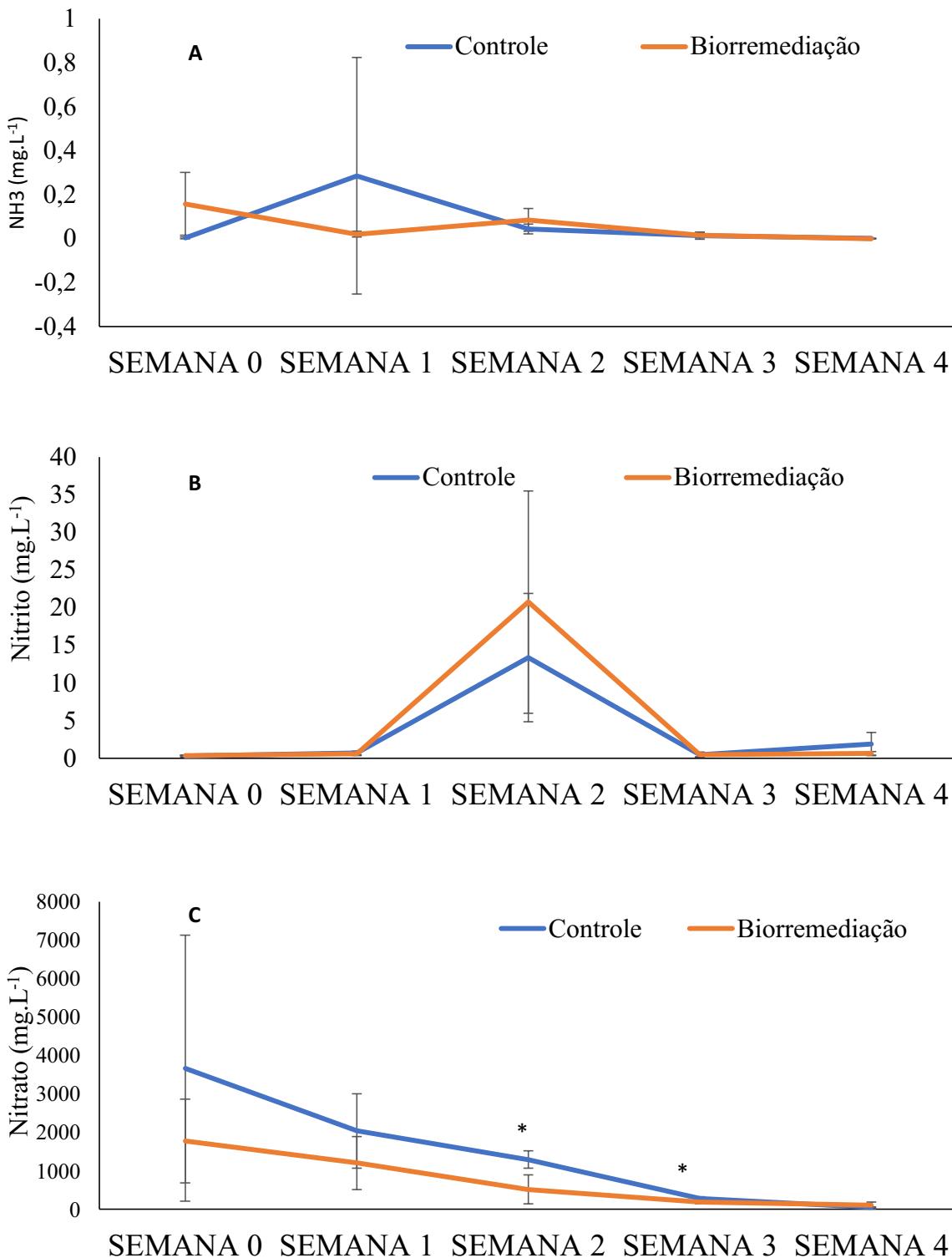
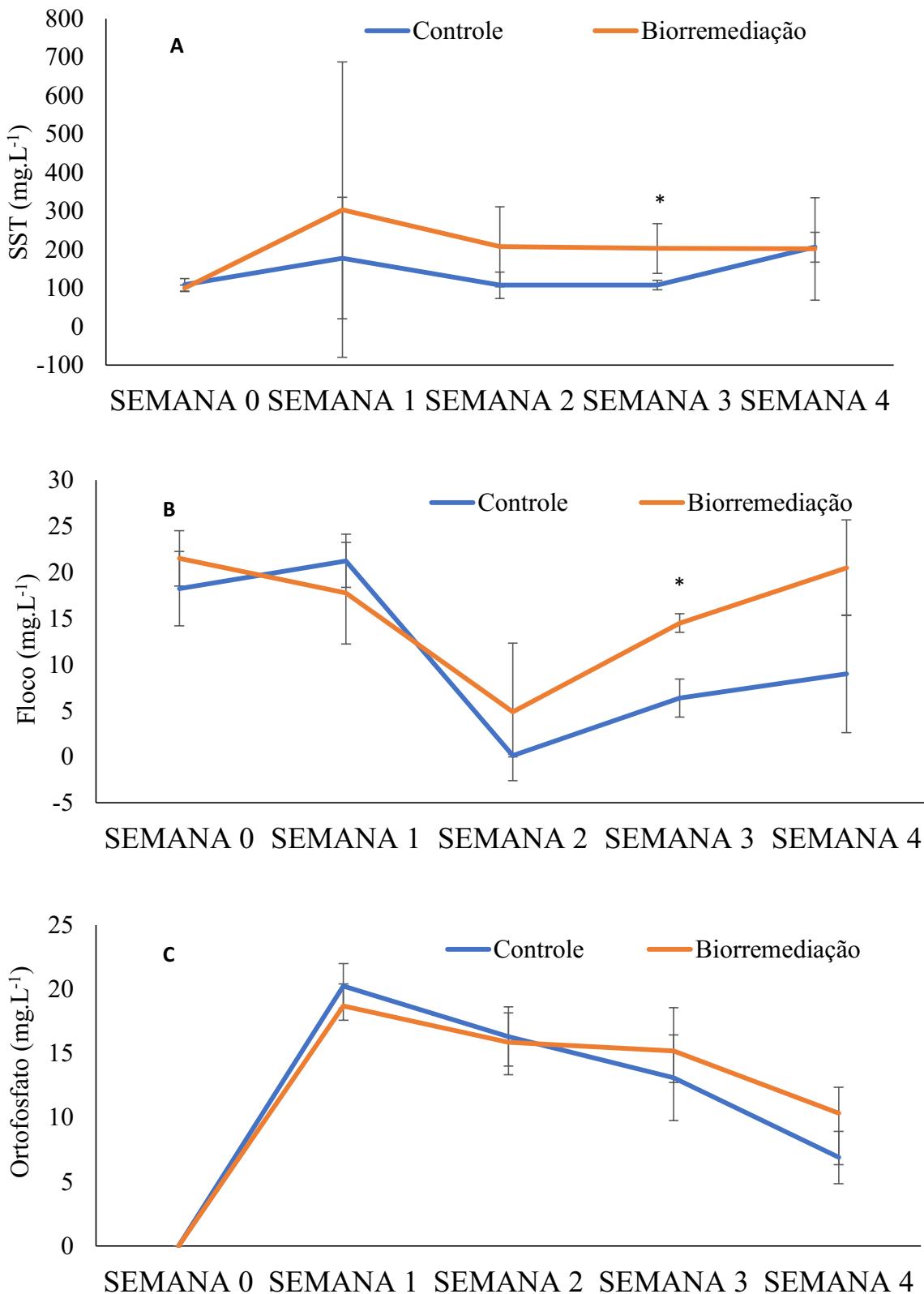


Figura 4 - Variação semanal de Sólidos suspensos totais (A), Volume de Floco (B) e Ortofósforo (C) da água de biofloco ao longo do experimento de cultivo integrado das tilápias-do-nilo e hortaliças, com e sem biorremediador.



5.2 Dados de retenção de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Carbono (C)

No presente estudo, a avaliação da retenção de nutrientes no sistema aquapônico revelou que, entre os elementos analisados, nitrogênio, carbono e fósforo, apenas o nitrogênio apresentou diferença estatisticamente significativa entre o grupo tratado com biorremediador e o controle, demonstrando que o sistema integrado de cultivo com uso de biorremediador favoreceu a ciclagem e o aproveitamento interno de nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C).

A maior retenção desses nutrientes na presença do biorremediador indica que o insumo contribuiu para aumentar a eficiência biogeoquímica do sistema. Em particular, o aumento da retenção de N e P pode estar associado a três mecanismos principais: maior incorporação pelos microrganismos presentes no biofoco, maior incorporação pelas plantas e maior eficiência metabólica da comunidade microbiana ativa. Entre essas possibilidades, a teoria mais plausível para explicar o aumento da retenção observada no presente estudo é a maior eficiência microbiana, seguida pela maior incorporação no biofoco, já que os biofocos representam um sumidouro natural de nutrientes dissolvidos e particulados, transformando-os em biomassa microbiana que pode ser gradualmente mineralizada ou consumida pelos peixes. Esse entendimento é coerente com a literatura, que destaca o papel central da microbiota na captura de N e P e na estabilização desses nutrientes dentro do sistema.

Os resultados obtidos também indicam que o biorremediador potencializou a formação e atividade dos biofocos, possivelmente aumentando a taxa de assimilação de compostos nitrogenados reduzidos e fosfatados, que passam a ser incorporados à biomassa microbiana antes que possam ser perdidos por vias como excreção ou mineralização excessiva. Dessa forma, o aumento da retenção registrado está em concordância com a perspectiva ecológica dos sistemas BFT, nos quais a microbiota atua como principal componente de reciclagem interna de nutrientes. Quando comparados com outros estudos, os valores absolutos de retenção de N e P observados no presente experimento demonstram coerência com a literatura sobre biofocos e sistemas integrados. Por exemplo, em um sistema BFT com tilápia-do-nilo, a retenção de nitrogênio (TN) reportada foi de 45,38%, enquanto a retenção de fósforo (TP) atingiu 46,34% na biomassa dos peixes, valores característicos de sistemas com alta reciclagem microbiana (Blatt et al., 2025). Além disso, estudo conduzido por Tarigan et al. avaliando a dinâmica de nitrogênio, fósforo e carbono em sistemas de biofocos demonstrou que a retenção desses nutrientes varia conforme a dieta e a composição do foco microbiano, mas tende a permanecer dentro de faixas semelhantes às encontradas no

presente trabalho (Tarigan et al., 2024). Esses resultados reforçam que os percentuais observados são consistentes com o desempenho esperado em cultivos intensivos baseados em bioflocos.

Em sistemas integrados com hortaliças, os valores podem diferir, já que parte dos nutrientes é desviada para crescimento vegetal. No estudo de Mêlo (2024), que avaliou tilápias-do-nilo cultivadas com alface em sistema aquapônico associado ao biofloco, as taxas de retenção variaram conforme o balanço entre absorção pelas plantas e eficiência de captura pelos micro-organismos, evidenciando que sistemas integrados podem apresentar valores ligeiramente superiores ou inferiores dependendo do design e da densidade de cultivo. Além disso, dados técnicos divulgados em âmbito nacional relatam retenções de 45,4% de nitrogênio e 46,3% de fósforo em tilápias-do-nilo mantidas em bioflocos, reforçando que os valores observados no presente trabalho são consistentes com sistemas reais de produção.

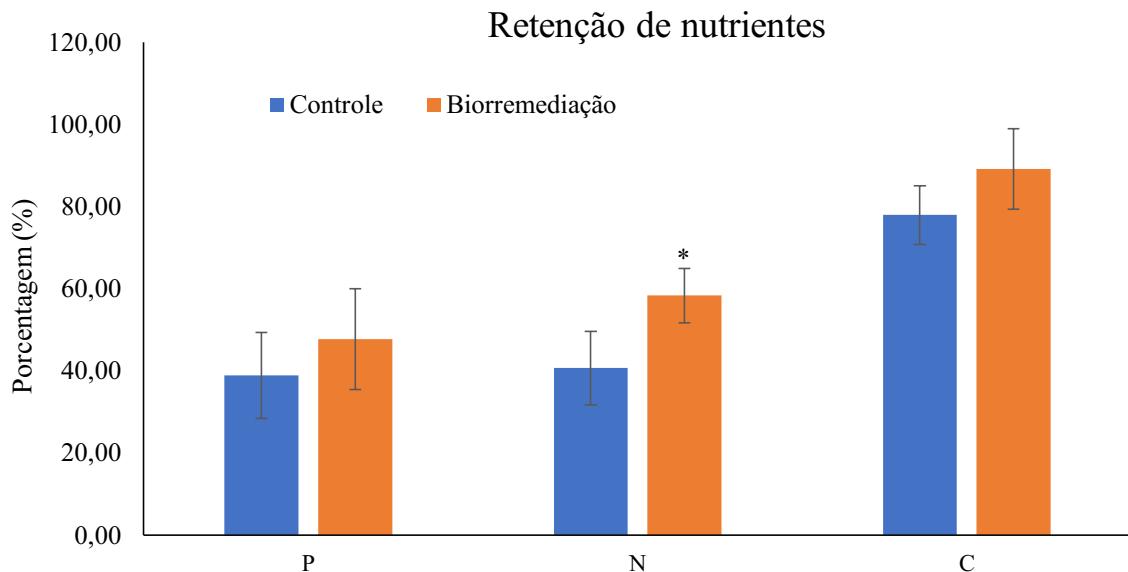
Além desses aspectos, a dinâmica dos compostos nitrogenados no sistema indicou que houve efeito positivo do biorremediador sobre o ciclo do nitrogênio. A manutenção de concentrações mais estáveis de amônia, nitrito e nitrato no grupo tratado sugere maior eficiência da comunidade microbiana responsável pela nitrificação e assimilação do N. A presença de *Bacillus spp.* pode ter contribuído para acelerar a conversão de amônia em nitrito e posteriormente em nitrato, ao mesmo tempo em que favoreceu a assimilação desses compostos por bioflocos e plantas. Esse conjunto de processos reduz picos de compostos tóxicos e melhora a disponibilidade de nitrogênio assimilável dentro do sistema, reforçando a interpretação de que o biorremediador intensificou os mecanismos de ciclagem e estabilização do N no ambiente aquapônico.

As hortaliças desempenham papel central no reequilíbrio de sistemas aquapônicos e integrados, atuando como o principal sumidouro agrícola de nitrogênio e fósforo liberados pela criação de peixes. A absorção radicular de formas inorgânicas de N (especialmente nitrato) e de P reduz a concentração de nutrientes na coluna d'água, contribuindo diretamente para a melhoria da qualidade da água e para a prevenção de picos tóxicos. Além disso, o sistema radicular e a rizosfera favorecem a retenção física de sólidos e proporcionam um substrato biológico que sustenta comunidades microbianas benéficas responsáveis pela mineralização e pela transformação de compostos orgânicos e inorgânicos. Em consequência, as plantas não só aproveitam os nutrientes para produzir biomassa comercializável, como também funcionam como um componente de biofiltragem essencial, garantindo maior estabilidade química (pH, amônia/nitrito) e maior circularidade de nutrientes no sistema integrado (Goddek et al., 2019; Lennard, 2023; Sreejariya et al., 2020).

Além disso, quando comparados a estudos específicos que avaliaram a retenção de nutrientes em sistemas de bioflocos e cultivos integrados com tilápias-do-nilo, os valores obtidos no presente experimento demonstram forte coerência com a literatura recente. Em um estudo conduzido por Blatt et al. (2025), a retenção de nitrogênio por tilápias-do-nilo mantidas em BFT variou entre 44% e 54%, enquanto a retenção de fósforo situou-se entre 30% e 33%, percentuais muito próximos aos registrados no sistema aqui avaliado. De forma semelhante, Tarigan et al. (2024) observaram que a eficiência de retenção de N e P em sistemas de bioflocos depende do aporte alimentar, da qualidade do floco microbiano e da taxa de incorporação metabólica, destacando que valores entre 40% e 50% de retenção de nitrogênio são típicos em cultivos bem manejados. Assim, os resultados obtidos no presente estudo não apenas se alinham aos intervalos reportados em sistemas BFT clássicos, como também reforçam que a integração com hortaliças e o uso do biorremediador contribuíram para uma eficiência de retenção comparável ou superior aos valores descritos para cultivos intensivos de tilápia-do-nilo em escala experimental e comercial (Blatt et al., 2025; Tarigan et al., 2024).

Dessa forma, ao contextualizar os resultados dentro da literatura disponível, observa-se que a eficiência de retenção observada no tratamento com biorremediador representa uma melhoria importante na ciclagem interna de nutrientes e encontra suporte robusto em estudos prévios, fortalecendo a interpretação de que o insumo aprimorou os processos microbianos e ecológicos envolvidos na dinâmica de N, P e C no sistema integrado.

Figura 5 – Retenção de nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C) no sistema, ao longo do experimento de cultivo integrado das tilápias-do-nilo e hortaliças, com e sem biorremediador



5.3 Produção do sistema

Tabela 2 – Dados de produção do sistema (média ± desvio padrão) das tilápias-do-nilo e alface cultivadas em sistema de biofloco *indicam diferenças significativas no teste-t

Parâmetros	Controle	Biorremediador	Significância
Tilápia-do-nilo			
Peso final (kg)	0,17 ± 0,01	0,18 ± 0,01*	0,025
Sobrevivência (%)	93,37 ± 4,43	97,92 ± 4,17	0,186
Conversão Alimentar	1,71 ± 0,30*	1,14 ± 0,22*	0,022
TCE (%·dia ⁻¹)	0,93 ± 0,07	1,05 ± 0,04*	0,024
Produtividade (kg·m ⁻³)	4,73 ± 0,42	5,71 ± 0,45*	0,019
Alface			
Biomassa total (kg)	0,70 ± 0,01	0,85 ± 0,07*	0,026
Biomassa da raiz (kg)	0,29 ± 0,02	0,32 ± 0,04	0,250
Número de folhas (un)	23,50 ± 0,08	21,88 ± 1,13*	< 0,001
Biomassa foliar (kg)	0,41 ± 0,02	0,52 ± 0,03*	0,008
Altura foliar (cm)	24,30 ± 0,05	21,88 ± 0,13*	< 0,001
Clorofila (mg·cm ⁻²)	14,06 ± 0,96	16,45 ± 1,00*	0,040
Alface + Tilápia-do-nilo			
Produtividade (kg·m ⁻³)	5,26 ± 0,56	6,14 ± 0,23*	0,026

TCE = taxa de crescimento específico.

No presente estudo, observou-se que a inclusão do biorremediador influenciou positivamente a produtividade do sistema aquapônico integrado. A produtividade total do sistema (alface + tilápia-do-nilo) foi significativamente maior no grupo tratado com biorremediador, atingindo $6,14 \pm 0,23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, em comparação aos $5,26 \pm 0,56 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ observados no grupo controle ($p = 0,0268$). Esse aumento é reflexo da melhora simultânea no desempenho zootécnico das tilápias-do-nilo e no crescimento das alfaces. Especificamente na produção aquícola, o grupo experimental apresentou maior produtividade de tilápias-do-nilo ($5,71 \pm 0,45 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) em relação ao controle ($4,73 \pm 0,42 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), com diferença estatisticamente significativa ($p = 0,019$). Esses resultados sugerem que o uso do biorremediador contribuiu para o aprimoramento das condições do ambiente de cultivo, refletindo em ganhos produtivos importantes para o sistema integrado.

A suplementação de probióticos no cultivo de tilápias-do-nilo e hortaliças em sistemas integrados tem sido amplamente associada a melhorias no desempenho zootécnico, eficiência metabólica e estabilidade ecológica dos sistemas de produção. No presente estudo, a adição do biorremediador à base de *Bacillus* spp. resultou em aumento significativo da produtividade vegetal e melhor desempenho das tilápias-do-nilo, sugerindo que houve otimização tanto da ciclagem de nutrientes quanto do equilíbrio microbiológico. Esses efeitos são compatíveis com achados em sistemas BFT, nos quais suplementos contendo *Bacillus* combinados com enzimas aumentaram o ganho de peso das tilápias-do-nilo, a eficiência digestiva e a integridade intestinal (Asha et al., 2024).

Além disso, microrganismos probióticos desempenham papel importante na modulação da microbiota e na inibição de patógenos oportunistas, favorecendo a saúde geral do sistema. Cepas como *Lactobacillus lactis* apresentam ação antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, contribuindo para a estabilidade ecológica e para o aumento da produtividade (Linh et al., 2018). Esse tipo de modulação microbiana é fundamental em sistemas integrados onde a interação entre água, bioflocos e rizosfera é intensa.

Em sistemas aquapônicos e de bioflocos, *Bacillus* spp. também são essenciais para a mineralização da matéria orgânica e para a conversão de compostos nitrogenados tóxicos em formas assimiláveis, contribuindo para maior disponibilidade de nutrientes e melhor desempenho das plantas. Essa atividade resulta frequentemente em maior número de folhas, incremento de biomassa e melhoria de parâmetros fisiológicos como teor de clorofila (Goddek et al., 2019).

No presente estudo, os efeitos produtivos superiores observados no tratamento com biorremediador também refletem o impacto positivo no ciclo do nitrogênio. A maior estabilidade de amônia e nitrito observada no tratamento experimental sugere que o biorremediador promoveu maior eficiência na nitrificação, assegurando conversão mais rápida da amônia excretada pelos peixes em nitrito e posteriormente em nitrato. Como o nitrato é a principal forma absorvida pelas plantas, maior nitrificação significa maior crescimento vegetal e melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis. Assim, o desempenho produtivo observado está diretamente relacionado à melhoria da ciclagem microbiana do nitrogênio promovida pelo biorremediador.

Esses achados são consistentes com estudos que demonstram que a inoculação de *Bacillus subtilis* e *B. licheniformis* em sistemas integrados pode aumentar significativamente a massa fresca e seca de alface, além de modificar positivamente a comunidade bacteriana do rizoplano (Kasozi et al., 2021). Resultados semelhantes foram obtidos com *Bacillus mojavensis*, que aumentou o número de folhas e parâmetros de qualidade da alface sem comprometer o biofiltro (Patloková & Pokluda, 2024).

Em conjunto, os resultados indicam que o biorremediador atuou simultaneamente na ciclagem de nutrientes, no equilíbrio microbiano e na produtividade vegetal e aquícola, tornando o sistema mais eficiente, estável e sustentável.

6 CONCLUSÃO

A utilização de biorremediadores à base de *Bacillus* em sistemas aquapônicos integrados com bioflocos resultou em melhorias significativas no desempenho produtivo de tilápias-donilo e de alface lisa, evidenciadas pelo aumento da produtividade aquícola e vegetal. A inclusão do biorremediador promoveu maior retenção de nitrogênio no sistema, indicando maior eficiência no aproveitamento dos nutrientes disponíveis, apesar da maior concentração de amônia observada no tratamento experimental.

Os resultados obtidos demonstram que o uso do biorremediador contribuiu para a otimização do desempenho zootécnico e fitotécnico do sistema integrado, refletindo em ganhos produtivos sem comprometer a estabilidade operacional durante o período experimental.

Dessa forma, o biorremediador mostrou-se uma ferramenta potencial para incrementar a eficiência produtiva em sistemas integrados com bioflocos. Recomenda-se a realização de estudos adicionais, com maior tempo de cultivo e diferentes formulações microbianas, para

aprofundar a compreensão dos efeitos dos biorremediadores sobre a dinâmica dos compostos nitrogenados e a estabilidade dos parâmetros de qualidade da água em sistemas integrados.

7 REFERÊNCIAS DO ARTIGO

ALMAWATECH. O que é o nitrito? E como ele aparece no aquário? Disponível em: <https://almawatech.com/o-que-e-o-nitrito-e-como-ele-aparece-no-aquario/>. Acesso em: 3 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PISCICULTURA – PEIXE BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura 2024. São Paulo: Peixe BR, 2024.

AZEVEDO, R. M. G. Análise econômica de um módulo produtivo intensivo em cultivo trifásico de tilápia (*Oreochromis niloticus*) com tecnologia de bioflocos integrado com biodigestor. 2022. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Aquicultura) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

BOSSIER, P.; EKASARI, J. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microbial Biotechnology*, v. 10, n. 5, p. 1012–1016, 2017.

BRITO, L. O. et al. Bioremediation of shrimp biofloc wastewater using clam, seaweed and fish. *Chemistry and Ecology*, v. 34, p. 901–913, 2018.

Blatt, T. L. d. S.; Cardoso, A. J. d. S.; Watanabe, A. L.; Neto, C. C. B.; Hisano, H. (2025). *Environmental Sustainability of Nile Tilapia Reared in Biofloc Technology (BFT) System: Evaluation of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Dynamics and Indicators of Sustainability*. *Sustainability*, 17(13): 5670.

COLT, J.; SEMMENS, K. Computation of feed conversion ratio (FCR_{plant}) and plant-fish mass ratio (PFRM) for aquaponic systems. *Aquacultural Engineering*, v. 98, 2022.

CRAB, R. et al. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, v. 299, n. 1–4, p. 1–13, 2007.

CRAB, R. et al. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, v. 270, p. 1–14, 2007.

DAY, S. B. et al. A growth comparison among three commercial tilapia species in a biofloc system. *Aquaculture International*, v. 24, n. 5, p. 1309–1322, 2016.

DE HEUS. Manejo da qualidade da água para tilápias. São Paulo: De Heus Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.deheus.com.br>. Acesso em: 3 ago. 2025.

DIPROTEC. Tabela de qualidade da água para piscicultura. Diprotec Aquicultura, 2021. Disponível em: <https://diprotec.com.br/tabela-de-qualidade-da-agua/>. Acesso em: 3 ago. 2025.

ECK, M. et al. Microbial dynamics and interaction patterns in aquaponic systems. *Water*, v. 11, n. 10, p. 2124, 2019.

EL-SAYED, A. F. M. Tilapia culture. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006.

ERHARDT, J. et al. Sustainable aquaculture practices: integrating plant and aquatic animal production systems. *Aquaculture Research*, v. 47, n. 2, p. 495–505, 2016.

FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. A agricultura sustentável no século XXI. Roma: FAO, 2024.

FERNANDES, F. R. A. et al. Uso de probiótico com *Bacillus spp.* e enzimas digestivas em tilápias-do-nilo cultivadas em sistema BFT. *Revista Brasileira de Aquicultura e Pesca*, v. 17, n. 1, p. 112–125, 2025.

FOLHA AGRÍCOLA. Sistema de bioflocos torna produção de tilápia mais sustentável e econômica em uso de água. Folha Agrícola, 2025.

FREITAS, L. C. et al. Fluxo de nitrogênio e fósforo na produção de tilápia-do-nilo através da aplicação de indicadores ambientais. *Brazilian Journal of Biology*, v. 79, n. 3, p. 494–502, 2019.

GENUNCIO, G. C. et al. Produtividade de rúcula hidropônica cultivada em diferentes épocas e vazões de solução nutritiva. *Horticultura Brasileira*, v. 29, n. 2, p. 605–608, 2011.

GODDEK, S. et al. The role of microorganisms in aquaponics. In: GODDEK, S. et al. (ed.). *Aquaponics food production systems*. Cham: Springer, 2019. p. 93–114.

GURUMUDA. Boas práticas para a criação de tilápia. São Paulo: Gurumuda Aquicultura, 2023. Disponível em: <https://www.gurumuda.com.br>. Acesso em: 3 ago. 2025.

JARDINA, L. et al. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. *Journal of Neotropical Agriculture*, v. 4, n. 1, p. 78–82, 2017.

JATOBÁ, A.; BORGES, Y. V.; SILVA, F. A. Biofloc: sustainable alternative for water use in fish culture. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 71, p. 1076–1080, 2019.

JORDAN, J. The effect of pH on hydroponics. Hydrobuilder Learning Center, 2022.

LINH, N. T. K. et al. Antibacterial activity of *Lactobacillus lactis* isolated from fermented vegetables against fish pathogenic bacteria. *Aquaculture Reports*, v. 11, p. 100235, 2018.

MARTINS, C. I. M. Bioflocos: princípios e práticas aplicadas na aquicultura. Brasília: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2017.

MARTINS, G. B. et al. The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system. *Aquaculture International*, v. 25, n. 2, p. 468–477, 2017.

Mêlo, L. C. de. Produção integrada de tilápia-do-nilo e alface em sistema aquapônico associado ao biofoco. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2024.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Lehninger Principles of Biochemistry. 7. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2014.

O PRESENTE RURAL. Tilápis valorizada impulsiona mercado brasileiro da piscicultura. 2023.

PEIXE BR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. Produtividade aquícola no Brasil. [S.l.]: Peixe BR, 2025.

PINHO, S. M.; DAVID, L. H.; GARCIA, F. South American fish species suitable for aquaponics: a review. *Aquaculture International*, v. 29, p. 1427–1449, 2021.

RAKOCY, J. E. et al. Recirculating aquaponic systems for tilapia culture. In: *Tilapia aquaculture in the Americas*. Baton Rouge: World Aquaculture Society, 2006.

RESH, H. M. *Hydroponic food production*. 8. ed. Boca Raton: CRC Press, 2022.

SANSUY. Criação de tilápias é um excelente negócio para piscicultores. 2017.

SILVA, G. F. da et al. *Tilápia-do-Nilo: criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2015.

SOARES, H. H. D. Uso de biorremediador em função do arraçoamento de juvenis da tilápia-do-Nilo. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Dracena, 2023.

STIZ, E. P. O. et al. Vantagens da produção de peixes em tanques-rede. In: *COLÓQUIO ESTADUAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR*, 4., 2021.

Tarigan, N. B.; Amal, M.; Ekasari, J.; Verdegem, M. Nitrogen, phosphorus, and carbon dynamics in biofloc system. Wageningen University & Research, 2024.

Tarigan, N. B.; Amal, M.; Ekasari, J.; Verdegem, M. (2024). *Nitrogen, phosphorus, and carbon dynamics in biofloc system of Nile tilapia fed with high non-starch polysaccharides diet*. *Aquaculture*, 596: 741714.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

Verdegem, M.; Tarigan, N.; Ekasari, J. Modeling nutrient dynamics in biofloc-based aquaculture systems. Wageningen Research Reports, 2024.

YANG, T.; KIM, J. Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Aquacultural Engineering*, v. 89, 2020.

YILDIZ, H. Y.; BEKCAN, S. Role of stocking density of tilapia. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, v. 2, n. 6, 2017.

ZAMPIEPI, M. E. Tilápis deve alcançar 80% do mercado de peixes de cultivo no Brasil até 2030. 2023.

ZAR, J. H. *Biostatistical analysis*. 5th ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice-Hall, 2010.

ZHANG, L. et al. Integration of biofloc technology and aquaponics. *Aquaculture Reports*, v. 28, 2023.

ZHAO, H. et al. *Bacillus mojavensis* improves growth performance and nutrient content of lettuce in aquaponics systems. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, 2024.

ZHOU, Q. et al. Phosphorus removal mechanisms and nitrogen transformation in constructed wetlands. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, 2018.

ZHOU, Y. et al. Phosphorus removal and recovery from domestic wastewater in constructed wetlands with different substrates. *Environmental Pollution*, v. 234, 2018.

8 REFERÊNCIAS DA DISSERTAÇÃO

ALMAWATECH. O que é o nitrito? E como ele aparece no aquário? Disponível em: <https://almawatech.com/o-que-e-o-nitrito-e-como-ele-aparece-no-aquario/>. Acesso em: 3 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PISCICULTURA – PEIXE BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura 2024. São Paulo: Peixe BR, 2024.

AZEVEDO, R. M. G. Análise econômica de um módulo produtivo intensivo em cultivo trifásico de tilápia (*Oreochromis niloticus*) com tecnologia de bioflocos integrado com biodigestor. 2022. 52 f. Monografia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

BOSSIER, P.; EKASARI, J. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microbial Biotechnology*, v. 10, n. 5, p. 1012–1016, 2017.

BRITO, L. O. et al. Bioremediation of shrimp biofloc wastewater using clam, seaweed and fish. *Chemistry and Ecology*, v. 34, p. 901–913, 2018.

COLT, J.; SEMMENS, K. Computation of feed conversion ratio (FCR_{plant}) and plant-fish mass ratio (PFRM) for aquaponic systems. *Aquacultural Engineering*, v. 98, 2022.

CRAB, R. et al. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, v. 299, n. 1–4, p. 1–13, 2007.

CRAB, R. et al. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, v. 270, p. 1–14, 2007.

DAY, S. B. et al. A growth comparison among three commercial tilapia species in a biofloc system. *Aquaculture International*, v. 24, n. 5, p. 1309–1322, 2016. (*mantida — dados de crescimento em sistema BFT*)

DE HEUS. Manejo da qualidade da água para tilápias. São Paulo: De Heus Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.deheus.com.br>. Acesso em: 3 ago. 2025.

DIPROTEC. Tabela de qualidade da água para piscicultura. Diprotec Aquicultura, 2021. Disponível em: <https://diprotec.com.br/tabela-de-qualidade-da-agua/>. Acesso em: 3 ago. 2025.

ECK, M. et al. Microbial dynamics and interaction patterns in aquaponic systems. *Water*, v. 11, n. 10, p. 2124, 2019.

EL-SAYED, A. F. M. Tilapia culture. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006.

ERHARDT, J. et al. Sustainable aquaculture practices: integrating plant and aquatic animal production systems. *Aquaculture Research*, v. 47, n. 2, p. 495–505, 2016.

FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. A agricultura sustentável no século XXI. Roma: FAO, 2024.

FERNANDES, F. R. A. et al. Uso de probiótico com *Bacillus spp.* e enzimas digestivas em tilápias-do-nilo cultivadas em sistema BFT. *Revista Brasileira de Aquicultura e Pesca*, v. 17, n. 1, p. 112–125, 2025.

FOLHA AGRÍCOLA. Sistema de bioflocos torna produção de tilápia mais sustentável e econômica em uso de água. Folha Agrícola, 2025.

FREITAS, L. C. et al. Fluxo de nitrogênio e fósforo na produção de tilápia-do-nilo através da aplicação de indicadores ambientais. *Brazilian Journal of Biology*, v. 79, n. 3, p. 494–502, 2019.

GENUNCIO, G. C. et al. Produtividade de rúcula hidropônica cultivada em diferentes épocas e vazões de solução nutritiva. *Horticultura Brasileira*, v. 29, n. 2, p. 605–608, 2011.

GODDEK, S.; et al. The role of microorganisms in aquaponics. In: GODDEK, S. et al. (ed.). *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. Springer, 2019. p. 93–114.

GURUMUDA. Boas práticas para a criação de tilápia. São Paulo: Gurumuda Aquicultura, 2023. Disponível em: <https://www.gurumuda.com.br>. Acesso em: 3 ago. 2025.

JARDINA, L. et al. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. *Journal of Neotropical Agriculture*, v. 4, n. 1, p. 78–82, 2017.

LINH, N. T. K. et al. Antibacterial activity of *Lactobacillus lactis* isolated from vegetais fermentados contra bactérias patogênicas de peixes. *Aquaculture Reports*, v. 11, p. 100235, 2018.

MARTINS, C. I. M. Bioflocos: princípios e práticas aplicadas na aquicultura. Brasília: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2017.

MARTINS, G. B. et al. 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 International*, v. 25, n. 2, p. 468–477, 2017.

Mélo, L. C. de. Produção integrada de tilápia-do-nilo e alface em sistema aquapônico associado ao biofoco. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2024.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Lehninger Principles of Biochemistry. 7. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2014.

O PRESENTE RURAL. Tilápia valorizada impulsiona mercado brasileiro da piscicultura. 2023.

PEIXE BR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. Produtividade aquícola no Brasil. [S.l.]: Peixe BR, 2025.

PINHO, S. M.; DAVID, L. H.; GARCIA, F. South American fish species suitable for aquaponics: a review. *Aquaculture International*, v. 29, p. 1427–1449, 2021.

RAKOCY, J. E. et al. Recirculating aquaponic systems for tilapia culture. In: *Tilapia Aquaculture in the Americas*, World Aquaculture Society, 2006.

RESH, H. M. Hydroponic food production: a definitive guide for o cultivador avançado. 8. ed. Boca Raton: CRC Press, 2022.

SANSUY. Criação de tilápias é um excelente negócio para piscicultores. 2017.

SILVA, G. F. da et al. Tilápia-do-Nilo: criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2015.

SOARES, H. H. D. Uso de biorremediador em função do arraçoamento de juvenis da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) no outono/inverno. 2023. Dissertação – Universidade Estadual Paulista, Dracena.

STIZ, E. P. O. et al. Vantagens da produção de peixes em tanques-rede. In: Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar, 4., 2021. Anais..., Mineiros: UNIFIMES, 2021.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. Microbiologia: fundamentos e aplicações. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

YANG, T.; KIM, J. Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Aquacultural Engineering*, v. 89, p. 102053, 2020.

YILDIZ, H. Y.; BEKCAN, S. Role of stocking density of tilapia (*Oreochromis aureus*) on fish growth, water quality and tomato plant biomass in aquaponic system. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, v. 2, n. 6, p. 2389–2397, 2017.

ZHANG, L. et al. Integration of biofloc technology and aquaponics: nutrient cycling, water quality, and productivity improvements. *Aquaculture Reports*, v. 28, 2023.

ZHAO, H. et al. *Bacillus mojavensis* improves growth performance and nutrient content of lettuce in aquaponics systems. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, 2024.

9 ANEXOS

Anexo A: Certificado de aprovação pelo CEUA para execução do experimento



CERTIFICADO N° 367 / 2021 - CGES/ARA (11.01.02.39)

Nº de Protocolo: 23349.002642/2021-61

Araquari-SC, 28 de junho de 2021.

COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) DO INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE, CAMPUS ARAQUARI

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado "Aqüicultura multitrófica integrada: produção sustentável através da diversificação, visando incrementar a produtividade do agronegócio catarinense" de protocolo número " 372/2021 " sob a responsabilidade de "Adolfo Jatoba Medeiros Bezerra " que envolve a utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de Pesquisa encontra-se de acordo com os preceitos da Lei no 11.794 de 08 de Outubro de 2008, do Decreto 6.899 de 15 de Julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais IFC-Araquari em reunião de **"16/06/2021"**.

Vigência do projeto:	01/09/2021 a 31/12/2024
Espécie/Linhagem:	Peixes / Tilápia-do-nilo
Nº de Animais:	1.252 animais
Peso/Idade:	10g / 1 a 3 meses
Sexo:	Não especificado
Origem:	Laboratório de Aquicultura - IFC Araquari

28/06

https://sig.ifc.edu.br/publico/protocolo/documento/documento_visualizacao.jsp?ampri

OBS:

Em caso de não execução do projeto, deve ser solicitada a retirada do mesmo em até 60 dias após a emissão do parecer conforme orientação disponível em <http://araquari.ifc.edu.br/ceua/>

60 dias após a execução do projeto, deve ser submetido relatório final para avaliação do comitê conforme regimento do CEUA Artigo 25 §4:

§ 4º. O proponente de um projeto/protocolo deve, ao final da execução do mesmo, encaminhar à CEUA/IFC o relatório final contendo informações básicas baseando-se nos itens descritos no formulário de submissão. O não envio de relatórios de projetos/protocolos já concluídos implicará na não aprovação de novos projetos/protocolos do mesmo proponente.

Elizabeth Schwegler

Médica Veterinária (CRMVRS 10058)

Prof. EBTT (Siape nº 1046884)

Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais do IFC - Campus Araquari

Portaria nº 247/2018/Rectoria

(Assinado digitalmente em 28/06/2021 22:07)
ELIZABETH SCHWEGLER
PROFESSOR ENSINO FUNDAMENTAL
CGE/ARA (11.01.02.39)
Autentico: 1046884

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.ifc.edu.br/publico/documentos/index.jsp> informando seu número: 367, ano: 2021, tipo: CERTIFICADO, data de emissão: 28/06/2021 e o código de verificação: 9fc7e9fb5