

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRÁFIA E LIMNOLOGIA – DEOLI  
CURSO DE OCEANOGRÁFIA**

**RAIAN FELIPE SOUZA DE OLIVEIRA**

**Cultivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em sistema multitrófico com fertilização  
simbiótica.**

**São Luís/MA**

**2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA – DEOLI  
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

**RAIAN FELIPE SOUZA DE OLIVEIRA**

**Cultivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em sistema multitrófico com fertilização  
simbiótica.**

**São Luís/MA**

**2025**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Felipe Souza de Oliveira, Raian.

Cultivo de tilápias *Oreochromis niloticus* em sistema multitrófico com fertilização simbiótica / Raian Felipe Souza de Oliveira. - 2025.

50 f.

Orientador(a): Jose Ribamar de Souza Torres Júnior.  
Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,  
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Aquamimicry. 2. Aquicultura. 3. Simbiótico. 4. Tilapicultura. 5. Qualidade da Água. I. Ribamar de Souza Torres Júnior, Jose. II. Título.

**Cultivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em sistema multitrófico com fertilização simbiótica.**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão para obtenção do grau de bacharelado em Oceanografia.**

APROVADO EM: 17/02/2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Jose Ribamar de Souza Torres Júnior**  
**Universidade Federal do Maranhão - UFMA**  
**(Orientador)**

---

**Walter Luis Muedas Yauri**  
**Universidade Federal do Maranhão - UFMA**  
**(Membro Interno)**

---

**Katiene Regia Silvia Sousa**  
**Universidade Federal do Maranhão - UFMA**

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente aos meus pais pois, sem eles esse sonho nem teria começado. Um enorme obrigado pelo apoio financeiro e principalmente pelo amparo afetivo, além de terem acreditado incondicionalmente em meu sucesso, em alguns momentos crendo mais que eu mesmo. Quero também fazer um agradecimento especial a quem me guia, as luzes no caminho e as rotas de saída acima do poço.

Em segundo lugar quero agradecer imensamente ao meu orientador Dr. José Ribamar de Souza Torres Júnior, quem me impulsionou e auxiliou ao longo do processo e me deu a excelente oportunidade de atuar fora dos “muros” da universidade, tendo me proporcionado uma experiência extremamente enriquecedora, tanto academicamente, quanto no âmbito profissional.

Agradeço de todo coração à equipe da Piscicultura Arouche (Joselito, Vando, Nega, Renata e Diniz), em especial à dona Kiki e a dona Luciene Arouche (Lú), que disponibilizaram tudo de bom grado para que eu pudesse realizar meu experimento, além do imenso acolhimento e suporte dado durante todo o tempo.

Tenho a agradecer aos meus colegas de equipe que me auxiliaram durante o experimento: Eduardo, Glover e Arcediago. E a todas as mãos amigas que me acolheram e me deram forças nessa longa e árdua jornada, vocês foram extremamente essenciais para o meu sucesso (Cadmo, Daniele, Manu, Luís, Rodrigo, Valléria, Ana Thanielly, Analu, “Scar”, Igor, Juliano, Katiele, Bruno, Gustavo, Ruandro, MaRCus, Ruan, F. Oliveira, F. França, Daniel e Dandan) e as menções mais que honrosas (Rennan, Sakamoto, Leonardo, João, Jamile e Eduardo). E um obrigado especial a estrela que agora brilha lá em cima, Patrick.

E finalmente quero fazer um agradecimento mais que especial a mim mesmo, que lutei com unhas e dentes, dando meu suor, sangue e lágrimas literais para a realização desse objetivo de vida.

“Looking like a true survivor, feeling like a little kid. I'm still standing after all this time.”  
Elton Jhon, I'm Still Standing, 1983.

## RESUMO

O presente estudo analisou o cultivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um sistema multitrófico com fertilização simbiótica, comparando diferentes protocolos de cultivo. O problema central investigado foi a eficácia de distintas formulações simbióticas (mix comercial vs formulação caseira) e o tratamento com Azomite (com vs sem azomite), na qualidade da água de cultivo e no desempenho zootécnico de tilápias em fase de crescimento. A metodologia utilizada consistiu em um experimento conduzido em três tanques de polietileno com 800 litros de volume útil de água, representando diferentes tratamentos: Mix Azomite (MA), Mix Controle (MC) e Formulação Caseira (RC). Foram realizadas medições semanais dos parâmetros físico-químicos da água (pH, concentração de amônia total e tóxica, nitrito, oxigênio dissolvido, sólidos sedimentáveis, salinidade e alcalinidade), além de biometrias para aferição do desempenho zootécnico (peso, biomassa, fator de conversão alimentar e ganhos de peso absoluto e relativo). As variáveis dependentes contínuas de distribuição não normal foram, a priori, analisadas pelo teste de Kruskal-Wallis, com “*análise a posteriori*” pelo teste de Dunn como *post-hoc test*, ao nível de significância de 95%. Para os dados de desempenho foram calculados os Intervalos de Confiança (IC) das médias para erro igual a 0,05 e verificadas possíveis sobreposições dos respectivos intervalos para definição de eventuais significâncias estatísticas. Oscilações no pH, aumento das concentrações de amônia e nitrito, além dos sólidos sedimentáveis, foram observados ao longo do tempo conforme o desenvolvimento dos organismos aquáticos e a decomposição da matéria orgânica provenientes dos compostos nitrogenados depositados pelos peixes. Apesar dessas variações, os peixes não apresentaram sinais de intoxicação, indicando que os ajustes no manejo foram eficazes para manter a qualidade da água dentro de padrões aceitáveis. O estudo do desempenho zootécnico mostrou que a formulação caseira de fertilizante simbiótico apresentou eficiência similar à dos produtos industrializados e que tilápias em fase de crescimento não apresentaram uma resposta metabólica significativa à inserção direta de 2 g/m<sup>3</sup> do insumo Azomite na água de cultivo. O desenvolvimento de protocolos de sistemas multitróficos com fertilização simbiótica foi considerado eficiente para criação de tilápias.

**Palavras-chave:** Aquamimicry; Aquicultura; Simbiótico; Tilapicultura; Qualidade da água.

## ABSTRACT

This study analyzed the cultivation of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a multitrophic system with symbiotic fertilization, comparing different cultivation protocols. The central problem investigated was the effectiveness of different symbiotic formulations (commercial mix vs. homemade formulation) and the treatment with Azomite (with vs. no azomite), on the quality of the culture water and on the zootechnical performance of tilapia in the growth phase. The methodology used consisted of an experiment conducted in three polyethylene tanks with 800 liters of useful water volume, representing different treatments: Azomite Mix (AM), Control Mix (CM) and Homemade Formulation (RC). Weekly measurements of the physical-chemical parameters of the water (pH, concentration of total and toxic ammonia, nitrite, dissolved oxygen, settleable solids, salinity and alkalinity) were performed, in addition to biometrics to measure zootechnical performance (weight, biomass, feed conversion factor and absolute and relative weight gains). Continuous dependent variables with non-normal distribution were, a priori, analyzed by the Kruskal-Wallis test, with “a posteriori analysis” by the Dunn test as a post-hoc test, at a significance level of 95%. For the performance data, the Confidence Intervals (CI) of the means were calculated for an error equal to 0.05 and possible overlaps of the respective intervals were verified to define possible statistical significance. Variations in pH, increased concentrations of ammonia and nitrite, and sedimentable solids were observed over time as the aquatic organisms developed and the organic matter from the nitrogen compounds deposited by the fish. Despite these variations, the fish did not show signs of intoxication, indicating that the adjustments in management were effective to maintain water quality at acceptable parameters. The study of zootechnical performance showed that the homemade formulation of symbiotic fertilizer was as efficient as industrialized products and that tilapia in the growth phase did not show a significant metabolic response to the direct addition of 2 g/m<sup>3</sup> of Azomite in the culture water. The development of protocols for multitrophic systems with symbiotic fertilization was considered efficient for tilapia farming.

**Keywords:** Aquamimicry; Aquaculture; Symbiotic; Tilapia farming; Water quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tanques dos tratamentos MIX Azomite (MA), MIX Controle (MC) e Receita Caseira (RC), respectivamente na segunda semana e na décima semana do experimento	15
Figura 2 - Kits colorimétricos (Alcon Labcon®)	16
Figura 3 - Cones de Imhoff (mL/L)	16
Figura 4 - Sonda Multiparâmetro HANNA (HI 98194®)	17
Figura 5 - Decantador modelo Air Lift de 60 litros acoplado ao tanque experimental	21
Figura 6 - Média semanal do pH em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.	23
Figura 7 - Média semanal da concentração de amônia total (TAN) em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.	24
Figura 8 - Média semanal da concentração de amônia tóxica em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.	25
Figura 9 - Média semanal da concentração de nitrito em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.	26
Figura 10 - Média semanal da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.	27
Figura 11 - Média semanal da concentração de sais dissolvidos em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.	28
Figura 12 - Média semanal de temperatura em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.	29
Figura 13 - Média semanal de alcalinidade em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.	30
Figura 14 - Média semanal da concentração de sólidos sedimentáveis (SS) em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.	31

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Detalhamento da formulação simbiótica inicial utilizada para fertilizar os tanques durante o período experimental.	17
Quadro 2 - Detalhamento da formulação simbiótica de manutenção utilizada para fertilizar os tanques durante o período experimental.	19
Quadro 3 - Protocolo semanal de aplicação dos protocolos dos tratamentos experimentais, segundo as formulações simbióticas preconizadas.	21
Quadro 4 - Planilha para calcular o tempo de decantação dos tanques	25

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Médias do ganho de peso das tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica ao longo do período experimental. 32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOB	Bactérias Oxidadoras de Amônia
BFT	Bioflocos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E.P.M.	Erro Padrão da Média
FAC	Fator de Conversão Alimentar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MA	MIX Azomite
MC	MIX Controle
NOB	Bactérias Oxidadoras de Nitrito
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
pH	Potencial Hidrogeniônico
Ppm	Partes por milhão
PSU	Unidade Práticas de Salinidade
RAS	Sistema de Recirculação de Água
RC	Receita Caseira
SS	Sólidos Sedimentáveis
SYNB	Simbiótico
TAN	Nitrogênio Amoniacal Total

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
4. MATERIAIS E MÉTODO	18
4.1 Local do experimento	18
4.2 Delineamento experimental	18
4.3 Formulação e Aplicação do Simbiótico	19
4.4 Adição de Insumos	21
4.5 Monitoramento dos Parâmetros	22
4.6 Povoamento e Biometria	24
4.7 Decantação	24
4.8 Análise Estatística	26
5. RESULTADOS	28
5.1 Parâmetros	28
5.1.1 PH	28
5.1.2 Amônia total	29
5.1.3 Amônia Tóxica	30
5.1.4 Nitrito	31
5.1.5 Oxigênio Dissolvido	33
5.1.6 Salinidade	33
5.1.7 Temperatura	35
5.1.8 Alcalinidade	35
5.1.9 Sólidos Sedimentáveis	37
5.1.10 Ganho de Peso	38
6. DISCUSSÃO	41
REFERÊNCIAS	45

## 1. INTRODUÇÃO

A piscicultura moderna enfrenta diversos desafios, como por exemplo, logística no gerenciamento dos sistemas, o controle de compostos nitrogenados tóxicos no sistema, além de o manejo de água e efluentes do sistema e o espaço delimitado por leis e recursos, os quais restringem a produção. Como citado pelos autores Limbu et al. (2016), a inacessibilidade de rações comerciais para criadores semi-intensivos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), levou à dependência de alimentação suplementar e fertilização para a nutrição de seus peixes sem base científica.

Para minimizar esses problemas, a indústria precisa desenvolver e implementar tecnologias que promovam a aquicultura sustentável. Entre as diferentes técnicas, o sistema de tecnologia bioflocos e, mais recentemente, a simbiótica e a “aquamimicry” são consideradas abordagens alternativas baseadas em microrganismos que visam altos rendimentos com certo nível de biossegurança e melhores práticas ambientais (KHAJANI et al., 2022). Sendo assim, essas biotecnologias (SYNB e BFT) são responsáveis pela melhora no metabolismo do organismo aquático cultivado, não necessitam de manejo de efluentes e minimizam os montantes de água utilizada, solucionando assim os maiores problemas de sistemas de recirculação (RAS).

A biotecnologia de simbiótico utilizam a fermentação de uma fonte de carbono, como por exemplo, o farelo de arroz (prebiótico) associado a bactérias probióticas, como, as *Bacillus spp.* As bactérias probióticas *Bacillus subtilis* e *Bacillus cereus*, quando inseridas em dietas de peixes resultaram em aumento no crescimento e assimilação de nutrientes, devido melhorar a atividade das enzimas digestivas, além de impulsionar a imunidade dos animais (LI et al., 2022). Dimitroglou et al. (2010), também constataram que os prebióticos são componentes alimentares não digeríveis que seletivamente estimulam o crescimento de bactérias benéficas no intestino. Esse estímulo resulta em modificações na morfologia intestinal, como o aumento da densidade de microvilosidades, o que melhora a absorção de nutrientes. Além disso, os prebióticos podem atuar ligando-se a patógenos e impedindo sua colonização no intestino.

O uso de simbióticos na aquicultura vem trazendo diversas soluções para problemas antigos e contemporâneos, mostrando-se ideal, tanto para sistemas semi-intensivos quanto para sistemas superintensivos e também no manejo de diversas espécies de organismos aquáticos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Comparar diferentes protocolos de cultivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em sistema multitrófico com fertilização simbiótica.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Comparar protocolos de fertilização simbiótica formulados na propriedade rural (formulação caseira) *versus* mixes industriais, nos parâmetros de qualidade da água de cultivo e no desempenho de tilápias.
- Avaliar o efeito da adição do mineral Azomite nos parâmetros de qualidade da água de cultivo e no desempenho de tilápias.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

A Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) é um peixe bentopelágico (presente da superfície do corpo d'água até 20 metros de profundidade), pertencente ao grupo dos ciclídeos, amplamente distribuídos em habitats de água doce, com algumas espécies adaptadas a ambientes salobros (FISHBASE, 2024). Atualmente, o peixe mais cultivado no Brasil, sua produção correspondeu a 67,5% do total de todas as espécies produzidas no ano de 2023, com destaque para o município de Morada Nova de Minas (MG), que aumentou exponencialmente sua produção, alcançando 3,1% da produção nacional (IBGE, 2023).

No cenário atual da aquicultura, diversos desafios logísticos têm sido enfrentados, como a dificuldade na obtenção de ração especializada para as diferentes fases dos organismos aquáticos. Além disso, questões ambientais, como a complexidade do tratamento prévio e do descarte de efluentes, também representam obstáculos significativos. O autor Jesus (2023) destaca o impacto ambiental da aquicultura devido ao despejo de resíduos orgânicos na água e ao uso irracional dos recursos hídricos. Como alternativas a esses desafios, foram desenvolvidas as biotecnologias de Bioflocos (BFT) e Simbiótico (SYNB) que trazem diversos aspectos positivos para o manejo de organismos aquáticos. "Aquamimicry" é o conceito por trás dessas biotecnologias, o qual busca mimetizar as condições e parâmetros de corpos estuarinos (ROMANO, 2017). Para reproduzir essas condições naturais em sistemas SYNB, fermenta-se uma fonte de carbono, como farelos vegetais (prebióticos), em conjunto com microrganismos do gênero *Bacillus sp.* (probióticos), resultando em uma população simbiótica. Essa simbiose promove a ciclagem de compostos nitrogenados, aumentando a solubilização de nutrientes e estimulando a formação de biofilmes, estes sendo úteis no controle de patógenos (FERREIRA et al., 2021).

Os efeitos desses tratamentos sobre a qualidade da água se mostram extremamente positivos. Como constatado na tese do autor Oliveira (2022), o sistema de simbiótico, apresenta em seus sólidos, bactérias responsáveis pelo controle das concentrações dos compostos nitrogenados tóxicos, melhora a disponibilidade de nutrientes no ambiente aquático devido aos flocos microbianos e por fim, não exigindo trocas de água, mantém a estabilidade do pH.

O potencial hidrogeniônico é o parâmetro que indica a concentração de íons de hidrogênio (H<sup>+</sup>) em uma solução indicando sua acidez (1 a 6 pontos), neutralidade (igual a 7 pontos) ou basicidade (8 a 14 pontos). Segundo Kubitza (1998), águas ligeiramente ácidas ou neutras (pH 6 a 7), permitem uma maior capacidade de suporte, visto que a

concentração de amônia não ionizada aumenta com a elevação do pH. Portanto, a estabilidade do pH é essencial para que as conversões de compostos nitrogenados tóxicos sejam realizadas pela biota do sistema de aquicultura, o que é essencial para a regulação do metabolismo dos peixes.

Dependendo do pH, temperatura e salinidade, a amônia, quando dissolvida em meio aquoso, pode ser disponibilizada em duas formas químicas: amônia não-ionizada ( $\text{NH}_3$ ) e amônia ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ), sendo que a primeira forma é considerada tóxica. Segundo Dosdat et al. (1995), peixes expostos assiduamente a altas concentrações de amônia apresentam degradação das guelras, alterações no metabolismo, retardo no crescimento e no ganho de peso, além de vulnerabilidade a doenças. Devido a esses fatores, as bactérias que oxidam amônia (AOB) apresentam grande importância nos sistemas de aquicultura, convertendo amônia em nitrito.

O oxigênio dissolvido (OD) é extremamente importante para a degradação de compostos biodegradáveis e não-biodegradáveis (DBO e DQO) presentes em sistemas de cultivo. A transformação de 1 grama de nitrogênio amoniacal em biomassa microbiana necessita de 4,71 gramas de oxigênio dissolvido (EBELING et al., 2006). Conforme constatado por Zarnetske et al. (2011), as concentrações de oxigênio dissolvido determinam, em grande parte, as condições redox que regulam a ocorrência de processos como a nitrificação e a desnitrificação.

Mesmo em detrimento de altas concentrações de OD no sistema, o nitrito é um composto extremamente prejudicial para o sistema respiratório dos peixes, pois oxida o ferro da hemoglobina formando a metahemoglobina, tornando ineficaz o transporte de oxigênio sanguíneo. A Metahemoglobinemia leva o organismo ao quadro de hipóxia e cianose (DUBOROW et al., 1997). Segundo Tomasso (1980), a adição de cloreto à água contendo nitrito é tão eficaz quanto a troca parcial ou total por água livre de nitrito, quando o intuito é a reversão da metemoglobinemia induzida por nitrito.

A salinização do ambiente aquático, auxilia no controle de compostos nitrogenados e sua toxicidade no sistema. De acordo com Silva (2013), ambientes com algum grau de salinidade, mesmo que baixo (oligohalinos), diminuem a toxicidade do nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) nos peixes, pois estes apresentam nas brânquias estruturas celulares responsáveis pela captação de íons  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{Cl}^-$ . Sendo assim, em ambientes com cloretos, os peixes captam concentrações menores de nitrito diminuindo sua acumulação e seus respectivos efeitos tóxicos.

Outro parâmetro também importante são as concentrações de sólidos sedimentáveis (SS), que desempenham um papel fundamental no controle de compostos

nitrogenados em sistemas BFT e SYNB. Como constatado por Azim et al. (2005), os SS em sistema SYNB é constituído por fito e zooplâncton, microalgas, fungos, protozoários, invertebrados, bactérias heterotróficas e autotróficas. Sendo essas bactérias responsáveis pela conversão e assimilação de compostos nitrogenados tóxicos (amônia e nitrito) presentes no sistema (EMERENCIANO et al., 2013).

Além disso, a temperatura também exerce grande influência nos processos bioquímicos realizados pela biota presente nos sólidos sedimentáveis, além de alterar a dissolução de gases da água, o metabolismo e a imunidade dos peixes. Como demonstrado pelos autores Salomão et al., (2018), as tilápias apresentaram diferenças no crescimento muscular e adiposo em função da temperatura de cultivo, com valores superiores a 28°C em comparação a 22°C.

A alcalinidade, assim como a temperatura, tem grande importância para a estabilidade do pH, pois age como tamponante e também influencia nos processos bioquímicos realizados pela biota do sistema. A alcalinidade total é um indicador da capacidade da água de resistir a mudanças de pH (BOYD et al., (2016). Segundo Mercante (2007), embora a alcalinidade total de 20 mg/L seja considerada o limite mínimo aceitável, esse valor é considerado insuficiente para garantir um efeito tampão adequado. O hidróxido de cálcio e o bicarbonato de sódio mostraram-se compostos eficazes para elevar a alcalinidade em cultivos no sistema BFT e SYNB, enquanto o carbonato de sódio obteve resultados menos eficientes nesse aspecto, sendo mais eficaz na alteração do pH. (FURTADO et al., 2011).

A adição de insumos e substratos ao ambiente aquático e suplementação alimentar, podem conferir ao peixe uma melhor resposta metabólica e também imunológica. Segundo Liu AiJun et al., (2009), a suplementação de Azomite, introduzida na dieta da tilápia, pode estimular as atividades de superóxido dismutase e da lisozima, fortalecer sua resistência a patógenos, ao estresse, causado pela variação de parâmetros ambientais, além de contribuir positivamente para seus processos metabólicos.

Assim, percebe-se quantos fatores necessitam estar em sintonia a fim de que os sistemas de aquacultura multitrófica possam realizar adequadamente a ciclagem de compostos presentes na água de cultivo. Daí o termo “simbiose”, muito utilizado para descrever os processos biológicos que mimetizam as condições naturais de sobrevivência de peixes em seus ecossistemas nativos.

## 4. MATERIAIS E MÉTODO

### 4.1 Local do experimento

O experimento foi realizado na Empresa Piscicultura Arouche, município de São José do Ribamar, Maranhão, Brasil (2°30 '45 "S 44°10' 42"W).

### 4.2 Delineamento experimental

O sistema foi composto por três caixas d'água em polietileno, de 1m<sup>3</sup> cada, preenchidas com 800 litros de volume útil de água (figura 1). Em cada caixa foram instaladas duas pétalas de oxigenação acopladas ao fundo, servindo para oxigenar e ressuspender os sólidos evitando sua precipitação. Para a proteção do sistema, uma estrutura de cobertura foi implementada acima dos três tanques, para evitar a exposição direta ao sol e chuva, visando evitar oscilações bruscas na temperatura e qualidade da água do sistema.

Em cada caixa d'água correspondeu a um tratamento de fertilização simbiótica a ser utilizado na água de cultivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*), conforme segue:

- **MIX Controle:** produto comercial, Mix simbiótico<sup>®</sup> (composição, segundo fabricante: farelo de arroz, biorremediador, probiótico e bicarbonato).
- **MIX Azomite:** produto comercial, Mix simbiótico<sup>®</sup> + Azomite<sup>®</sup> (composição, segundo o fabricante: Sílica (SiO<sub>2</sub>); Óxido de Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); Óxido de Ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); Cálcio (CaO); Magnésio (MgO); Potássio (K<sub>2</sub>O) e traços de mais de 70 minerais e elementos traço)
- **Receita Caseira:** Formulação desenvolvida com ingredientes adquiridos separadamente e misturados na própria piscicultura, conforme descrito no item 4.3 abaixo.

Figura 1- Tanques com os tratamentos MIX Azomite (MA), MIX Controle (MC) e Receita Caseira (RC), respectivamente antes e após as fertilizações simbióticas.



Fonte: O autor, 2024.

### 4.3 Formulação e Aplicação do Simbiótico

Seguem detalhadas respectivamente, no quadro 1 e 2, a formulação simbiótica inicial e formulação simbiótica de manutenção utilizada para fertilizar os tanques durante o período experimental.

Quadro 1 - Detalhamento da formulação simbiótica inicial utilizada para fertilizar os tanques durante o período experimental.

FORMULAÇÃO MIX SIMBIÓTICO	FORMULAÇÃO RECEITA CASEIRA
2 L água do poço	1 L água do poço
32 g do mix simbiótico® (dose = 40 g/m³)	16 g de farelo de arroz (dose = 20 g/m³)
3.2 g de açúcar cristal (dose = 4 g/m³)	1.6 g açúcar cristal (dose = 2 g/m³)
	0.8 g de bicarbonato de sódio (dose = 1 g/m³)
	0.06 g de Probacyl Equilíbrio® (dose = 0.075 g/m³)
FERMENTAÇÃO (24 HORAS)	
500 ml água do poço	250 ml água do poço
0.1 g de Probacyl Equilíbrio® (dose = 0.125 g/m³)	0.1 g de Probacyl Equilíbrio® (dose = 0.125 g/m³)
AERAÇÃO (24 HORAS)	
CONTEÚDO DIVIDIDO E ADICIONADO AOS TRATAMENTOS MA E MC	CONTEÚDO ADICIONADO AO TRATAMENTO RC

Inicialmente as formulações dos simbióticos (Quadro 1), tinham como objetivo, aumentar a proliferação bacteriana e o aumento dos sólidos sedimentáveis até a taxa de 20 mL/L.

*Quadro 2 - Detalhamento da formulação simbiótica de manutenção utilizada para fertilizar os tanques durante o período experimental.*

FORMULAÇÃO MIX SIMBIÓTICO	FORMULAÇÃO RECEITA CASEIRA
1 L água do poço 8 g do mix simbiótico® (dose = 10 g/m <sup>3</sup> ) 0.8 g de açúcar cristal (dose = 1 g/m <sup>3</sup> )	1 L água do poço 4 g de farelo de arroz (dose = 5 g/m <sup>3</sup> ) 0.4 g açúcar cristal (dose = 0.5 g/m <sup>3</sup> ) 0.2 g de bicarbonato de sódio (dose = 0.25 g/m <sup>3</sup> ) 0.06 g de Probacyl Equilíbrio® (dose = 0.075 g/m <sup>3</sup> )
<b>FERMENTAÇÃO (24 HORAS)</b>	
250 ml água do poço 0.1 g de Probacyl Equilíbrio® (dose = 0.125 g/m <sup>3</sup> )	125 ml água do poço 0.1 g de Probacyl Equilíbrio® (dose = 0.125 g/m <sup>3</sup> )
<b>AERAÇÃO (24 HORAS)</b>	
CONTEÚDO DIVIDIDO E ADICIONADO AOS TRATAMENTOS MA E MC	CONTEÚDO ADICIONADO AO TRATAMENTO RC

Após todos os tratamentos terem alcançado 20 mL/L, as formulações foram modificadas principalmente na etapa 1, de fermentação (Quadro 2), onde os componentes tiveram um decréscimo de  $\frac{1}{4}$  e a quantidade de água teve um decréscimo de  $\frac{1}{2}$  em suas quantidades. Essa alteração visou diminuir os sólidos sedimentáveis introduzidos no sistema, porém mantendo a manutenção da população de microrganismos.

Para os processos de fermentação e aeração utilizamos a metodologia descrita por Santos et al. (2022). Este processo fermentativo visa a multiplicação intensiva de bactérias e a seleção de espécies aeróbicas, contribuindo para o aumento e o suporte da biota presente no sistema. A inclusão de fontes fermentadas de carbono, juntamente com probióticos e outros suplementos para a água, pode fornecer macronutrientes e micronutrientes essenciais (como minerais) e ajudar no equilíbrio e na diversidade de fitoplâncton e zooplâncton.

#### 4.4 Adição de Insumos

Os insumos comerciais adicionados aos tratamentos foram: **a)** Mix Bioflocos® (composição, segundo o fabricante: Nitrato de sódio, Silicato de magnésio, Zeolitas naturais, vitaminas e microminerais essenciais que favorecem a formação de algas), **b)** Azomite®, **c)** Lothar® (composição, segundo o fabricante: Lithothamnium ou alga marinha calcária da família Corallinaceae) e **d)** Silicato de Magnésio.

Os insumos foram utilizados com a proposta de promover benefícios como o aumento da eficiência alimentar, a melhoria do metabolismo e do sistema imunológico dos peixes. Além disso, contribuíram para a qualidade da água, atuando com propriedades tamponantes e de adsorção, e estimulantes da biota, disponibilizando minerais essenciais necessários para o equilíbrio e saúde do sistema de cultivo.

Produziu-se um protocolo semanal para aplicação dos insumos e tratamentos experimentais, segundo as formulações simbióticas preconizadas (Quadro 3):

*Quadro 3 - Protocolo semanal de aplicação dos protocolos dos tratamentos experimentais, segundo as formulações simbióticas preconizadas.*

DIA	PROCEDIMENTO
SEGUNDA FEIRA	Adicionar 0.8 g do mix bioflocos em cada tanque contendo 800 litros de água (dose = 1 g/m <sup>3</sup> ).
TERÇA FEIRA	Adicionar 1.6 g de Azomite somente aos tanques Mix Azomite e Receita Caseira contendo 800 litros (dose = 2 g/m <sup>3</sup> ).
QUARTA FEIRA	Adicionar 2.4 g de Lothar em cada tanque contendo 800 litros (dose = 3 g/m <sup>3</sup> ). Iniciar o preparo dos simbióticos em baldes de 30 litros e deixar fermentando por 24 horas.
QUINTA FEIRA	Colocar 4 g de silicato de magnésio em cada tanque contendo 800 litros (dose = 5 g/m <sup>3</sup> ). Iniciar o processo de 24 horas de aeração nos baldes.
SEXTA FEIRA	Fertilizar os tanques com o simbiótico equivalente a cada tratamento.

Em caso de desequilíbrios nos parâmetros da água, eram utilizados os seguintes tratamentos: Açúcar Cristal (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) adicionado na proporção de 6:1 (C:N) para

auxiliar na oxidação de amônia e; Bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), na dose de  $17\text{g/m}^3$  para subir em 10 pontos a alcalinidade.

Todos os insumos e suplementos eram pesados numa balança de precisão com precisão de 0,1 gramas.

#### 4.5 Monitoramento dos Parâmetros

A mensuração das concentrações de compostos nitrogenados, como amônia total e nitrito, foi realizada utilizando kits colorimétricos comerciais Alcon Labcon® (Figura 2), seguindo rigorosamente as instruções do fabricante.

Esses kits utilizam reagentes que, ao serem adicionados à amostra de água, produzem uma reação química resultando em uma coloração específica, que pode ser comparada a uma escala de cores para determinar a concentração dos compostos presentes. Esse procedimento foi fundamental para acompanhar a dinâmica dos compostos nitrogenados ao longo do período experimental, permitindo ajustes no manejo sempre que necessário.

Figura 2 - Kits colorimétricos (Alcon Labcon®)



Fonte: <https://alconpet.com.br/>, 2024.

Outro parâmetro essencial para a estabilidade do sistema foi a medição dos sólidos sedimentáveis (SS), que se acumulam na água devido à presença de bioflocos, matéria orgânica e resíduos metabólicos. A metodologia utilizada para medir os sólidos sedimentáveis (SS) foi descrita por Boyd (2021).

Para essa análise, foram utilizados Cones de Imhoff, representados na Figura 3. Esses cones são instrumentos padronizados na aquicultura para medir a quantidade de partículas em suspensão que se depositam no fundo da amostra dentro de um tempo pré-determinado. O volume de sólidos sedimentáveis foi registrado em mL por litro de água, e níveis elevados indicaram a necessidade de intervenções, como processos de

decantação para remover o excesso de partículas e manter a qualidade da água adequada para o cultivo.

*Figura 3 - Cones de Imhoff (mL/L)*



Fonte: O autor, 2024

Além desses testes, outros parâmetros como pH, oxigênio dissolvido (mg/L), temperatura (C) e salinidade (PSU) foram monitorados com o auxílio de uma sonda multiparâmetros HANNA (HI 98194<sup>®</sup>), garantindo uma avaliação completa das condições do ambiente aquático.

*Figura 4 - Sonda Multiparâmetro HANNA (HI 98194<sup>®</sup>)*



Fonte: <https://hannainst.com.br/>, 2024

#### 4.6 Povoamento e Biometria

O povoamento foi realizado na quarta semana, após o início dos protocolos de fertilização simbiótica do experimento, usando como referência a ocasião na qual o total de sólidos sedimentáveis (SS) ultrapassou 5mL/L. Um total de 90 Tilápias (*Oreochromis niloticus*) foram distribuídas uniformemente entre os tanques MIX Azomite (MA), MIX Controle (MC) e Receita Caseira (RC). Foram colocados trinta espécimes com média de 171,67 gramas de peso cada, em cada um dos tanques experimentais contendo volume útil de 800 litros de água, perfazendo uma biomassa inicial de 6,44 kg/m<sup>3</sup> por tanque.

As biometrias foram repetidas aos dias 30 e 63 após o povoamento. Os peixes foram coletados diretamente dos tanques, com auxílio de uma rede de pesca (2 metros de altura e malha 5mm), colocados agrupados em um engradado plástico agrícola, de 55 x 31 x 36 cm, pesando 250 gramas e, então, imediatamente pesados em uma balança de precisão em gramas (TOLEDO®, modelo 2099013), descontando-se o peso do engradado para gerar o peso total do lote. Objetivando evitar manejo excessivo e eventual estresse nos espécimes, o peso individual médio por espécime foi estimado a partir do cálculo do peso total dividido pelo número de indivíduos de cada lote.

#### 4.7 Arraçoamento

A ração utilizada para o arraçoamento dos espécimes durante o experimento foi a Guabi Aqua® com granulometria de 4 a 6 mm, contendo um teor proteico de 32%. A taxa de alimentação utilizada para calcular a ração administrada diariamente foi de 3% do peso vivo, distribuída em quatro tratos diários.

Segundo o fabricante, a ração utilizada apresentava os seguintes níveis de garantia por quilo de produto: umidade (máx.): 100 g; extrato etéreo (mín.): 65 g; fibra bruta (máx.): 70 g; matéria mineral (máx.): 140 g; cálcio (máx.): 35 g; fósforo (mín.): 6.000 mg.

#### 4.8 Decantação

O processo de decantação foi necessário para quando as concentrações de sólidos sedimentáveis (SS) ultrapassassem 50 mL/L<sup>-1</sup>. Foi confeccionado um decantador experimental com capacidade de 60 litros, usando sistema *Air Lift*, via conexão de um soprador de ar atmosférico, para transferência de água entre o tanque e o decantador (Figura 5).

Figura 5 - Decantador modelo Air Lift de 60 litros acoplado ao tanque experimental



Fonte: do autor, 2024

Devido a variação no fluxo de água apresentada durante as decantações, foi montada uma tabela no software Microsoft Excel® (Quadro 4) para calcular a vazão de água e o fluxo de sólidos sedimentáveis para decantar com precisão, os tanques MA, MC e RC. Esse cálculo se provou eficaz, obtendo grande acurácia no manejo dos sólidos sedimentáveis, mantendo os tratamentos com faixas entre 20 e 50 mL/L<sup>-1</sup>.

Quadro 4 - Planilha para calcular o tempo de decantação dos tanques

VARIAVEIS CONSIDERADAS	DADOS	UNIDADES FUNDAMENTAIS (SI)
O tanque tem capacidade de		litros
Decantador devolve (n) litros ao tanque a cada		segundos
O decantador recebe e devolve toda a agua do tanque em		horas
O total de solidos (SS) inicial no tanque é de		mL/L
O total de solidos (SS) no cano de retorno do decantador é de		mL/L
O total de solidos (SS) removidos por minuto é de		mL/minuto
O total de solidos (SS) removidos por hora é de		L/h
Quanto de solidos deve permanecer no tanque (SS ideal)		mL/L
Quanto de solidos (SS) precisará ser removido do tanque		mL de solidos por litro
Desejo remover		litros de solidos removidos do tanque
<b>Precisarei de HORAS</b>		HORAS de decantacao para remover o que desejo do tanque
PS1. Na aba HORAS, cada 1 numero apos a virgula, corresponde a 6 minutos, ou seja:		
1=6min/ 2=12min/ 3=18min/ 4=24min/ 5=30min/ 6=36min/ 7=42min 8=48min/ 9=54min		

Fonte: Software Microsoft Excel®, 2024.

#### 4.9 Análise Estatística

A análise dos dados foi realizada por meio da ferramenta “Suplementos de Análise de Dados” do software Microsoft Excel®. A normalidade dos resíduos para cada variável foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk e as variáveis dependentes foram todas consideradas de distribuição não-normal. As variáveis dependentes contínuas (pH, amônia total, amônia tóxica, nitrito e temperatura) foram, a priori, analisadas pelo teste de Kruskal-Wallis. Para as variáveis nas quais se observou significância estatística no teste de Kruskal-Wallis, procedeu-se “*análise a posteriori*” para múltiplas comparações, aplicando-se o teste de Dunn, indicado como *post-hoc* test para comparação entre tratamentos com número variável de amostras. O nível de significância adotado para rejeitar H<sub>0</sub> (hipótese de nulidade) foi de 5%, isto é, para um nível de significância menor que 0,05, se considerou que houve efeito das variáveis classificatórias e das suas interações.

Para os dados de desempenho, tais como peso, biomassa e fator de conversão alimentar, optamos por não realizar a pesagem individual dos espécimes dos tanques devido a questões inerentes ao risco biológico do estresse de manejo, além da hierarquia logística pertinente às condições de campo. O ganho de peso (gramas/dia) individual foi estimado, dividindo-se o peso total do lote pelo número de indivíduos do lote. Assim, considerando que o ganho de peso é uma variável conhecidamente de baixo coeficiente de variação (inferiores a 10%) (Mohallem et al., 2008), decidimos assumir que a hipótese de homocedasticidade é verdadeira para estes dados e que, portanto, a variância dos erros é constante para os três tratamentos, considerando 90 indivíduos (30 por tratamento). Os Intervalos de Confiança (IC) das médias para erro igual a 0,05 apresentam a distribuição de comparações onde letras iguais representam sobreposição de valores nos respectivos IC e letras diferentes demonstram que não houve sobreposição, indicando diferença estatística entre os IC para valores de  $p$  menores ou iguais a 0,05 (95% de confiança). A fórmula para calcular o IC foi dada por:

$$IC = \bar{x} \pm 1,96 (s / \sqrt{n})$$

onde:

IC = intervalo de confiança

$\bar{x}$  = média da amostra

1,96 = valor crítico para o nível de confiança de 95%

$s$  = desvio padrão da amostra

$n$  = tamanho da amostra

A fórmula para calcular o Fator de Conversão Alimentar (FCA) foi dada por: ***FCA = quantidade total de alimento consumido no período / ganho de peso no período***

## 5. RESULTADOS

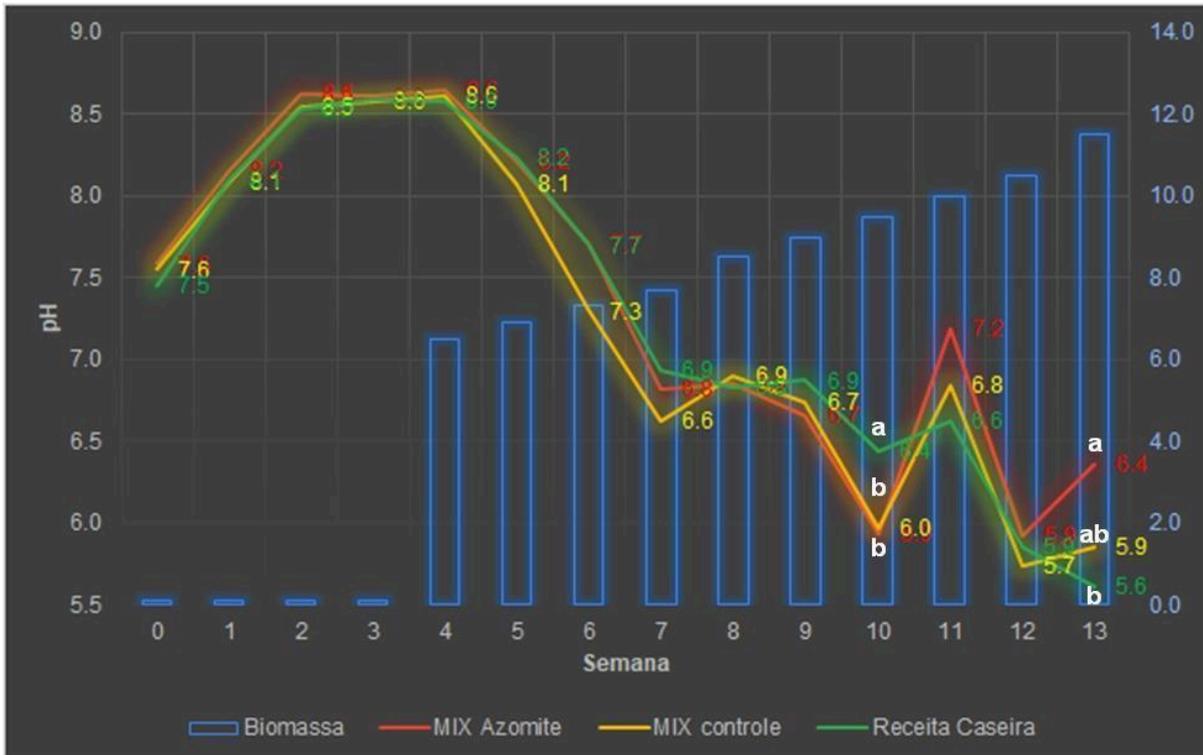
### 5.1 Parâmetros

#### 5.1.1 PH

Ao início do experimento, com uso de bicarbonato de sódio, o pH de todos os tanques foi estabilizado em 7,5 (Figura 6). Variações eventuais no pH foram observadas ao longo das semanas e após o povoamento dos tanques. Objetivando minimizar os efeitos do pH sobre o processo de ionização da amônia e consequente conversão em amônia tóxica após o povoamento, entre a sexta e a sétima semanas, o pH foi reduzido gradualmente a valores próximos de 6,5. Na décima semana, o tratamento RC apresentou diferença significativa nos valores de pH em comparação aos tratamentos MA e MC.

Na décima semana o tratamento RC apresentou média significativamente maior em relação às médias dos outros tratamentos. Entre a décima e a décima primeira semanas, ocorreu um aumento aproximado de 1 ponto no pH, em virtude da necessidade de adição de água tratada com hidróxido de cálcio conhecida popularmente como cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), e bicarbonato de sódio para reposição de volume útil de água após o processo de decantação no qual houve perda em torno de 30 litros de água por tanque. A opção pela correção do pH com cal hidratada ocorreu em ocasiões às quais se procurou evitar a salinização dos tanques, eventualmente ocasionada pelo uso de bicarbonato de sódio.

Na última semana do experimento, os tratamentos MA e RC apresentaram diferenças significativas entre suas médias de pH, porém o tratamento MC apresentou taxas de pH semelhantes aos tratamentos supracitados. Essas oscilações presenciadas nas semanas finais do experimento ocorreram devido ao processo de acidificação do sistema em detrimento das altas concentrações de sólidos.



abc Médias seguidas de letras diferentes na mesma semana diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis com post-hoc de Dunn ao nível de 5% de significância.

Fonte: "Suplementos de Análise de Dados" do Microsoft Excel® (2024).

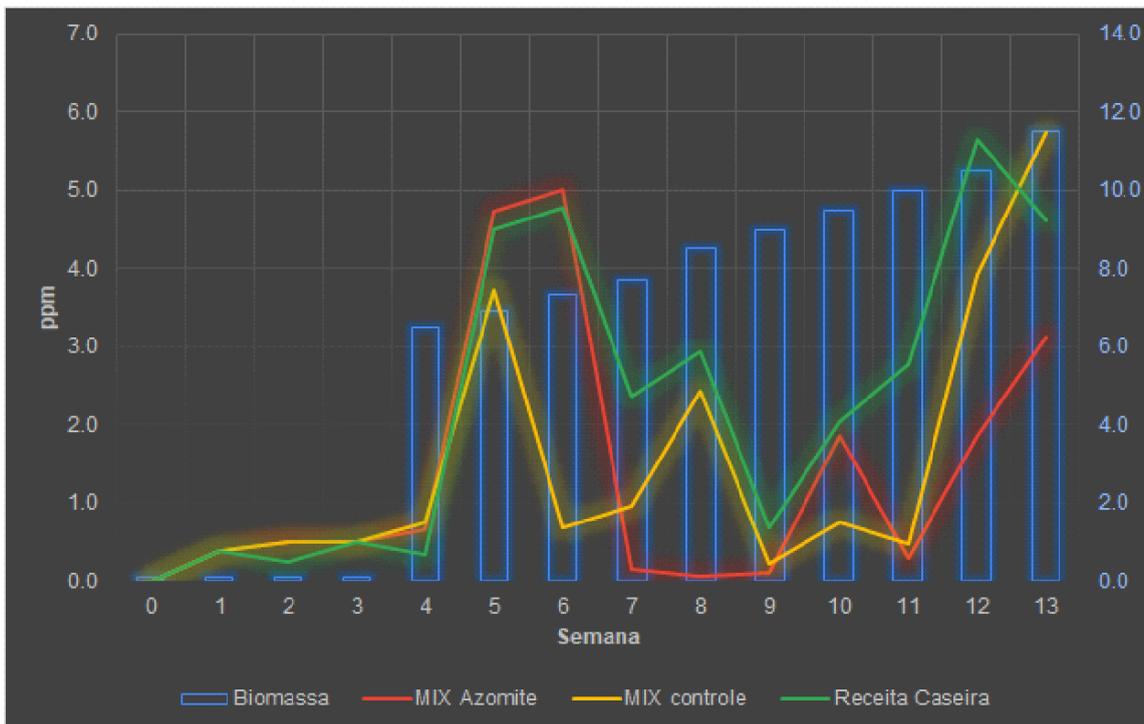
### 5.1.2 Amônia total

A Amônia Total (TAN) iniciou e permaneceu abaixo de 1 ppm até o povoamento dos tanques na quarta semana (Figura 6). Na quinta semana, houve um aumento acentuado nos três tratamentos, atribuído à adição de ração e à excreção de compostos nitrogenados pelos peixes. Este aumento de até 5 ppm nas semanas seguintes ao povoamento são indicativos de que a população de microrganismos nitrificantes ainda não se encontrava suficientemente estabelecida, culminando com ineficiência na conversão dos montantes diários de compostos nitrogenados dissolvidos nos tanques, causando, assim, sua acumulação.

O tanque MC apresentou os menores valores iniciais após o povoamento, enquanto os tanques MA e RC registraram valores mais elevados, sendo este último, o maior. Após esse período, ocorreram oscilações nos valores entre os tanques. O MC manteve os menores níveis de TAN até a décima primeira semana, quando apresentou um aumento significativo e sustentado até o final do experimento. O tanque RC apresentou os maiores níveis de TAN durante todo o experimento, enquanto o MA manteve os menores valores até o término do estudo.

Ao se considerar as diferenças encontradas nas médias entre os tratamentos ao longo do tempo, foi possível perceber que houveram oscilações significativas nos teores de amônia, sem, contudo, demonstrarem um padrão definido, o que tornou esta variável de difícil interpretação. Vale ressaltar que nas semanas 5 e 6, e nas semanas 12 e 13, foi observado aumento da amônia em todos os tratamentos, possivelmente em virtude do aumento de sólidos sedimentáveis.

Figura 7 - - Média semanal da concentração de amônia total (TAN) em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.



abc Médias seguidas de letras diferentes na mesma semana diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis com post-hoc de Dunn ao nível de 5% de significância.

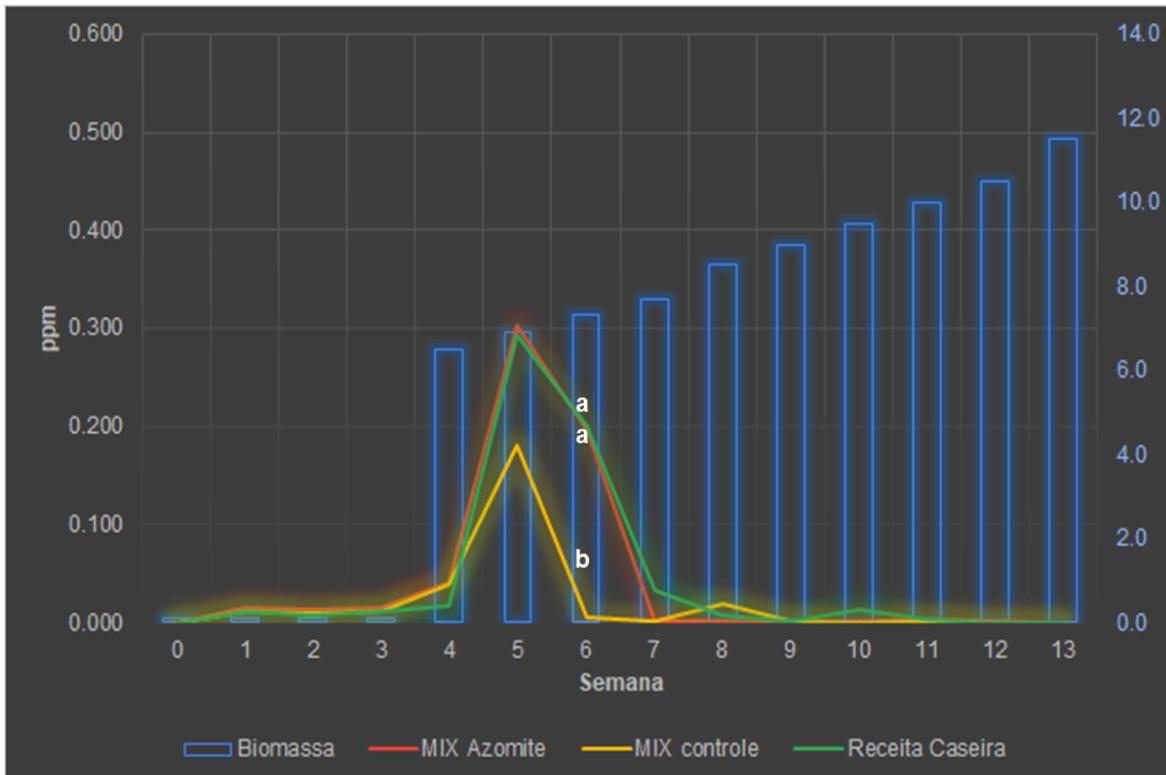
Fonte: "Suplementos de Análise de Dados" do Microsoft Excel® (2024).

### 5.1.3 Amônia Tóxica

Apesar das concentrações de TAN terem oscilado significativamente entre os tanques e ao longo das semanas, ao se aferir a amônia não-ionizada (tóxica), somente nas duas primeiras semanas após o povoamento (semanas 5 e 6) foram encontradas concentrações consideradas como risco de morbidade/letalidade, principalmente nos tratamentos MA e RC, os quais alcançaram valores de 0,300 ppm e 0,290 ppm respectivamente. O MC acompanhou o aumento de concentração de amônia não-ionizada (tóxica) tal qual observado nos outros tratamentos, porém obteve máximas de 0,180 ppm.

Este achado provavelmente decorreu do povoamento inicial com biomassa de 6,44 kg/m<sup>3</sup>. Apesar disso, nas semanas posteriores, foi possível controlar a fração não-ionizada da amônia, mantendo-a em níveis não-tóxicos, em virtude da acidificação do sistema própria da atividade microbiana, bem como da adição deliberada de água ácida (pH 5), com o mesmo objetivo.

Figura 8 - Média semanal da concentração de amônia tóxica em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.



abc Médias seguidas de letras diferentes na mesma semana diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis com post-hoc de Dunn ao nível de 5% de significância.

Fonte: "Suplementos de Análise de Dados" do Microsoft Excel® (2024).

#### 5.1.4 Nitrito

Desde a primeira semana do experimento todos os tratamentos apresentaram aumento gradual nas concentrações de nitrito, sobretudo nas semanas após o povoamento, com médias alcançando concentrações máximas de 2,85 ppm na semana 7, em ambos os tratamentos (Figura 9).

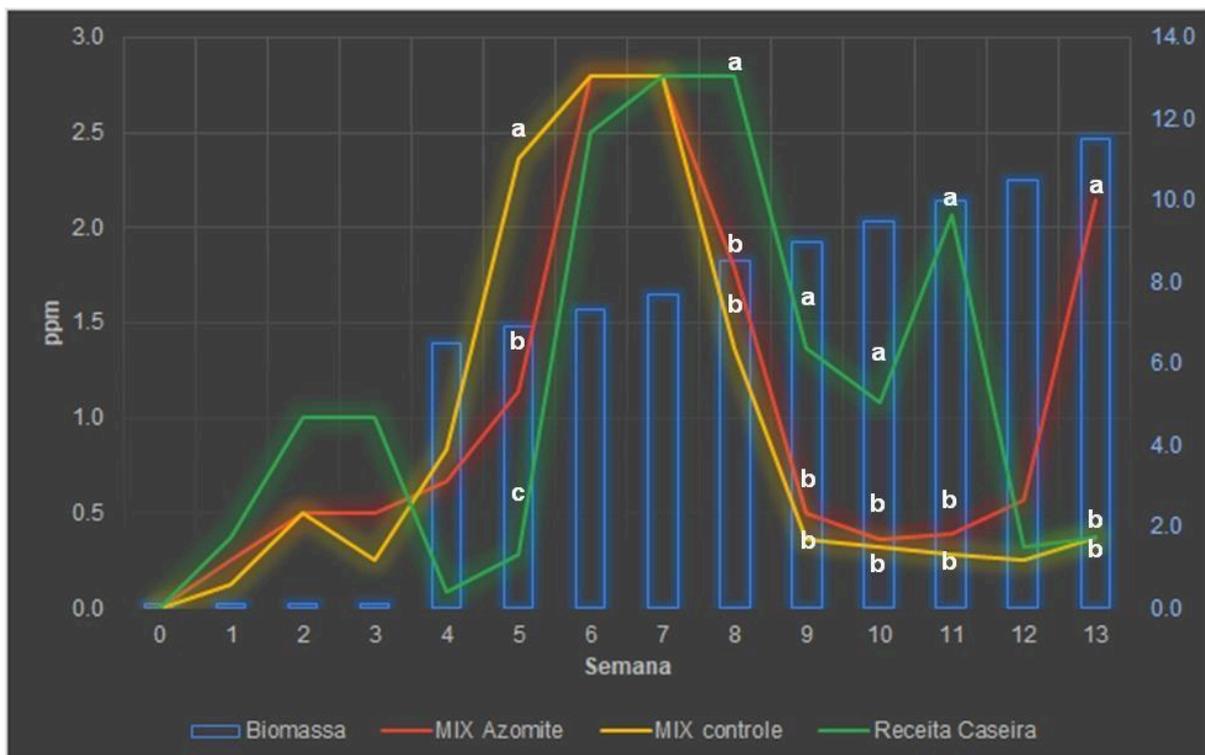
Na quinta semana pudemos notar a diferença significativa entre as médias dos 3 tratamentos onde obtivemos a menor concentração de nitrito no tanque RC e maiores médias no tanque MC. Esse aumento está relacionado à introdução de compostos nitrogenados, resultantes do metabolismo e da alimentação dos peixes após o

povoamento. Além de estar associado também à quantidade e à estabilidade das bactérias oxidantes de nitrito (NOB) que cada tratamento foi capaz de sustentar, influenciadas pelas receitas dos simbióticos.

Da sexta à sétima semana, o aumento das concentrações de nitrito se manteve na mesma proporção em todos os tratamentos. Já da oitava até a décima primeira semana, somente os tratamentos MC e MA mantiveram médias semelhantes, enquanto o tratamento RC oscilou constantemente tendo seu pico máximo na décima primeira semana onde atingiu concentrações médias de 2,25 ppm.

A partir da décima primeira semana os tratamentos MA e RC oscilaram, sendo que o tratamento RC diminuiu para menos de 0,5 ppm de nitrito, enquanto o tratamento MA apresentou um aumento significativo entre as duas semanas finais do experimento. Essas variações se devem supostamente à diminuição da população de bactérias quimioautotróficas conversoras de nitrito, devido à sua remoção parcial no processo de decantação, causando oscilações inevitáveis nas concentrações de nitrito no sistema. Apesar dos tratamentos apresentarem altas taxas de nitrito durante as semanas 6, 7 e 8, os peixes não apresentaram sinais clínicos de intoxicação, hipóxia ou cianose. Isto confirma que o tratamento com cloreto de sódio ajudou a controlar o acúmulo de  $\text{NO}_2^-$  no organismo dos peixes.

Figura 9 - Média semanal da concentração de nitrito em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.



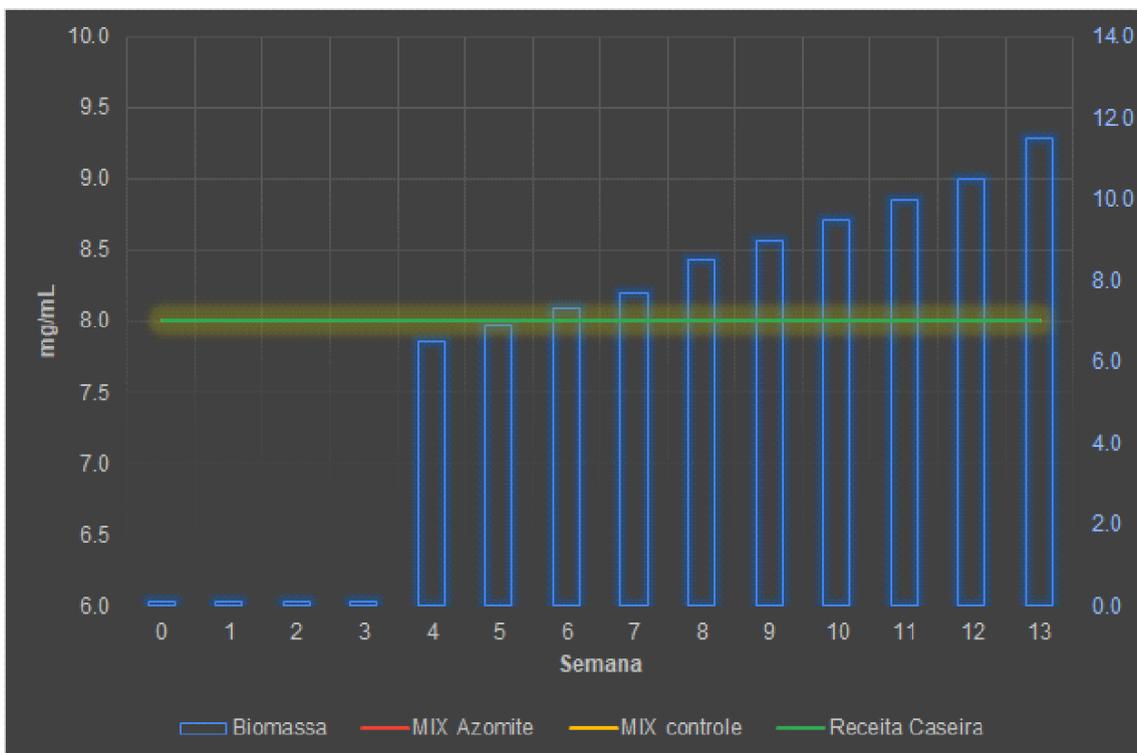
abc Médias seguidas de letras diferentes na mesma semana diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis com post-hoc de Dunn ao nível de 5% de significância.

Fonte: "Suplementos de Análise de Dados" do Microsoft Excel® (2024).

### 5.1.5 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido foi mantido na proporção de  $8 \text{ mg/L}^{-1}$  em todos os tanques. Essa taxa se provou suficiente para sustentar a DBO e DQO do sistema.

Figura 10 - Média semanal da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.



Para a variável oxigênio dissolvido não houve diferença significativa entre tratamentos apresentados pelo teste de Kruskal-Wallis..

Fonte: "Suplementos de Análise de Dados" do Microsoft Excel®, 2024).

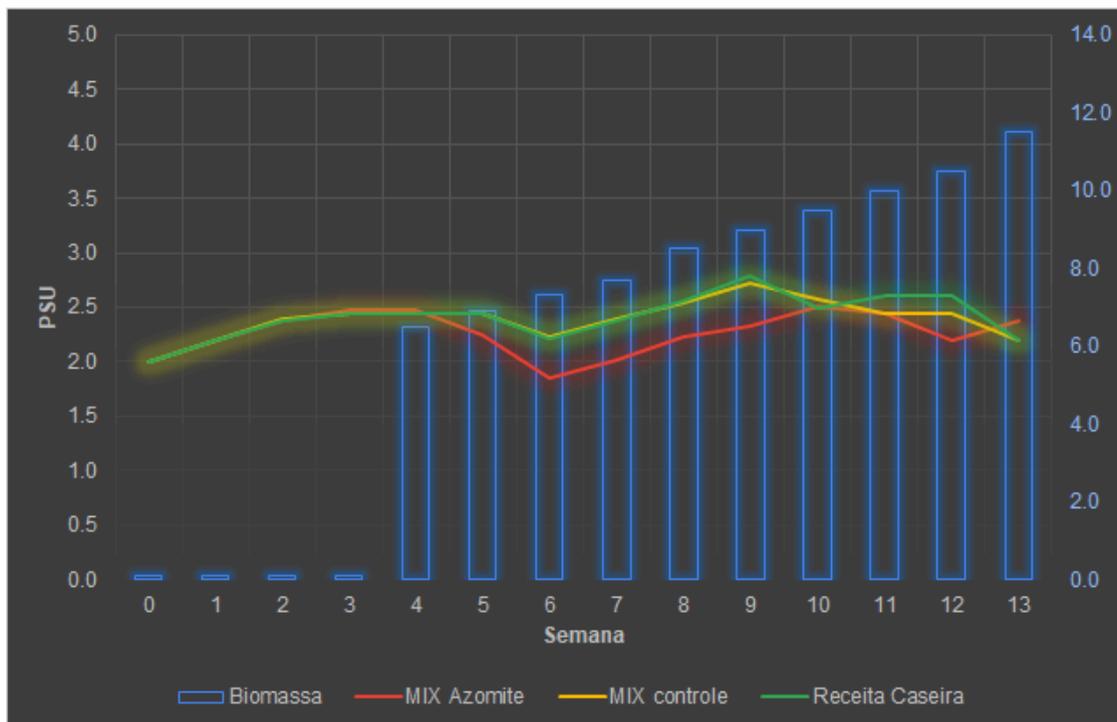
### 5.1.6 Salinidade

A salinidade foi inicialmente padronizada em 2 PSU através da adição de 1,6 quilos de sal (NaCl) para 800 litros de água em cada tanque experimental. Ao longo do experimento, as concentrações médias variaram de 2 PSU a 2,75 PSU, com exceção do tratamento MA que apresentou o valor de 1,85 PSU na sexta semana (Figura 11). As médias das concentrações de salinidade foram mantidas através de adições assíduas de bicarbonato de sódio. Até a quarta semana não houveram tendências expressivas na salinidade dos tanques. A partir da sexta semana, onde ocorreu a primeira decantação, os

valores apresentados no tratamento MA foram numericamente menores que os demais, fato ocorrido devido ao processo de decantação, pelo qual os tratamentos MC e RC tiveram metade do conteúdo da decantação (30 litros) devolvido aos seus respectivos tanques. Já no tratamento MA, o conteúdo do decantador (60 litros) não pôde ser devolvido, pois a água decantada ficou agitada ao fim do processo, ressuspensando os sólidos até a lâmina d'água depositada no decantador. Devido a isto, o volume de água doce repostado no tanque MA, foi de 30 litros a mais que os demais tratamentos.

Posteriormente à decantação, os tratamentos mantiveram um aumento gradual da salinidade até a décima semana, onde os três tratamentos apresentaram salinidade semelhante. A partir daí a salinidade se manteve constante em todos os tratamentos. As oscilações nas concentrações de sais nas semanas 6, 10 e 13 se deveu às decantações realizadas nesse período, associadas a inserção de água doce nos tanques.

*Figura 11 - Média semanal da concentração de sais dissolvidos em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.*



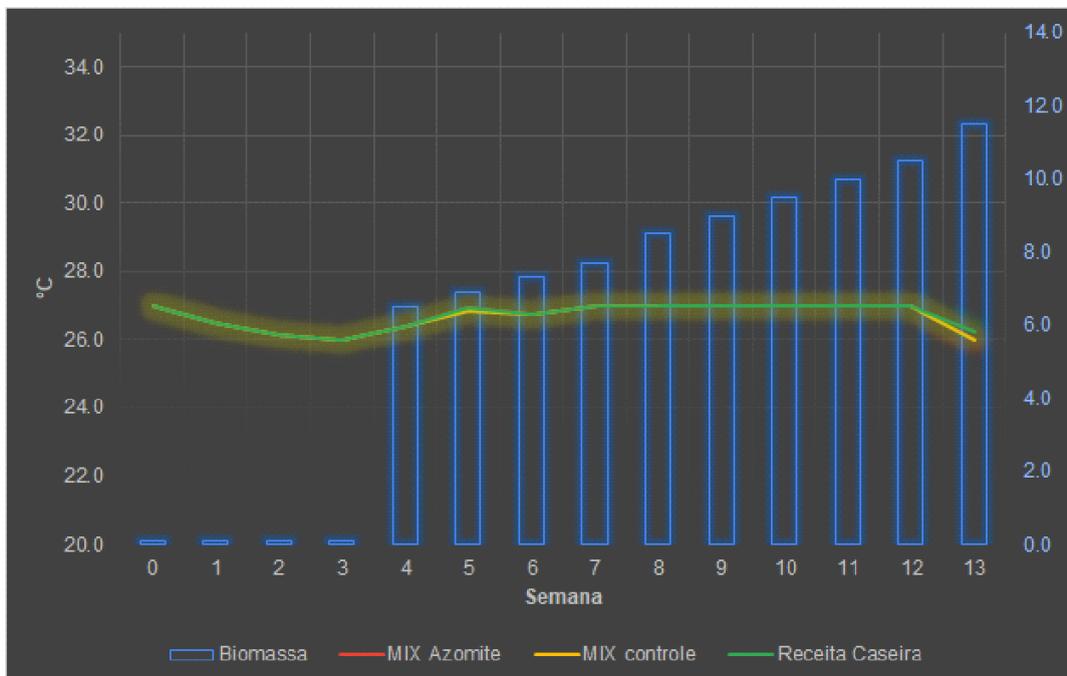
Para a variável salinidade não foi apresentada análise estatística de comparação de médias, pois foi coletada apenas uma única amostra por semana.

Fonte: "Suplementos de Análise de Dados" do Microsoft Excel® (2024)

### 5.1.7 Temperatura

O monitoramento da temperatura dos tanques apontou que a água de cultivo se manteve naturalmente entre 26 e 27 °C, o que é compatível com boa saúde e conversão alimentar em tilápias.

Figura 12 - Média semanal de temperatura em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.



Para a variável temperatura não houve diferença significativa entre tratamentos apresentados pelo teste de Kruskal-Wallis.

Fonte: "Suplementos de Análise de Dados" do Microsoft Excel® (2024)

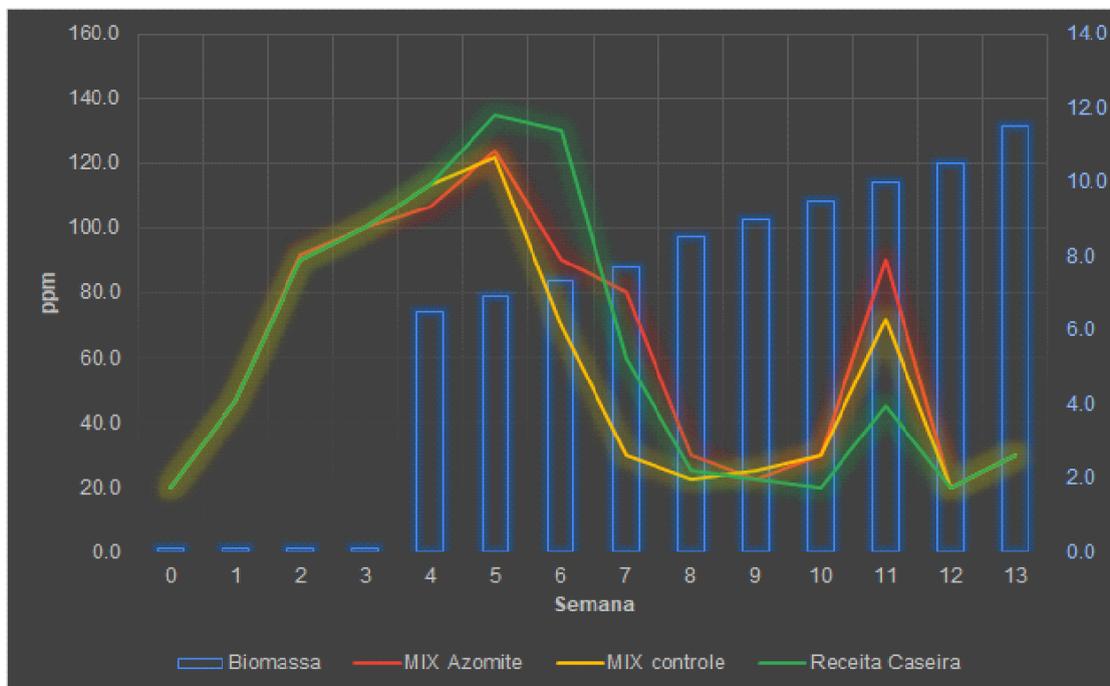
### 5.1.8 Alcalinidade

Os níveis de alcalinidade foram padronizados em 20 ppm na primeira semana através da adição de 34 gramas de bicarbonato de sódio em cada tanque experimental. As concentrações de carbonatos e bicarbonatos continuaram semelhantes entre os tratamentos e aumentando gradativamente devido à adição diária de 17 gramas de bicarbonato de sódio a todos os tanques, o que manteve alcalinidade em valores acima de 100 ppm até a sexta semana (duas semanas pós-povoamento).

A partir da sexta para a sétima semana houve queda significativa da alcalinidade em ambos os tratamentos. Este padrão de oscilação é comum após manejos de povoamento. Isto provavelmente se deveu a alterações na população de bactérias heterotróficas e autotróficas proveniente do aumento súbito de compostos nitrogenados na água de cultivo, algo já esperado, se considerando cada tanque como um ecossistema único e individual. Neste período, a alcalinidade decaiu desde concentrações médias próximas a 120 ppm, até a faixa dos 20 ppm, lembrando que este fenômeno decorre do aumento na taxa de conversão dos compostos nitrogenados exercido pela biota que consome alcalinidade no processo.

A partir da nona semana voltamos a alcalinizar diariamente os tratamentos através da adição de bicarbonato de sódio, devido a isso na décima primeira semana o tratamento MA apresentou a maior média entre os três tanques (90 ppm), o tratamento MC apresentou concentrações de 70 ppm e o RC apresentou as menores taxas de alcalinidade (50 ppm), porém sem diferença estatística. Nas semanas seguintes, veio novamente uma queda na alcalinidade em ambos os tratamentos, devida ao aumento de SS no sistema.

Figura 13 - Média semanal de alcalinidade em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.



Para a variável alcalinidade não foi apresentada análise estatística de comparação de médias, pois foi coletada apenas uma única amostra por semana.

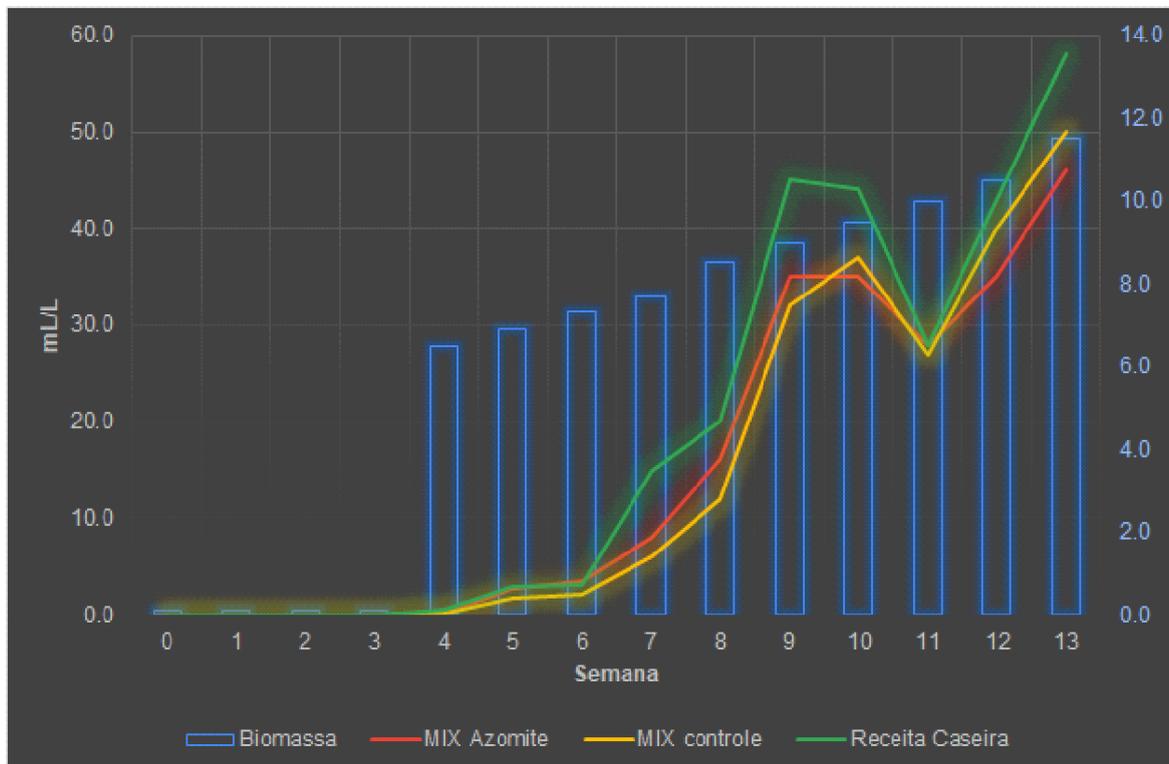
Fonte: "Suplementos de Análise de Dados" do Microsoft Excel® (2024)

### 5.1.9 Sólidos Sedimentáveis

Desde a primeira semana até o povoamento, realizado na quarta semana, os sólidos sedimentáveis apresentaram taxas menores que  $1 \text{ mL/L}^{-1}$  em todos os tanques, mesmo com adição semanal do simbiótico e uma adição diária realizada na quarta semana do experimento. Após o povoamento até a sexta semana a concentração de sólidos subiu gradualmente alcançando médias de  $3 \text{ mL/L}^{-1}$  em todos os tratamentos e mantendo seus aumentos progressivos.

Na sétima semana, o tratamento RC apresentou média de  $15 \text{ mL/L}^{-1}$ , o tratamento MA obteve concentrações de  $8 \text{ mL/L}^{-1}$  e o tratamento MC obteve total de SS de  $5 \text{ mL/L}^{-1}$  ( $P>0,05$ ). O aumento das concentrações de sólidos suspensos se manteve gradual em todos os tratamentos até a nona semana. Na décima primeira semana foi realizada a decantação e padronizadas o total de SS ( $26 \text{ mL/L}^{-1}$ ). Após a decantação os SS tornaram a subir gradualmente em todos os tratamentos, conforme o esperado para sistemas multitróficos com fertilização simbiótica.

Figura 14 - Média semanal da concentração de sólidos sedimentáveis (SS) em tanques de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica, durante o período experimental.



Para a variável SS não foi apresentada análise estatística de comparação de médias, pois foi coletada apenas uma única amostra por semana.

Fonte: "Suplementos de Análise de Dados" do Microsoft Excel®

Devido à perda evaporativa foi necessário repor 130 litros de água por tanque em todo o período experimental (0,27% ao dia). Já, o processo de perda devido ao processo de decantação, demandou reposição de 90 litros no mesmo período de 63 dias, sendo em média 30 litros perdidos por decantação realizada a cada 21 dias, em média, o que correspondeu a 0,18% ao dia. Durante o período experimental não houve necessidade de troca ou reposição de água devido a desequilíbrio nos parâmetros físico-químicos da água, mas apenas realização dos tratamentos químicos descritos no item 4.4 da metodologia.

Obviamente, devemos considerar fortemente o fato de os estudos terem sido realizados em tanques de apenas 1m<sup>3</sup>, o que eleva significativamente as perdas percentuais de água por evaporação e decantação em relação ao volume útil do tanque, além do maior risco de desequilíbrio de parâmetros. Assim, em sistema multitrófico com fertilização simbiótica, se pode considerar que a necessidade de reposição máxima total de água se encontra no patamar médio de 0,45% ao dia (aproximadamente 3% por semana ou 12% ao mês).

#### **5.1.10 Ganho de Peso**

Segue na tabela 1, as médias e os respectivos erros-padrão das médias ( $\bar{x} \pm EPM$ ) das variáveis biométricas e fator de conversão alimentar (FCA) coletados no primeiro ciclo (0 a 30 dias) e no segundo ciclo (30 a 63 dias) do período experimental.

Na tabela 1 se pode observar que o tratamento RC apresentou desempenho zootécnico consistentemente superior durante todo o experimento, sendo significativamente superior ao MA e similar ao tratamento MC. Os mesmos resultados puderam ser observados em relação ao incremento da biomassa alcançada nos tanques, já que, nos primeiros trinta dias de cultivo, o ganho de peso relativo no tratamento RC foi mais de duas vezes superior ao observado no tratamento MA, atingindo uma diferença de +138%. Já, entre 30 e 63 dias de cultivo a superioridade se manteve, porém em um patamar de +30%, evidenciando melhor ganho de peso diário no tratamento RC (Tabela 1) em relação ao MA. O incremento de ganho de peso do MC em relação ao MA na primeira e segunda metade do experimento foram de 77% e 22%, respectivamente.

O fator de conversão alimentar (FCA) também foi significativamente melhor (mais baixo) nos tratamentos RC e MC em relação ao tratamento MA. No ciclo inicial (0 a 30 dias) o FCA foi pior (mais alto) em todos os tratamentos, sendo significativamente mais

alta no tratamento MA. Isto ocorreu provavelmente devido às altas concentrações de nitrito e amônia tóxica nas primeiras semanas após o povoamento (Figuras 8 e 9), o que pode ter prejudicado o metabolismo dos espécimes, deixando-os menos ativos e com perda de apetite durante o período inicial de cultivo. Ao se considerar o segundo ciclo, (30 a 63 dias), o FCA apresentado ficou situado entre 1,49 (RC) e 1,93 (MA) ( $P < 0,05$ ).

Ao se considerar o apanhado geral do desempenho zootécnico de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com fertilização simbiótica, se pôde evidenciar a diferença estatística ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos RC e MA, onde o tratamento RC, desde o período de povoamento até o encerramento do experimento, obteve os melhores resultados de peso individual, peso do lote, biomassa, fator de conversão alimentar e ganho de peso absoluto e relativo. Esses resultados sugerem que a formulação caseira (RC) proporcionou uma melhor disponibilidade e aproveitamento dos nutrientes neste tratamento. Também não houve efeito da suplementação com  $2\text{g/m}^3$  de Azomite adicionado diretamente à água de cultivo, sobre o desempenho das tilápias, nas condições experimentais aqui apresentadas.

Tabela 1 - Médias  $\pm$  EPM dos dados biométricos de tilápias cultivadas em sistema multitrófico com diferentes métodos de fertilização simbiótica ao longo do período experimental.

Variáveis biométricas*	Tratamento		
	MIX Azomite (MA)	MIX Controle (MC)	Receita Caseira (RC)
<i>n</i> unidades amostrais	30	30	30
<i>dia</i> **			
Peso por indivíduo (g)			
0	171,67 $\pm$ 1,0	171,67 $\pm$ 1,0	171,67 $\pm$ 1,0
30	193,33 $\pm$ 8,68 <sup>B</sup>	210,00 $\pm$ 8,68 <sup>AB</sup>	223,33 $\pm$ 8,68 <sup>A</sup>
63	296,67 $\pm$ 17,77 <sup>B</sup>	335,71 $\pm$ 17,77 <sup>A</sup>	357,41 $\pm$ 17,77 <sup>A</sup>
Peso do lote (kg/tanque)			
0	5,15 $\pm$ 0,1	5,15 $\pm$ 0,1	5,15 $\pm$ 0,1
30	5,80 $\pm$ 0,26 <sup>B</sup>	6,39 $\pm$ 0,26 <sup>AB</sup>	6,70 $\pm$ 0,26 <sup>A</sup>
63	8,90 $\pm$ 0,53 <sup>B</sup>	10,07 $\pm$ 0,53 <sup>A</sup>	10,72 $\pm$ 0,53 <sup>A</sup>
Biomassa (kg/m <sup>3</sup> )			
0	6,44 $\pm$ 0,1	6,44 $\pm$ 0,1	6,44 $\pm$ 0,1
30	7,25 $\pm$ 0,32 <sup>B</sup>	7,88 $\pm$ 0,32 <sup>AB</sup>	8,38 $\pm$ 0,32 <sup>A</sup>
63	11,13 $\pm$ 0,67 <sup>B</sup>	12,59 $\pm$ 0,67 <sup>A</sup>	13,40 $\pm$ 0,67 <sup>A</sup>
Ganho de peso absoluto (g/dia) média $\pm$ EPM			
0-30	0,72 $\pm$ 0,29 <sup>B</sup>	1,28 $\pm$ 0,29 <sup>AB</sup>	1,72 $\pm$ 0,29 <sup>A</sup>
30-63	3,13 $\pm$ 0,28 <sup>B</sup>	3,81 $\pm$ 0,28 <sup>A</sup>	4,06 $\pm$ 0,28 <sup>A</sup>
Ganho de peso relativo*** (%)			
0-30		+77%	+138%
30-63		+22%	+30%
Fator de Conversão Alimentar (FCA)			
0-30	5,98 $\pm$ 1,04 <sup>A</sup>	3,38 $\pm$ 1,04 <sup>B</sup>	2,51 $\pm$ 1,04 <sup>B</sup>
30-63	1,93 $\pm$ 0,13 <sup>A</sup>	1,59 $\pm$ 0,13 <sup>B</sup>	1,49 $\pm$ 0,13 <sup>B</sup>

<sup>AB</sup> Letras diferentes na mesma linha demonstram diferença estatística entre os Intervalos de Confiança das Médias para valores de *p* menores ou iguais a 0,05.

\*\*Dia em relação ao povoamento dos tanques.

\*\*\*Ganho de peso adicional em relação ao tratamento menos eficiente.

## 6. DISCUSSÃO

Visando manter níveis aceitáveis à biologia da espécie, no presente estudo, o pH foi mantido entre as faixas de 5.5 a 9.0, a fim de evitar alterações no crescimento da Tilápia (*Oreochromis niloticus*), como constatado por Rebouças et al. (2016). Já, para otimizar o metabolismo das bactérias nitrificantes, o pH ideal é acima de 7 (Goddek et al., 2015).

Sob cobertura que controlava a incidência de luz solar, a temperatura da água nos tanques experimentais se manteve entre 26 e 27 °C. Este padrão de temperatura se encontra compatível com o patamar considerado ótimo para obtenção de maior conversão alimentar e boa imunidade, resultando em maior taxa de ganho de peso e maior peso corporal final (Zeng et al., 2022; Hamed et al., 2024).

A salinidade foi mantida entre 1,8 e 2,88 PSU, pois a partir de 2 PSU a tilápia, sendo uma espécie eurialina, tem aumento imediato na osmolalidade plasmática facilitando sua osmorregulação no meio (Moorman et al., 2015; Copatti et al., 2021). O ambiente oligohalino (salinidade entre 0,5 a 3,0 PSU) serviu também como medida profilática, pois como constatado por Garcia (2007), a técnica de salinização da água tem sido amplamente utilizada na criação de peixes de água doce como uma estratégia para prevenir e controlar doenças. Além disso, a salinidade influencia de modo positivo na toxicidade dos compostos nitrogenados (amônia e nitrito) presentes no sistema (Silva, 2013).

O oxigênio dissolvido foi equilibrado na proporção de 8 mg/L<sup>-1</sup> em todos os tanques durante todo o período experimental, pois, segundo Nunes (2024), é essencial manter a aeração constante na faixa de 4 a 8 mg/L<sup>-1</sup> para atender à demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e à demanda química de oxigênio (DQO) em sistemas Simbióticos (SYNB). Segundo Ping et al. (2020), os níveis de OD influenciam diretamente os processos de remoção de nitrogênio de corpos aquáticos. Esses processos dependem de diversas transformações mediadas por microrganismos, incluindo a nitrificação e desnitrificação.

Apesar da amônia total apresentar oscilações frequentes em suas taxas em todos os tratamentos durante o experimento (Figura 7), suas concentrações de amônia tóxica só ultrapassaram os níveis aceitáveis nos tratamentos MA e RC durante duas semanas (Figura 8), nas quais os peixes apresentaram letargia e diminuição do apetite. Segundo Borges et al. (2019) a concentração de amônia total deve estar abaixo de 2 mg/L<sup>-1</sup>, e a da amônia tóxica deve estar abaixo de 0,25 mg/L<sup>-1</sup>.

Concentrações de nitrito devem se manter no máximo a  $1,0 \text{ mg/L}^{-1}$ , pois, valores acima disso poderão reduzir o transporte de oxigênio na corrente sanguínea dos peixes (Somerville et al., 2014). Mesmo com o nitrito apresentando oscilações constantes em suas taxas nos três tratamentos, com valores iguais ou acima de  $1,0 \text{ mg/L}^{-1}$  durante boa parte do experimento, os peixes não apresentaram dificuldades respiratórias ou cianose. Isso se deve a presença de cloretos e grandes concentrações de oxigênio dissolvido no sistema. Como constatado por Baldisserotto (2002), estes ânions (nitrito e cloreto) competem para serem captados pelo peixe, ocasionando o menor influxo do composto nitrogenado via brânquias e intestino.

Os compostos nitrogenados oscilaram constantemente durante o período experimental. Segundo Lara (2012), este acontecimento é normal em sistemas multitróficos. Segundo este autor, devido à complexidade que constitui os ambientes de cultivo, se torna bastante difícil manter o total controle sobre as comunidades bacterianas e suas interações com o meio, o que pode gerar distúrbios nas vias de remoção dos compostos nitrogenados. No estudo realizado por Oliveira et al. (2006), os autores constataram que a variação dos compostos nitrogenados influencia a composição microbiana no biofilme e na água, impactando o processo de remoção de nitrogênio.

Com o objetivo de manter a comunidade bacteriana heterotrófica estável, as quais são responsáveis pela conversão dos compostos nitrogenados tóxicos para os peixes, os sólidos sedimentáveis (SS) foram mantidos na faixa de 20 a  $50 \text{ mL/L}^{-1}$ . Segundo Nisar (2022), níveis de sólidos sedimentáveis acima de  $50 \text{ mL/L}^{-1}$  podem ocasionar a oclusão branquial na Tilápia e aumentar o consumo de oxigênio dissolvido pelas bactérias heterotróficas e quimioautotróficas.

Para garantir a solubilidade de nutrientes essenciais, manter a produtividade primária e prevenir a instabilidade no pH do sistema, a alcalinidade foi mantida na faixa de 20 a  $150 \text{ mg/L}^{-1}$ . Valores de alcalinidade abaixo de  $20 \text{ mg/L}^{-1}$  causam deficiência na floração do fitoplâncton, tornando-se também ineficaz o tamponamento do sistema e causando oscilações drásticas de pH (Wurts et al., 1992; Buttner et al., 1993). Já Avnimelech et al. (2015) constataram que as concentrações de alcalinidade devem ser mantidas acima de  $100 \text{ mg/L}^{-1}$  para que não haja prejuízo no processo de nitrificação e assimilação da amônia pelas bactérias heterotróficas.

Dado os resultados de desempenho zootécnico terem demonstrado melhor eficiência no tratamento RC, acredita-se que estes achados decorreram do fato de a receita ter sido formulada com ingredientes de qualidade conhecida e sistematicamente preparados por membros de nossa equipe de pesquisa. Por outro lado, formulações

complexas preparadas para fins comerciais podem incorrer em eventuais perdas nos níveis de garantia dos ingredientes em função da qualidade das matérias-primas, tempo e condições de transporte e armazenamento, entre outros. Conforme demonstrado por Phinyo et al. (2024) a suplementação com farelo de arroz é benéfica para o crescimento, defesa imunológica e tolerância ao estresse de juvenis de tilápia-do-Nilo. Provavelmente essa suplementação auxiliou na resistência das tilápias as altas concentrações de compostos nitrogenados e oscilações de pH durante o período experimental. Usando a suplementação de quirera de arroz os autores Furuya et al (2008) obtiveram médias de conversão alimentar próximas às do dos tratamentos experimentais MA, MC, RC.

Na fase a qual os parâmetros já haviam sido estabilizados, a conversão alimentar apresentada no grupo RC foi de 1,49, seguida pelo grupo MC (1,59) e MA (1,93). Coeficientes de conversão alimentar próximos a estes patamares já haviam sido reportados por vários outros autores que estudaram tilápias em pesando entre 35 e 461 gramas em sistemas de bioflocos (FCA de 1,46 a 1,61; Suarez-Puerto et al., 2021), de  $\pm$  12 gramas em regime de TPA (FCA de 1,27 a 1,51; Cavalcante et al., 2014) e assim como de 33 a 53 gramas em sistema simbiótico (FCa = 1,07 a 1,30; Cavalcante et al., 2020). Em uma revisão recente, Nisar et al. (2022) apontaram a tecnologia “*aquamimicry*” como uma solução para utilização sustentável de resíduos de aquicultura e também reportaram outros estudos os quais obtiveram melhorias significativas na conversão alimentar de peixes quando utilizaram sistemas multitróficos em substituição a sistemas com filtração da água de cultivo.

Também foi possível constatar que a suplementação com Azomite não acrescentou desempenho zootécnico às tilápias cultivadas em sistema multitrófico com fertilização simbiótica, contrapondo-se aos resultados obtidos em pesquisas nas quais se utilizou suplementação de azomite no preparo das rações. Rehman et al. (2016) obtiveram incremento no ganho de peso de tilápias entre 12 e 30 gramas alimentadas com ração contendo 0,75% de azomite; Xu et al. (2021) observaram aumento no ganho de peso dose-dependente (somente 6.0 g/kg) em exemplares de Largemouth Bass entre 7 e 30 gramas, assim como Batool et al. (2018) que observaram melhor desempenho em *Pangasius hypophthalmus* de 0,7 a 7,0 gramas, alimentados com 1% de azomite misturado à ração.

## 7. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de protocolos de sistemas multitróficos com fertilização simbiótica foi considerado eficiente para criação de tilápias. Em todos os tratamentos, houve oscilações significativas nos parâmetros de qualidade da água que, apesar de difíceis de interpretar, não necessariamente interferem no desempenho de ganho de peso, desde que se busque ostensivamente a estabilização dos mesmos, a fim de evitar que alcancem níveis tóxicos. Ademais, o estudo do desempenho zootécnico mostrou que a formulação caseira de fertilizante simbiótico apresentou eficiência similar à dos produtos industrializados e que tilápias em fase de crescimento não apresentaram uma resposta metabólica significativa à inserção direta de  $2 \text{ g/m}^3$  do insumo Azomite na água de cultivo. Por fim, é importante ressaltar que o controle de qualidade de ingredientes e formulações dos protocolos de fertilização simbiótica, quando realizados com rigor técnico, na própria piscicultura, pode auferir vantagem sobre os custos e o desempenho dos animais em relação a formulações comercializadas já prontas e sem detalhamento de ingredientes e níveis de garantia em suas fórmulas.

## REFERÊNCIAS

- Avnimelech Y (2015) Biofloc Technology, a Practical Guidebook, 3d Edition, pp 258, World Aquaculture Soc
- Azam, A.R.; Khan, N.; Iqbal, K.J. Impact of azomite supplemented diets on the growth, body composition and endogenous enzymes in genetically male tilapia. *Pakistan Journal of Zoology*, 48(4), 2016.
- Azim, M.E.; Beveridge, M.C.M.; Dam, A.A. van; Verdegem, M.C.J. Periphyton and aquatic production: an introduction. In: *Periphyton: ecology, exploitation and management*. Azim, M.E.; Verdegem, M.C.J.; van Dam, A.A.; Beveridge, M.C.M. (Eds.), CABI Publishing, Cambridge, p. 1-13, 2005.
- Baldisserotto, B. (2002). *Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura*. Ed. UFSM. ISBN-10: 8573911980
- Batool, S.S. et al. Impact of azomite supplemented diets on the growth and body composition of catfish (*Pangasius hypophthalmus*). *Pakistan Journal of Zoology*, 48(4), 1205-1208, 2018.
- Borges, A. M., & Berthier, F. M. (2019). Criação de tilápias. Emater-DF. <http://hdl.handle.net/123456789/37>
- Boyd, C. E. (2019). Dissolved and suspended solids in aquaculture. *CABI Reviews*, (2018), 1-13. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR201813037>
- Boyd, C. E., Tucker, C. S., & Somridhivej, B. (2016). Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(1), 6-41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>
- Buttner, J. K. (1993). *Introduction to water chemistry in freshwater aquaculture*.
- Cavalcante, R.B. et al. Probiotics, Prebiotics and Synbiotics for Nile tilapia: Growth performance and protection against *Aeromonas hydrophila* infection. *Aquaculture Reports*, v. 17, p. 100343, 2020.
- Cavalcante, D. et al. Imbalances in the hardness/alkalinity ratio of water and Nile tilapia's growth performance. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 36, n. 1, p. 49-54, 2014.
- Copatti, C.E.; Baldisserotto, B. Osmoregulation in tilapia: Environmental factors and internal mechanisms. *Biology and aquaculture of tilapia*. CRC Press, 2021, p. 104-118. ISBN: 9781003004134.
- Dauda, A. B. (2020). Biofloc technology: a review on the microbial interactions, operational parameters and implications to disease and health management of cultured aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 1193-1210. <https://doi.org/10.1111/raq.12379>
- De Alvarenga, É.R. et al. Moderate salinities enhance growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings in the biofloc system. *Aquaculture Research*, 49, 2919–2926, 2018. DOI: 10.1111/are.13728.

De Moraes, A. M., Seiffert, W. Q., Tavares, F., & Fracalossi, D. M. (2009). Desempenho zootécnico de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, em tanques-rede, com diferentes rações comerciais. *Revista Ciência Agronômica*, 40(3), 388-395. ISSN 1806-6690

Dimitroglou, A. et al. Effects of mannan oligosaccharide (MOS) supplementation on growth performance, feed utilisation, intestinal histology and gut microbiota of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 300(1), 182–188, 2010. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.01.015.

Do Carmo, J. L., Ferreira, D. A., da Silva Júnior, R. F., de Souza Santos, R. M., & de Souza Correia, E. (2008). Crescimento de três linhagens de tilápia sob cultivo semi-intensivo em viveiros. *Revista Caatinga*, 21(2). ISSN 0100-316X

Dos Santos, R.B., Coelho-Filho, P.A., Assunção, C.S. et al. The effect of different synbiotic preparation strategies on water fertilization and zootechnical performance of *Macrobrachium rosenbergii* reared in the nursery stage. *Aquacult Int* 30, 3159–3178 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00955-y>

Dos Santos Silva, M.J. Efeito agudo da amônia e do nitrito em tilápias *Oreochromis niloticus* mantidas em baixa salinidade. 2013. <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9LSHK8>

Dosdat, A., Person-Le Ruyet, J., Covès, D., Dutto, G., Gasset, E., Le Roux, A., & Lemarié, G. (2003). Effect of chronic exposure to ammonia on growth, food utilisation and metabolism of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources*, 16(6), 509-520. <https://doi.org/10.1016/j.aquativ.2003.08.001>

Durborow, R. M., Crosby, D. M., & Brunson, M. W. (1997). Nitrite in fish ponds (Vol. 462). Stoneville, MS: Southern Regional Aquaculture Center.

Ebeling, J. M., Timmons, M. B., & Bisogni, J. J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1-4), 346-358. DOI:10.1016/j.aquaculture.2006.03.019

Emerenciano, M., Cuzon, G., Paredes, A. et al. Evaluation of biofloc technology in pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* culture: growth performance, water quality, microorganisms profile and proximate analysis of biofloc. *Aquacult Int* 21, 1381–1394 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9640-y>

El-Sayed, A.F.M. *Tilapia Culture*. Wallingford: CABI Publishing, 2006.

Ferreira, T. C., Lago, L. D., Silva, L. G., Pacifico, M. G., Faria, M. R. D., & Bettiol, W. (2021). Potencial de *Bacillus* spp. em promover o crescimento e controlar *Fusarium verticillioides* em milho. *Summa Phytopathologica*, 47(4), 195-203. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/241384>

Froese, R., & Pauly, D. (Eds.). (2024). *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia). FishBase. Disponível em: <https://www.fishbase.se/summary/SpeciesSummary.php?ID=2&AT=tilápia>. Acesso em: [27/01/2025].

Furtado, P. S., Poersch, L. H., & Wasielesky Jr, W. (2011). Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems. *Aquaculture*, 321(1-2), 130-135. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.034>

Furuya, W. M., Fujii, K. M., Santos, L. D. D., Silva, T. S. D. C., Silva, L. C. R. D., & Michelato, M. (2008). Exigência de fósforo disponível para tilápia-do-nilo (35 a 100 g). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 961-966. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000900001>

Garcia, L. O., Becker, A. G., Copatti, C. E., Baldisserotto, B., & Neto, J. R. (2007). Salt in the food and water as a supportive therapy for *Ichthyophthirius multifiliis* infestation on silver catfish, *Rhamdia quelen*, fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(1), 1-11. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00068.x>

Goddek, S. et al. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224, 2015. <https://doi.org/10.3390/su7044199>

Hagopian, D.S.; Riley, J.G. A closer look at the bacteriology of nitrification. *Aquaculture Engineering*, 18(4), 223-244, 1998. DOI: 10.1016/S0144-8609(98)00032-6.

Hamed, S. et al. Interactive effects of water temperature and dietary protein on Nile tilapia: growth, immunity, and physiological health. *BMC Veterinary Research*, 20, 349, 2024. DOI: 10.1186/s12917-024-04198-2.

Jesus, D. B. C. da S. de .; Klein, S.; Reidel, A.; Souza, B. E. de .; Paula, G. H. de .; Signor, A. A. . Fundamentos técnico científico aplicado a tecnologia de bioflocos em formas jovens na piscicultura . *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 12, n. 13, p. e58121343059, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i13.43059

Junior, H. A., Netto, J. R. A., Garcia, S., & de Mello, G. L. (2011). Pesquisa de comparação entre a taxa de crescimento do Acará *Geophagus brasiliensis* e a Tilápia *Oreochromis niloticus* em condições de monocultivo intensivo utilizando ração e alimento vivo. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 12(9), 1-22.

Khanjani, M. H., da Silva, L. O. B., Fóes, G. K., do Nascimento Vieira, F., Poli, M. A., Santos, M., & Emerenciano, M. G. C. (2023). Synbiotics and aquamimicry as alternative microbial-based approaches in intensive shrimp farming and biofloc: Novel disruptive techniques or complementary management tools? A scientific-based overview. *Aquaculture*, 567, 739273. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739273>

Kubitza, F. Qualidade da água na produção de peixes – Parte II. *Panorama da Aquicultura*, v.8, n.46, p.35-41,1998.

Lara, G. R. D. (2012). Técnicas de manejo aplicadas à redução das concentrações de nitrito na água de cultivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos (Master's thesis).

Li, J. et al. Probiotics *Bacillus cereus* and *B. subtilis* reshape the intestinal microbiota of Pengze crucian carp (*Carassius auratus* var. Pengze) fed with high plant protein diets. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1027641, 2022.

Limbu, S. M., Shoko, A. P., Lamtane, H. A., Kische-Machumu, M. A., Joram, M. C., Mbonde, A. S., ... & Mgaya, Y. D. (2016). Supplemental effects of mixed ingredients and rice bran on the growth performance, survival and yield of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* reared in fertilized earthen ponds. *SpringerPlus*, 5, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1643-x>

Liu AiJun, L. A., Leng XiangJun, L. X., Li XiaoQin, L. X., Wang LiPing, W. L., Luo YunXian, L. Y., & Zhu RuiJun, Z. R. (2009). Effects of azomite on growth, intestinal structure and non-specific immunity of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*).

Mercante, C. T. J., Martins, Y. K., do Carmo, C. F., Osti, J. S., Pinto, C. S. R. M., & Tucci, A. (2007). Qualidade da água em viveiro de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): caracterização diurna de variáveis físicas, químicas e biológicas, São Paulo, Brasil. *Bioikos—Título não-corrente*, 21(2). <https://doi.org/10.20396/bioikos.v21i2.1584>

Mohallem, D.F. et al. Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos com frangos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60(2), 449-453, 2008. DOI: 10.1590/S0102-09352008000200026.

Moorman, B.P. et al. The effects of acute salinity challenges on osmoregulation in Mozambique tilapia reared in a tidally changing salinity. *Journal of Experimental Biology*, 218(5), 731-739, 2015. DOI: 10.1242/jeb.112664.

Nisar, U. et al. A solution for sustainable utilization of aquaculture waste: a comprehensive review of biofloc technology and aquamimicry. *Frontiers in Nutrition*, v. 8, p. 791738, 2022.

Nunes, L. J. L., da Silva Campos, C. V. F., da Silva, S. M. B. C., Gálvez, A. O., Brito, L. O., & dos Santos, J. F. (2024). The culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile at different culture technologies: autotrophic, bioflocs and synbiotic. *Aquaculture*, 588, 740912. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740912>.

Oliveira, C. R. D. R. (2022). Efeito do ajuste iônico em água de baixa salinidade no desempenho zootécnico e composição centesimal do *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema simbiótico. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/9554>

Oliveira, S. S., Junior, W. F. B. W., Ballester, E. L. C., & de Abreu, P. C. O. V. (2006). Caracterização da assembleia de bactérias nitrificantes pelo método "Fluorescent in situ Hybridization"(FISH) no biofilme e água de larvicultura do Camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis*. *Atlântica (Rio Grande)*, 28(1), 33-46. <https://doi.org/10.5088/atlantica.v28i1.1726>

Phinyo, M., Khlaithim, P., Boonsrangsom, T., Pongpadung, P., Janpoom, S., Klinbunga, S., & Sujipuli, K. (2025). Improved growth and immunity in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed a fermented rice bran supplement. *Animal Feed Science and Technology*, 319, 116160. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116160>

Pimentel, O.A.L.F. et al. Assessment of different ionic adjustment strategies in low-salinity water on the growth of *Litopenaeus vannamei* and microbial community stoichiometry in a synbiotic nursery system. *Aquaculture Research*, 53, 50–62, 2022. DOI: 10.1111/are.15552.

Ping, X.; Jin, M.; Xian, Y. Effect of bioclogging on the nitrate source and sink function of a hyporheic zone. *Journal of Hydrology*, 590, 125425, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125425>

Produção aquícola aumenta 16% no Brasil e gera R\$ 10,2 bilhões em 2023. Governo Federal do Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/noticias/producao-aquicola-aumenta-16-no-brasil-e-gera-r-10-2-bilhoes-em-2023>. Acesso em: [27/01/2025].

Rebouças, V. T., Lima, F. R. D. S., Cavalcante, D. D. H., & Sá, M. V. D. C. E. (2016). Reassessment of the suitable range of water pH for culture of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. in eutrophic water. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 38(4), 361-368. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i4.32051>

Romano, N. Aquamimicry: A revolutionary concept for shrimp farming. *Global Aquaculture Advocate*, 10, 2017.

Santos, R.B. et al. The effect of different synbiotic preparation strategies on water fertilization and zootechnical performance of *Macrobrachium rosenbergii* reared in the nursery stage. *Aquaculture International*, 2022. DOI: 10.1007/s10499-022-00955-y.

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and aquaculture technical paper*, (589), 1.

Suárez-Puerto, B. et al. Analysis of the cost-effectiveness and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in biofloc and green water technologies during two seasons. *Aquaculture*, v. 538, p. 736534, 2021.

Tomasso, J. R., Wright, M. I., Simco, B. A., & Davis, K. B. (1980). Inhibition of nitrite-induced toxicity in channel catfish by calcium chloride and sodium chloride. *The Progressive Fish-Culturist*, 42(3), 144-146. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1980\)42\[144:IONTIC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1980)42[144:IONTIC]2.0.CO;2)

Xu, X. et al. Dietary Azomite, a natural trace mineral complex, improved the growth, immunity response, intestine health and resistance against bacterial infection in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Fish & Shellfish Immunology*, 108, 53-62, 2021.

Zarnetske, J. P., Haggerty, R., Wondzell, S. M., & Baker, M. A. (2011). Labile dissolved organic carbon supply limits hyporheic denitrification. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G4). DOI:10.1029/2011JG001730

Zeng, N.N. et al. Effects of water temperatures and dietary protein levels on growth, body composition and blood biochemistry of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition*, 27(1), 240-251, 2021. DOI: 10.1111/anu.13181.