












Controle de sólidos suspensos e compostos nitrogenados por meio de biorremediação e substratos artificiais em um sistema BFT emergente para Tilápia-do-Nilo

Control of suspended solids and nitrogenous compounds through bioremediation and artificial substrates in an emerging BFT System for Nile Tilapia

Maísa de Lima Lasala^{*1} , Amanda Dartora¹ , Larissa Stockhausen¹ , Keren Fagundes Morais¹ ,
Andressa Oliveira Machado¹ , Giulia Beatrice Ferreira¹ , Jaqueline Andrade¹ , Adolfo Jatobá¹ 

¹ Instituto Federal Catarinense (IFC), Araquari, Santa Catarina, Brasil 

*autor correspondente: lasala.lima.maisa@gmail.com

Recebido: 26 de setembro de 2024. Aceito: 26 de setembro de 2025. Publicado: 13 de outubro de 2025.. Editor: Rondineli P. Barbero

Resumo: Os efeitos da biorremediação com *Bacillus* spp. e de um substrato artificial foram comparados quanto à qualidade da água, aos parâmetros zootécnicos e hematológicos de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em um sistema BFT (biofloc technology). Doze unidades experimentais foram divididas em três grupos: biorremediador (1,0 g de bacilos por m³ de água diariamente), inserção de substrato artificial (SA) e controle, em quadruplicata. Ambos os tratamentos reduziram a concentração de NH₃ (biorremediador: 0,73 mg·L⁻¹; SA: 0,69 mg·L⁻¹) em relação ao grupo controle (1,33 mg·L⁻¹). Entretanto, o tratamento com biorremediador aumentou o nitrito (31,71 mg·L⁻¹) em comparação ao controle (12,76 mg·L⁻¹), enquanto o SA não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Os volumes de flocos foram menores nos tratamentos com SA (1,75 mL), biorremediador (3,10 mL) e controle (3,87 mL), respectivamente. Os tratamentos reduziram a conversão alimentar aparente (CAA) (biorremediador: 0,84 e SA: 0,86) em relação ao grupo controle (1,07). Por outro lado, o SA promoveu uma taxa de crescimento específico (TCE) superior (3,05 %·dia⁻¹) em comparação ao biorremediador (2,97 %·dia⁻¹) e ao controle (2,94 %·dia⁻¹), que não diferiram entre si. A porcentagem de trombócitos circulantes variou significativamente entre os tratamentos, sendo maior no grupo biorremediador (46,4 %), seguido pelo grupo com substrato artificial (34,0 %) e pelo controle (18,5 %). O biorremediador e o substrato artificial promoveram melhorias na qualidade da água, por meio da redução de NH₃ e da manutenção do volume de floco; proporcionaram melhor desempenho zootécnico e alteraram o perfil hematológico da tilápia-do-nilo.

Palavras-chave: *Bacillus*; biofoco; biorremediação; *Oreochromis niloticus*.

Abstract: The effects of bioremediation with *Bacillus* spp. and an artificial substrate were compared on water quality, zootechnical and hematological parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a BFT system (biofloc technology). Twelve experimental units were divided into three groups: bioremediator (1.0g of bacilli per m³ of water daily); insertion of artificial substrate (AS); and control; in quadruplicate. Both treatments reduced NH₃ (bioremediator 0.73 mg·L⁻¹ and AS 0.69 mg·L⁻¹) than the control group (1.33 mg·L⁻¹), meanwhile the bioremediator increased nitrite (31.71 mg·L⁻¹) compared to the control (12.76 mg·L⁻¹) and the AS did not diverge between treatments. AS (1.75 mL), bioremediator (3.10 mL) and control (3.87 mL) presented lower floc volume, respectively. The treatments reduced the food conversion ratio (bioremeaditor 0.84 and AS 0.86) than control group (1.07), meanwhile the AS promoted higher specific growth rate (3.05



%day⁻¹) compared to the bioremediator (2.97 %day⁻¹) and control (2.94 %day⁻¹) which did not diverge between treatments. The percentage of circulating thrombocytes varied significantly among treatments, being highest in the bioremediator group (46.4 %), followed by the artificial substrate group (34.0 %) and the control (18.5 %). The bioremediator and AS led to improvements in water quality by removal of NH₃ and floc volume maintenance; promoted better zootechnical performance and changed the hematological profile for Nile tilapia.

Keywords: *Bacillus*; biofloc; bioremediation; *Oreochromis niloticus*.

1. Introdução

O consumo global de alimentos aquáticos cresceu significativamente, e as populações mundiais consomem atualmente cinco vezes mais peixe do que há 60 anos. Esse aumento foi impulsionado principalmente pela produção aquícola ⁽¹⁾. A piscicultura é a principal atividade da aquicultura brasileira, e a produção em 2023 atingiu 887.029 toneladas, representando um aumento de 3,1 % em relação ao ano anterior ⁽²⁾.

Como a maioria das atividades humanas, a aquicultura causa poluição ambiental, pois promove a degradação da qualidade da água (do ambiente de cultivo e dos efluentes) em decorrência da intensificação dos sistemas produtivos. A perda na qualidade da água compromete o crescimento, a reprodução e a qualidade dos peixes. Portanto, é necessário um monitoramento contínuo do ambiente de cultivo para manter o bem-estar animal e reduzir a suscetibilidade a doenças ^(3,4).

Nos últimos anos, a tecnologia de bioflocos (BFT) ganhou destaque devido ao crescente interesse em sistemas de aquicultura fechados, que garantem maior biossegurança e reduzem o uso de água ^(5,6). O princípio da BFT é reciclar nutrientes por meio da manutenção de uma alta relação carbono: nitrogênio, estimulando o crescimento de bactérias heterotróficas que convertem a amônia em biomassa microbiana, a qual suplementa a dieta dos organismos cultivados ⁽⁷⁾. Nesse contexto, a tilápia-do-nilo tem sido amplamente utilizada em sistemas BFT para melhorar a conversão alimentar e aumentar a produtividade ⁽⁵⁾.

Além disso, a biorremediação é um processo benéfico que utiliza agentes biológicos para tratar águas contaminadas. Entre esses contaminantes, destacam-se os compostos nitrogenados, formados pelo acúmulo de amônia proveniente da excreção dos peixes. As bactérias, quando utilizadas como biorremediadoras, promovem a remoção ou conversão desses compostos ⁽⁸⁾. Os biorremediadores também podem promover outros benefícios, como o fortalecimento do sistema imunológico e o crescimento ^(4,9).

Bactérias do gênero *Bacillus* são comumente utilizadas na aquicultura como agentes biológicos que melhoram o ambiente de cultivo e a saúde dos organismos. Os benefícios oferecidos por essas bactérias incluem a remoção de compostos químicos nitrogenados ⁽¹⁰⁾ e de matéria orgânica ⁽⁴⁾, a secreção de enzimas que modulam a fisiologia intestinal dos peixes e a digestibilidade dos alimentos ⁽¹¹⁾, além do aumento da resposta imune humoral nos peixes.

Por outro lado, os substratos artificiais são estruturas que aumentam a superfície de contato dentro do ambiente de cultivo, promovendo a adesão de bioflocos e microrganismos sob a forma de biofilme ⁽¹²⁾. O biofilme é formado por um grupo de microrganismos, principalmente bactérias heterotróficas, que

secretam proteínas e carboidratos para criar uma matriz extracelular. No entanto, o biofilme também contém, embora em menor quantidade, bactérias nitrificantes, responsáveis por reduzir a concentração de nitrogênio amoniacal total (TAN), convertendo-o em nitrito e, posteriormente, em nitrato ^(13,14).

A disponibilidade de área de contato está relacionada à atividade microbiana, aumentando sua diversidade, incluindo o desenvolvimento de comunidades microbianas capazes de realizar o processo de nitrificação ^(12,15,16). Assim, os substratos contribuem para o metabolismo dos compostos nitrogenados e, conseqüentemente, para a manutenção da qualidade da água, resultando em concentrações de amônia e nitrito compatíveis com a piscicultura ⁽¹⁷⁾.

Este estudo teve como objetivo comparar os efeitos da biorremediação, utilizando *Bacillus* spp., e do substrato artificial sobre o controle de sólidos sedimentáveis e compostos nitrogenados, bem como seu impacto sobre o desempenho zootécnico e os parâmetros hematológicos da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em um sistema BFT emergente.

2. Material e métodos

O experimento teve duração de seis semanas e foi conduzido no Laboratório de Aquicultura (LAQ) do Instituto Federal Catarinense (IFC), campus Araquari, em Santa Catarina, Brasil. Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) sob o protocolo nº 533/2021.

2.1 Material biológico

As cepas de *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis*, fornecidas pela empresa BioHall, foram utilizadas para a biorremediação. Um total de 240 alevinos de tilápia-do-nilo, com peso médio de 0,8 g, foi fornecido pelo LAQ – IFC, campus Araquari.

2.2 Preparação do biofloco

Ocorreu dez dias antes do povoamento dos peixes, quando a água dos tanques foi fertilizada com uma fonte de carbono (açúcar refinado) e uma fonte de nitrogênio (ração em pó), a fim de manter uma relação C:N de 10:1 ^(18,19). Após a introdução dos peixes, a proporção foi mantida com o objetivo de neutralizar 40 % do nitrogênio da ração e manter o NH₃ abaixo de 1,0 mg·L⁻¹.

2.3 Delineamento experimental e manejo experimental

Foram utilizadas doze unidades experimentais, cada uma contendo 20 alevinos, divididas em três tratamentos, com quatro repetições. Quatro unidades receberam 1,0 g por m³ do biorremediador (*B. amyloliquefaciens*, $1,86 \times 10^{12}$ UFC, e *B. subtilis*, $1,52 \times 10^{13}$ UFC) diariamente. Outras quatro unidades receberam substratos artificiais, adaptados de Schweitzer *et al.* ⁽²⁰⁾, confeccionados em manta bidim (poliéster) com área total de 0,464 m² (considerando ambos os lados). Esses substratos foram colocados verticalmente e orientados perpendicularmente ao fluxo de aeração, posicionados no centro dos tanques retangulares. As unidades restantes formaram o grupo controle. Assim, foram utilizadas doze caixas de polietileno com capacidade útil de 250 L, cada uma equipada com sistema de aeração constante e aquecedor para manter a temperatura. O sistema de aeração consistiu em mangueira microperfurada (Aero-tube™) disposta no fundo de cada tanque.

As biometrias foram realizadas semanalmente para monitorar o crescimento dos peixes e ajustar a quantidade de ração fornecida, que variou de 2,5 % a 6,0 % da biomassa total em cada tanque. Os peixes foram alimentados três vezes ao dia (8h, 11h e 16h) com ração comercial extrusada de 3 mm, contendo 32 % de proteína bruta, 5 % de extrato etéreo e 13 % de umidade. A água perdida por evaporação foi repostada diariamente.

2.4 Parâmetros da qualidade da água

O ambiente de cultivo foi avaliado diariamente quanto às variáveis de oxigênio dissolvido, temperatura (oxímetro YSI PRO20) e volume de floco (cone de Imhoff) com tempo de sedimentação de 30 min. E semanalmente por meio da verificação de TAN, N-NO₂, N-NO₃ utilizando fotocolorímetro (Alfakit®) e aplicando os métodos de Nessler, alfa-naftilamina e sulfato de brucina, respectivamente. Alcalinidade, condutividade elétrica, pH (pHep®) e sólidos suspensos totais (SST) também foram verificados semanalmente.

2.5 Desempenho zootécnico

Ao final do experimento, foi realizada biometria de todos os peixes para avaliar o peso médio final, biomassa total, sobrevivência, ganho de peso semanal, taxa de conversão alimentar (TCA), taxa de crescimento específico (TCE) e produtividade, conforme as fórmulas abaixo:

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

$$\begin{aligned} \text{Ganho de peso semanal (g.semana}^{-1}\text{)} \\ = \left[\frac{(\text{Peso médio final} - \text{Peso médio inicial})}{\text{Semanas de cultivo}} \right] \end{aligned}$$

$$\text{TCA} = \left[\frac{(\text{Ração consumida})}{(\text{Biomassa final} - \text{Biomassa inicial})} \right]$$

$$\text{TCE (\%.dia}^{-1}\text{)} = \left[\frac{(\text{Ln(Peso final)} - \text{Ln(Peso inicial)})}{\text{Semanas de cultivo}} \right] \times 100$$

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

2.6 Parâmetros hematológicos

Cinco peixes de cada unidade experimental foram anestesiados com Eugenol (50 mg.L⁻¹). O sangue foi coletado da veia caudal utilizando seringas com anticoagulante EDTA a 10 %. Foram realizadas duplicatas de esfregaços sanguíneos, corados com MayGrunwald/Giemsa/Wright ⁽¹⁹⁾ para contagem diferencial de leucócitos.

2.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene para verificação da normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para observar diferenças significativas e ao teste SNK (Student-Newman-Keuls) para separação das médias. Todas as análises foram realizadas com nível de significância de 5 %.

3. Resultados e discussão

3.1 Parâmetros da qualidade da água

Temperatura, oxigênio dissolvido, alcalinidade, pH, nitrato, sólidos suspensos totais (SST) e condutividade não apresentaram diferenças entre os grupos (Tabela 1). Entretanto, os valores de volume de floco (VF) diferiram entre os grupos, sendo maiores nos grupos controle, biorremediador e substrato, respectivamente. A amônia foi menor nos grupos biorremediador e substrato em comparação ao controle, enquanto o nitrito nos tratamentos foi maior que no controle.

Tabela 1. Parâmetros da qualidade da água (média ± desvio padrão) de um sistema BFT integrado com biorremediador à base de *Bacillus* spp. ou substrato artificial.

	Controle	Substrato	Biorremediador
Temperatura (°C)	28,67 ± 0,43	28,62 ± 0,13	28,46 ± 0,27
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	8,13 ± 0,11	7,82 ± 0,11	7,95 ± 0,12
Volume de floco (mg.L ⁻¹)	3,87 ± 0,37 ^a	1,75 ± 0,38 ^c	3,10 ± 0,27 ^b
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	44,00 ± 8,00	49,50 ± 4,50	48,25 ± 13,25
pH	6,74 ± 0,22	6,91 ± 0,31	6,77 ± 0,28
NAT (mg.L ⁻¹)	1,33 ± 0,39 ^a	0,69 ± 0,35 ^b	0,73 ± 0,22 ^b
Nitrito (mg.L ⁻¹)	12,76 ± 12,25 ^a	45,91 ± 35,85 ^{ab}	23,71 ± 3,42 ^b
Nitrato (mg.L ⁻¹)	670,00 ± 35,00	678,13 ± 39,38	670,63 ± 34,38
SST (mg.L ⁻¹)	76,77 ± 11,39	59,97 ± 16,24	51,23 ± 24,81
Condutividade (S.m ⁻¹)	670,00 ± 35,00	678,13 ± 39,38	670,63 ± 34,38

*Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa (*p* < 0.05) de acordo com ANOVA e teste de SNK.

A temperatura média, o oxigênio e o pH dos tanques permaneceram dentro de uma faixa adequada para o cultivo de *Oreochromis niloticus* ⁽²⁴⁾. Assim, observa-se que a presença de *Bacillus* spp. não aumentou a demanda bioquímica de oxigênio do sistema ou, caso tenha ocorrido, o sistema forneceu o oxigênio necessário sem reduzir a disponibilidade para os peixes.

Os compostos nitrogenados são os principais poluentes do ambiente de cultivo, podendo ser tóxicos aos ecossistemas aquáticos ⁽⁴⁾. A adição de *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis* reduziu os níveis de amônia no tratamento com biorremediador, uma vez que essas bactérias, ao serem adicionadas à água, podem auxiliar no estabelecimento de colônias de bactérias nitrificantes que promovem a conversão da amônia em nitrito. Resultados semelhantes foram observados com o uso de *B. subtilis* e *B. licheniformis* em tilápias-do-nilo cultivadas em tanques de concreto ⁽²⁵⁾ e também em tilápias-do-nilo criadas em sistema BFT ⁽²⁶⁾. No estudo realizado por Roveda et al. (2024) ⁽²⁶⁾, foram avaliados dois tratamentos: um biorremediador acidificante e um biorremediador à base de *Bacillus* spp. Os resultados foram positivos, indicando que ambas as estratégias foram eficazes na remoção de compostos nitrogenados ⁽²⁶⁾.

Esses achados sugerem que a inoculação de *Bacillus* spp. na água de um sistema BFT pode reduzir os níveis de amônia como uma forma eficiente de biorremediação. Enquanto isso, os níveis de nitrito foram mais elevados no tratamento com biorremediador em comparação ao controle, o que pode ser explicado pelo fato de o sistema de bioflocos ainda estar em fase inicial. A conversão de nitrito em nitrato depende do estabelecimento de populações de bactérias oxidantes de nitrito (BON), que ainda não estavam completamente estabelecidas. Como resultado, a nitrificação incompleta levou ao acúmulo de nitrito ⁽²⁷⁾.

Por outro lado, não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de amônia e nitrito entre os tratamentos com substrato artificial e biorremediador. Embora micro-organismos externos não tenham sido adicionados no tratamento com substrato, como ocorreu com o biorremediador, houve uma maior área de contato para fixação de biofilme e desenvolvimento da microbiota responsável pelo processo de nitrificação no tratamento com substrato artificial ⁽¹⁵⁾. Assim, o substrato é uma estratégia eficaz na promoção do ciclo dos compostos nitrogenados, conforme relatado por Da Paz Serra *et al.* ⁽¹⁷⁾. Ao testar o uso de substrato em sistemas BFT, foi possível manter os níveis de amônia e nitrito seguros para o cultivo de *L. vannamei*.

O volume de floco entre os tratamentos foi considerado insuficiente para o cultivo de *Oreochromis niloticus*, pois a faixa adequada é de 25 a 50 mL ⁽²⁷⁾. No entanto, esse valor reduzido é justificado pelo fato de a formação de flocos estar em estágio inicial, de modo que o cultivo evoluiria juntamente com a concentração de flocos. Os menores valores de VF foram observados nos tratamentos com biorremediador e substrato artificial, respectivamente (Figura 1).

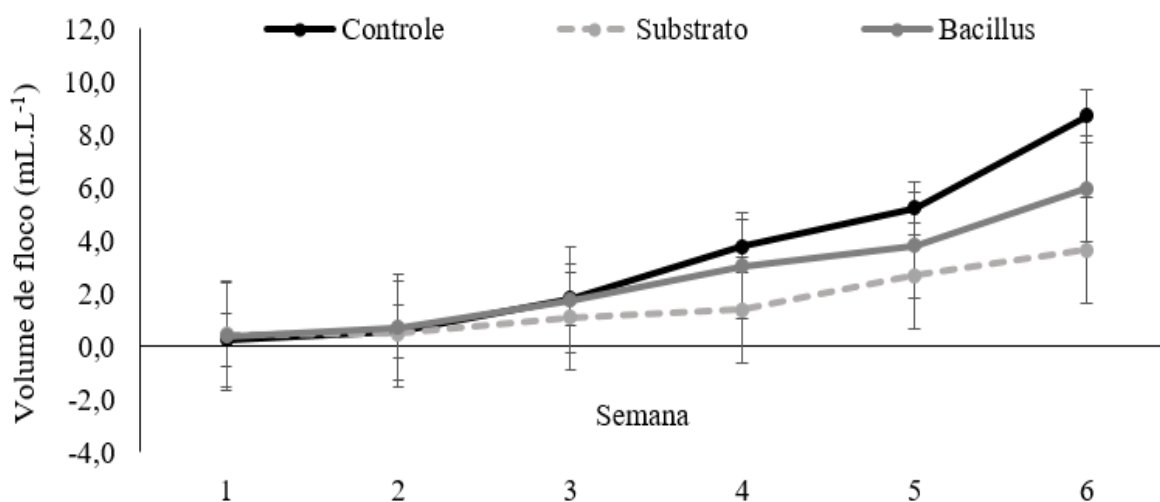


Figura 1. Volume de floco de um sistema BFT integrado com biorremediador à base de *Bacillus* spp. ou substrato artificial.

Ao aumentar a superfície de contato dentro do ambiente de cultivo, onde o substrato artificial foi posicionado verticalmente e orientado perpendicularmente ao fluxo de aeração, promoveu-se a agregação do bioflocos na forma de biofilme, favorecendo a aderência dos flocos à sua estrutura. Consequentemente, o floco apresentou menor presença na coluna d'água, o que explica a redução no VF. Além disso, não foi observada sedimentação de flocos no fundo dos tanques, o que pode ser atribuído

à eficácia do sistema de aeração. Embora os SST não tenham apresentado diferenças significativas entre os tratamentos, as variações nos valores de SST entre os grupos puderam ser observadas a partir da quinta semana do experimento (Figura 2).

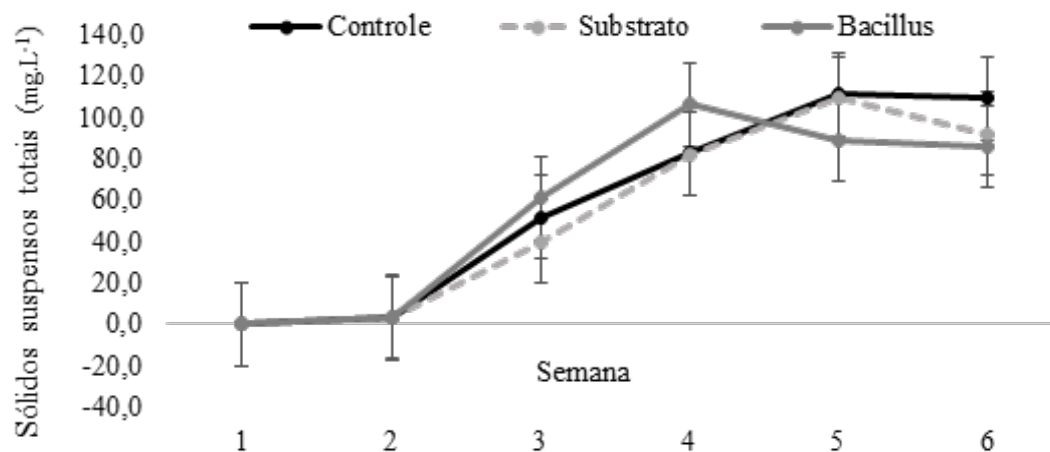


Figura 2. Sólidos suspensos totais de um sistema BFT integrado com biorremediador à base de *Bacillus* spp. ou substrato artificial.

Os menores valores de SST foram obtidos nos grupos com substrato artificial e biorremediador, respectivamente. Os SST são formados por diversas partículas, incluindo ração não consumida, fezes, detritos e os diversos micro-organismos que compõem o biofoco ⁽²⁸⁾. Propõe-se que o biorremediador tenha reduzido os SST, uma vez que bactérias do gênero *Bacillus* possuem a capacidade de remover matéria orgânica, conforme também observado por Roveda *et al.* ⁽²⁶⁾. Portanto, a adição de *Bacillus* spp. favorece a decomposição da matéria orgânica ao promover a reciclagem dos sólidos suspensos que se acumulam em um sistema BFT. Enquanto isso, no grupo com substrato artificial, os valores de SST diminuíram devido ao controle da suspensão na coluna d'água, de forma semelhante ao que ocorreu com o VF, conforme Ferreira *et al.* ⁽²⁹⁾.

3.2 Parâmetros zootécnicos

O peso médio final, biomassa total, sobrevivência, ganho de peso semanal e produtividade não apresentaram diferenças entre os grupos (Tabela 2). Por outro lado, a TCA foi maior no grupo controle em relação aos grupos com substrato e biorremediador, sendo que estes dois últimos diferiram entre si. A TCE foi menor no grupo com biorremediador em relação ao grupo com substrato artificial, enquanto o grupo controle não diferiu dos demais.

Tabela 2. Parâmetros zootécnicos (média \pm desvio padrão) de tilápia-do-nilo cultivada em sistema BFT integrado com biorremediador derivado de *Bacillus* spp. ou substrato artificial.

	Controle	Substrato	Biorremediador
Peso médio final (g)	24,83 \pm 4,61	26,38 \pm 1,65	24,98 \pm 1,41
Biomassa total (g)	466,6 \pm 72,94	495,0 \pm 39,38	473,7 \pm 16,24
Sobrevivência (%)	95,00 \pm 5,00	93,75 \pm 3,75	95,00 \pm 2,50
Ganho de peso semanal (g.semana ⁻¹)	23,95 \pm 4,61	25,23 \pm 1,6	24,10 \pm 1,36
Taxa de conversão alimentar	1,07 \pm 0,07 ^b	0,86 \pm 0,10 ^a	0,84 \pm 0,03 ^a
Taxa de crescimento específico (%.day ⁻¹)	2,94 \pm 0,16 ^{ab}	3,05 \pm 0,04 ^a	2,97 \pm 0,03 ^b
Produtividade (kg.m ⁻³)	2,33 \pm 0,36	2,48 \pm 0,2	2,37 \pm 0,08

*Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ($p < 0.05$) de acordo com ANOVA e teste de SNK.

Resultados positivos foram obtidos nos tratamentos com biorremediador e substrato, refletidos na menor TCA em comparação ao grupo controle. No caso do biorremediador, isso provavelmente ocorreu porque essas bactérias colonizaram o trato gastrointestinal dos peixes. *B. subtilis* pode promover essa colonização por meio da secreção de enzimas exógenas, modulando a fisiologia intestinal ⁽¹¹⁾. Dessa forma, essas bactérias facilitam a digestão dos nutrientes. Resultados semelhantes foram observados com o uso de *B. subtilis* ⁽³⁵⁾ e com o uso de diversas espécies de *Bacillus* ⁽²⁵⁾.

No tratamento com substrato artificial, além de alcançar uma melhor TCA, também foi possível obter uma melhor TCE em comparação ao tratamento com biorremediador. Nesse caso, os micro-organismos aderidos ao substrato na forma de biofilme formam uma comunidade microbiana bem estabelecida, que pode atuar como fonte alternativa de alimento para os organismos cultivados, contribuindo para o desempenho dos peixes. Isso é semelhante ao observado no cultivo de tilápia-do-nilo, onde o uso de substratos apresenta resultados promissores para variáveis zootécnicas ⁽³⁶⁾.

3.3 Parâmetros hematológicos

As porcentagens de trombócitos foram maiores no grupo com biorremediador, seguidas pelo grupo com substrato artificial e pelo controle. Na contagem diferencial de leucócitos, as porcentagens de linfócitos, monócitos, neutrófilos, eosinófilos e basófilos não apresentaram diferenças entre os grupos (Tabela 3).

Tabela 3. Contagem diferencial de leucócitos e trombócitos (média \pm desvio padrão) de tilápia-do-nilo cultivada em sistema BFT integrado com biorremediador à base de *Bacillus* spp. ou substrato artificial.

Células (%)	Controle	Substrato	Biorremediador
Trombócitos	18,5 \pm 5,34 ^c	34,0 \pm 6,98 ^b	46,4 \pm 12,1 ^a
Linfócitos	86,7 \pm 9,90	97,9 \pm 8,52	97,6 \pm 13,3
Monócitos	11,6 \pm 7,41	18,3 \pm 14,5	16,9 \pm 13,7
Neutrófilos	6,61 \pm 5,08	8,22 \pm 5,77	9,37 \pm 7,38
Eosinófilos	0,33 \pm 0,48	0,33 \pm 0,59	0,5 \pm 0,2
Basófilos	0,22 \pm 0,55	0,33 \pm 0,77	0,32 \pm 0,95

*Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ($p < 0.05$) de acordo com ANOVA e teste de SNK.

A avaliação dos parâmetros hematológicos pode revelar o estado de saúde dos peixes em resposta a alterações relacionadas à qualidade da água e a doenças ⁽³²⁾. Algumas espécies de *Bacillus* promovem atividade imunomoduladora ao interagir com células do sistema imunológico; entretanto,

não há esclarecimentos exatos sobre como os probióticos estimulam esses parâmetros sanguíneos ⁽³⁷⁾. Resultados semelhantes foram obtidos por Rodrigues *et al.* ⁽³³⁾ em *Pseudoplatystoma reticulatum* e por Tachibana *et al.* ⁽⁸⁾ em *Oreochromis niloticus*. Os trombócitos realizam fagocitose e hemostasia, e seus níveis elevados indicam um aumento da resposta imune inespecífica ⁽³⁸⁾.

4. Conclusão

Este estudo demonstrou que a aplicação de um biorremediador (*B. amyloliquefaciens*, $1,86 \times 10^{12}$ UFC e *B. subtilis*, $1,52 \times 10^{13}$ UFC) e o uso de substratos artificiais melhoraram a qualidade da água, o desempenho zootécnico e o perfil hematológico da tilápia-do-nilo em um sistema BFT emergente. Ambas as estratégias contribuíram para o controle dos compostos nitrogenados por meio do estabelecimento de comunidades microbianas, enquanto os sólidos suspensos foram reduzidos tanto pela formação de biofilme e aderência dos flocos ao substrato quanto pela degradação da matéria orgânica mediada por *Bacillus* spp. Além disso, ambos os tratamentos aumentaram a proporção de trombócitos, indicando uma modulação positiva do perfil hematológico. Portanto, ambas as estratégias podem ser utilizadas como ferramentas para a manutenção da qualidade da água e, consequentemente, para melhor desempenho zootécnico.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Declaração de disponibilidade de dados

Os dados serão disponibilizados mediante solicitação.

Contribuições do autor

Conceitualização: Lasala, M.; Dartora, A.; Andrade, J.; Jatobá, A.; Curadoria de dados: Lasala, A.; Dartora, A.; Análise formal: Jatobá, A.; Aquisição de financiamento: Jatobá, A.; Investigação: Lasala, M.; Dartora, A.; Moraes, K. F.; Machado, A. O.; Ferreira, G. B.; Andrade, J.; Jatobá, A. Metodologia: Andrade, J.; Jatobá, A.; Administração do projeto: Lasala, M.; Recursos: Jatobá, A.; Andrade, J.; Software: Lasala, A.; Dartora, A.; Supervisão: Jatobá, A.; Andrade, J.; Validação: Lasala, M.; Jatobá, A.; Visualização: Lasala, M.; Stockhausen, L.; Jatobá, A.; Escrita – primeira versão: Lasala, M.; Stockhausen, L.; Jatobá, A.; Escrita – revisão e edição: Lasala, M.; Stockhausen, L.; Jatobá, A.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida a A. Jatobá (308661/2023-0) e pelo apoio financeiro (404382/2023-1). À Biohall pelo fornecimento do biorremediador.

Referências

1. FAO. The state of world fisheries and aquaculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en?details=cc0461en>.
2. Peixe BR. Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário 2024. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2024/>
3. Lieke T, Meinelt T, Hoseinifar SH, Pan B, Straus DL, Steinberg CEW. Sustainable aquaculture requires environmental-friendly treatment strategies for fish diseases. Rev Aquac. 2020;12(2):943–65. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/raq.12365>
4. Hlordzi V, Kuebutornye FKA, Afriyie G, Abarike ED, Lu Y, Chi S, *et al.* The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: a review. Aquac Rep. 2020; 18:100503. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>
5. Emerenciano M, Gaxiola G, Cuzon G. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. In: Hasan MR, New MB, editors. On-farm feeding and feed management in aquaculture. Rome: FAO; 2013. p.301–28. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/53902>
6. Jatobá A, Borges YV, Silva FA. Biofloc: sustainable alternative for water use in fish culture. Arq Bras Med Vet Zootec. 2019;71(3):1076–80. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10309>
7. Abakari G, Luo G, Kombat EO. Dynamics of nitrogenous compounds and their control in biofloc technology (BFT) systems: a review. Aquac Fish. 2020;5(6):303–10. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.07.009>
8. Jasmin MY, *et al.* Potential of bioremediation in treating aquaculture sludge: review article. Aquaculture. 2020;519:734905. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734905>

9. He X, Abakari G, Tan H, Liu W, Luo G. Effects of different probiotics (*Bacillus subtilis*) addition strategies on a culture of *Litopenaeus vannamei* in biofloc technology (BFT) aquaculture system. *Aquaculture*. 2023;566:739216. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739216>
10. James G, Das BC, Jose S, Kumar R. *Bacillus* as an aquaculture friendly microbe. *Aquac Int*. 2021;29(1):323–53. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00630-0>
11. Tachibana L, Telli GS, Dias DC, Gonçalves GS, Guimarães MC, Ishikawa CM, *et al.* *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): effects on growth performance, gut microbiota modulation and innate immunology. *Aquac Res*. 2021;52(4):1630–42. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/are.15016>
12. Lara GR, Poersch LH, Wasielesky W Jr. The quantity of artificial substrates influences the nitrogen cycle in the biofloc culture system of *Litopenaeus vannamei*. *Aquac Eng*. 2021;94:102171. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102171>
13. Bracino AA, Concepcion RS, Dadios EP, Vicerra RRP. Biofiltration for recirculating aquaponic systems: a review. In: Proceedings of the 2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM). IEEE; 2020. p.1–6. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/HNICEM51456.2020.9400136>
14. Robles-Porchas GR, Gollas-Galván T, Martínez-Porchas M, Martínez-Cordova LR, Miranda-Baeza A, Vargas-Albores F. The nitrification process for nitrogen removal in biofloc system aquaculture. *Rev Aquac*. 2020;12(4):2228–49. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/raq.12431>
15. El-Sayed A-FM. Use of biofloc technology in shrimp aquaculture: a comprehensive review, with emphasis on the last decade. *Rev Aquac*. 2021;13(1):676–705. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/raq.12494>
16. Kumar S, Anand PSS, De D, Ghoshal TK, Alavandi SV, Vijayan KK. Integration of substrate in biofloc-based system: effects on growth performance, water quality and immune responses in *Penaeus monodon*. *Aquac Res*. 2019;50(10):2986–99. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/are.14256>
17. da Paz Serra F, Wasielesky W Jr, Abreu PC. Nitrogen salt fertilization vs. substrate availability: two strategies to improve nitrification during the production of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 2021;543:736997. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736997>
18. Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*. 2006;257(1–4):346–58. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>
19. Avnimelech Y. Biofloc technology: a practical guide book. Baton Rouge: The World Aquaculture Society; 2015. 258 p. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20113266301>
20. Schweitzer R, Arantes R, Baloi MF, Costódio PFS, Arana LV, Seiffert WQ, *et al.* Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc system) at different stocking densities: effects on microbial activity, water quality and production rates. *Aquac Eng*. 2013;54:93–103. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.12.003>
21. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington (DC): American Public Health Association; 1995. Disponível em: <http://books.scielo.org>
22. Ranzani-Paiva MJT, Pádua SB, Tavares-Dias M, Egami MI. Métodos para análise hematológica em peixes. Maringá: EDUEM; 2013. 140 p. Disponível em: <https://books.google.com.br>
23. Zar JH. Biostatistical analysis. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall; 2010. 994 p.
24. Mengistu SB, Mulder HA, Benzie JAH, Komen H. A systematic literature review of the major factors causing yield gap by affecting growth, feed conversion ratio and survival in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Rev Aquac*. 2020;12(2):524–41. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/raq.12331>
25. El-Sayed HE, Okon EM, Abdel-Warith A-WA, Younis EM, Dowidar HA, Elbahnaswy S, *et al.* In-water *Bacillus* species probiotic improved water quality, growth, hemato-biochemical profile, immune regulatory genes and resistance of Nile tilapia to *Aspergillus flavus* infection. *Aquac Int*. 2024;32:7087–102. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01503-6>
26. Roveda M, de Menezes CCA, Bolívar-Ramírez NC, Owatari MS, Jatobá A. Acidifying remediation and microbial bioremediation decrease ammoniacal nitrogen, orthophosphates, and total suspended solids levels in intensive Nile tilapia farming under biofloc conditions. *Aquaculture*. 2024;580:740292. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740292>
27. Hargreaves JA. Biofloc production systems for aquaculture. Stoneville: Southern Regional Aquaculture Center; 2013. 12 p. Disponível em: <https://cabidigitallibrary.org>
28. Soaudy MR, Ghonimy A, Greco LSL, Chen Z, Dyzenchauz A, Li J. Total suspended solids and their impact in a biofloc system: current and potentially new management strategies. *Aquaculture*. 2023;572:739524. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739524>
29. Ferreira L, *et al.* Biofilm versus biofloc: are artificial substrates for biofilm production necessary in the BFT system? *Aquac Res*. 2016;24(4):921–30. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9961-0>

30. Guimarães MC, Cerezo IM, Fernandez-Alarcon MF, Natori MM, Sato LY, Kato CAT, *et al.* Oral administration of probiotics (*Bacillus subtilis* and *Lactobacillus plantarum*) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) vaccinated and challenged with *Streptococcus agalactiae*. *Fishes*. 2022;7(4):211. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fishes7040211>
31. de Moraes APM, Abreu PC, Wasielesky W Jr, Krummenauer D. Effect of aeration intensity on the biofilm nitrification process during the production of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in biofloc and clear water systems. *Aquaculture*. 2020;514:734516. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734516>
32. Fazio F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: a review. *Aquaculture*. 2019;500:237–42. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.030>
33. Rodrigues TAR, Owatari MS, Veiga PTN, Povh JA, Kasai RYD, Pilarski F, *et al.* *Bacillus subtilis* improves non-specific immunity and survival of *Pseudoplatystoma reticulatum* challenged with *Aeromonas hydrophila* during the feeding training phase. *Aquac Res*. 2021;52(5):2348–52. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/are.15055>
34. Ortiz M, Esteban MÁ. Biology and functions of fish thrombocytes: a review. *Fish Shellfish Immunol*. 2024;148:109509. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109509>
35. Costa L, *et al.* Use of *Bacillus subtilis* multiplicate in the water used for biofloc formation: growth, hemato-biochemistry, intestinal bacteria colonies, and bacterial resistance evaluations of Nile tilapia. *Aquaculture*. 2024;590:741039. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741039>
36. Saldanha L, *et al.* Periphyton use on microbial dynamics, water quality, and Nile tilapia growth in rearing tanks. *Pesq Agropec Bras*. 2021;56. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01520>
37. Hassaan MS, Soltan MA, Jarmołowicz S, Abdo HS. Combined effects of dietary malic acid and *Bacillus subtilis* on growth, gut microbiota and blood parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac Nutr*. 2018;24:83–93. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/anu.12536>
38. Santos GG, *et al.* Probiotic mix of *Bacillus* spp. and benzoic organic acid as growth promoter against *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia. *Aquaculture*. 2023;566:739212. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739212>