



CAPÍTULO 6

Interações Entre Comunidade Bacteriana e Variáveis Ambientais em Sistemas de Bioflocos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.141112613016>

Ana Carolina Gonçalves

Amanda Dartora

Emily Dalprá

Gabriel Tobias Dechamps

Keren Fagundes Morais Guesser

Sarah Vitória Maya da Silsa

Jaqueline Inês Alves de Andrade

Adolfo Jatobá

RESUMO: A aquicultura vem assumindo papel cada vez mais relevante na produção de alimentos, com destaque para o cultivo de tilápia-do-nilo e camarão-branco-do-pacífico (*Penaeus vannamei*), espécies de grande importância econômica no Brasil e no mundo. O crescimento da atividade tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis, entre eles a tecnologia de bioflocos (BFT), que se baseia na ação de comunidades microbianas para reciclagem de nutrientes e manutenção da qualidade da água. Este capítulo apresenta uma visão geral da aquicultura e dos principais sistemas de cultivo, incluindo tanques escavados, sistemas de recirculação (RAS) e o sistema de bioflocos, destacando suas características, vantagens e limitações. Em seguida, discute-se o funcionamento do BFT, com ênfase na formação dos bioflocos, no papel das bactérias heterotróficas e na importância dos sólidos suspensos para o equilíbrio do sistema. Além disso, são abordadas as relações entre a comunidade bacteriana e os principais parâmetros de

qualidade da água, como amônia, nitrito, nitrato, pH e alcalinidade, demonstrando como a atividade microbiana influencia diretamente a estabilidade do ambiente de cultivo. Os resultados analisados evidenciam que as bactérias heterotróficas desempenham função central no controle dos compostos nitrogenados e na formação da biomassa microbiana, sendo fundamentais para o bom desempenho dos sistemas de biofloc. Por fim, o capítulo reforça a importância do monitoramento integrado dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos como ferramenta de manejo, contribuindo para maior eficiência produtiva, biossegurança e sustentabilidade na aquicultura moderna.

PALAVRAS-CHAVES: Qualidade da água; Microbiologia aquícola; Compostos nitrogenados; Sólidos suspensos

Interactions Between Bacterial Community and Environmental Variables in Biofloc Systems

ABSTRACT: Aquaculture has become increasingly important in food production, with emphasis on the cultivation of tilapia and Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*), species of great economic relevance in Brazil and worldwide. The growth of this activity has encouraged the development of more efficient and sustainable production systems, among which Biofloc Technology (BFT) stands out. This system is based on the action of microbial communities that recycle nutrients and help maintain water quality. This chapter presents an overview of aquaculture and the main culture systems, including earthen ponds, recirculating aquaculture systems (RAS), and biofloc systems, highlighting their characteristics, advantages, and limitations. Subsequently, the functioning of BFT is discussed, with emphasis on biofloc formation, the role of heterotrophic bacteria, and the importance of suspended solids for system stability. In addition, the relationships between the bacterial community and key water quality parameters, such as ammonia, nitrite, nitrate, pH, and alkalinity, are addressed, demonstrating how microbial activity directly influences the balance of the culture environment. The analyzed results show that heterotrophic bacteria play a central role in controlling nitrogen compounds and in the formation of microbial biomass, being essential for the proper functioning of biofloc systems. Finally, the chapter emphasizes the importance of integrated monitoring of physicochemical and microbiological parameters as a management tool to improve productivity, biosecurity, and sustainability in modern aquaculture.

KEY-WORDS: Water quality; Aquaculture microbiology; Nitrogen compounds; Suspended solids.

INTRODUÇÃO

A aquicultura consiste no cultivo controlado de organismos aquáticos, como peixes, camarões, moluscos e algas, com o propósito de produzir alimentos, gerar renda ou conservar recursos naturais. Nas últimas décadas, essa atividade ganhou relevância internacional estratégica, impulsionada pelo aumento da demanda por proteína de origem animal e pela estagnação da pesca extrativa em muitos locais (Owatari et al., 2022).

Em 2024 na escala global, a produção de tilápia aproximou-se de 7 milhões de toneladas recentemente, sendo avaliada em mais de US\$ 14 bilhões para o setor, mais precisamente, fontes estimam que em 2025 a produção mundial de tilápia deve chegar a 7,3 milhões de toneladas. Esses dados demonstram que a espécie se estabeleceu como uma das principais no cultivo aquático mundial, tanto pela adaptabilidade quanto pelo valor econômico. (PEIXE BR, 2025).

No Brasil, o cultivo de tilápia também desponta com força expressiva. Em 2024, o país produziu cerca de 968.745 toneladas de peixe, um crescimento de aproximadamente 9,2% em relação ao ano anterior, o que reflete sua importância dentro da piscicultura nacional, sendo a espécie dominante na aquicultura de água doce brasileira, a qual é responsável por mais de 68,4% da produção de peixes de cultivo (PEIXE BR, 2025).

Em relação ao camarão-branco-do-pacífico (*Penaeus vannamei*), espécie predominante na carcinicultura brasileira, os dados indicam que em 2022 o Brasil produziu cerca de 113,3 mil toneladas, com valor estimado de US\$ 427 milhões. Em escala mundial, a carcinicultura (7,923 milhões de toneladas) superou a pesca extrativa (3,142 milhões de toneladas), representando mais que o dobro da produção pesqueira atual. Apesar de a produção de camarão no Brasil estar destinada majoritariamente ao mercado interno, o cultivo dessa espécie representa um importante segmento da aquicultura marinha (De Fátima Vidal, 2024).

Dessa forma, tanto globalmente quanto nacionalmente, a aquicultura demonstra um papel estratégico crescente para o abastecimento de proteínas, geração de emprego e renda, e para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis (Angel et al., 2019; Chiquito & Contretas et al., 2022; Rahman, 2015).

Os sistemas de produção aquícola apresentam grande diversidade e variam conforme o nível de tecnologia, investimento, espécie cultivada e objetivos do produtor. Entre os mais utilizados destacam-se os sistemas convencionais, geralmente baseados em tanques escavados. Tais modelos caracterizam-se pelo baixo custo de implantação, renovação contínua de água, o que ajuda a diluir compostos tóxicos e manter condições mais estáveis para os organismos cultivados, e pela facilidade

de manejo, sendo comuns em pequenas e médias propriedades rurais (Vicente et al., 2021). Embora ofereçam amplas áreas de cultivos, tanques escavados possuem menor controle da qualidade da água, ficando sujeitos a variações ambientais, como chuvas intensas, oscilações de temperatura e acúmulo de matéria orgânica (Jatobá et al., 2019; Ibrahim, 2023; Tian & Dong, 2023).

Nesse contexto, os sistemas de recirculação, conhecidos como RAS (do inglês *Recirculating Aquaculture Systems*) representam um nível mais avançado de controle ambiental. Nesses sistemas, a água circula continuamente por filtros mecânicos, biológicos e químicos, retornando ao tanque em condições adequadas ao cultivo. Essa tecnologia permite altas densidades de estocagem, maior biossegurança e menor uso de água, tornando possível a produção em áreas urbanas ou com pouca disponibilidade hídrica (Gupta et al., 2024; Li et al., 2023). No entanto, seu custo de implantação e operação é elevado, e o manejo demanda mão de obra especializada (Davidson et al., 2024).

Entre as tecnologias mais inovadoras, os sistemas à base de tecnologia de bioflocos (do inglês *Biofloc Technology*) têm ganhado destaque por combinar sustentabilidade e eficiência produtiva. Nesse sistema, microrganismos heterotróficos, por meio de uma elevada relação de carbono para nitrogênio (C:N), transformam amônia em biomassa microbiana, formando agregados chamados de bioflocos, os quais podem servir como alimento complementar para a espécie cultivada. O BFT apresenta diversas vantagens, como o baixo consumo de água, o reaproveitamento de nutrientes, maior biossegurança e potencial redução dos custos com ração. Entretanto, o sucesso desse sistema depende do manejo adequado dos sólidos suspensos, da manutenção do equilíbrio microbiano e da presença de mão de obra capacitada, uma vez que o excesso de bioflocos pode comprometer a qualidade da água, aumentando a turbidez e o consumo de oxigênio, o que prejudica o desempenho dos animais (Emerenciano, 2021).

A comunidade bacteriana constitui o núcleo funcional dos sistemas de bioflocos. Esses microrganismos são responsáveis pela transformação de resíduos, pelo controle de compostos tóxicos, como amônia e nitrito, e pela manutenção do equilíbrio do ambiente aquático. Além disso, participam diretamente da formação dos bioflocos, que atuam tanto como filtro biológico quanto como fonte natural de alimento. Os sólidos suspensos, que incluem esses agregados microbianos, são fundamentais para o funcionamento do sistema, pois refletem a atividade microbiológica e o nível de reciclagem de nutrientes. Assim, compreender a relação entre bactérias, sólidos suspensos e qualidade da água é essencial para o manejo adequado e para o sucesso produtivo dos sistemas de bioflocos (Khanjani et al., 2025; Raza et al., 2025; Schweitzer et al., 2024).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar como as bactérias heterotróficas totais se relacionam com os principais parâmetros de qualidade da água comumente avaliados em sistemas de bioflocos, permitindo compreender de que forma a atividade microbiana influencia o equilíbrio do ambiente de cultivo.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no Laboratório de Aquicultura do Instituto Federal Catarinense (IFC) - *Campus Araquari*. As coletas foram realizadas em quatro tanques operando sob a tecnologia de bioflocos (BFT). Os tanques selecionados apresentavam concentrações de sólidos suspensos totais (SST) superiores a 100 mg. L^{-1} e volume de floco (VF) maior que 3 mL. L^{-1} , determinado por meio do cone de Imhoff. As amostragens de água foram realizadas quinzenalmente ao longo do período experimental, que compreendeu 11 semanas entre os meses de março e maio de 2024.



Figura 1. Laboratório de aquicultura no Instituto Federal Catarinense.



Figura 2. Estrutura experimental em caixa de polietileno para cultivo em bioflocos



Figura 3. Cones de Imhoff

Monitoramento dos parâmetros físico-químicos

Em cada campanha de coleta, mensuraram-se o oxigênio dissolvido e a temperatura da água diariamente, no período da manhã, utilizando um oxímetro digital (YSI Professional Plus) e o volume de floco (VF) foi determinado com auxílio

de cones de Imhoff, após 15 minutos de sedimentação. Adicionalmente, com frequência semanal, foram determinadas a amônia nitrogenada total (TAN), amônia tóxica (NH_3), nitrito (N-NO_2), nitrato (N-NO_3), ortofosfato (PO_4^{3-}) e pH, seguindo os protocolos analíticos estabelecidos pela Alfakit e juntamente a alcalinidade, que foi realizada por meio de titulação potenciométrica. As análises de sólidos suspensos totais (SST) foram conduzidas conforme os métodos padrões descritos pela American Public Health Association – APHA (1995).



Figura 4. Monitoramento da qualidade da água



Figura 5. Quantificação dos sólidos suspensos

Análises microbiológicas

Durante o experimento, foram realizadas análises microbiológicas da água quinzenalmente, visando a quantificação de bactérias heterotróficas totais. As coletas seguiram a metodologia descrita por Jatobá et al. (2016). Para isso, alíquotas de 1 mL de água de cada tanque foram submetidas a diluições seriadas (fator 1:10) em solução salina estéril contendo 3,0% de NaCl. Posteriormente, as diluições foram semeadas, em duplicata, pelo método de espalhamento em superfície (*spread plate*) em ágar TSA (*Tryptic Soy Agar*) suplementado com 1,5% de NaCl. As placas foram incubadas a 30 °C durante 24 horas. Após o período de incubação, procedeu-se à contagem das unidades formadoras de colônia (UFC), e os resultados foram expressos em UFC mL⁻¹.

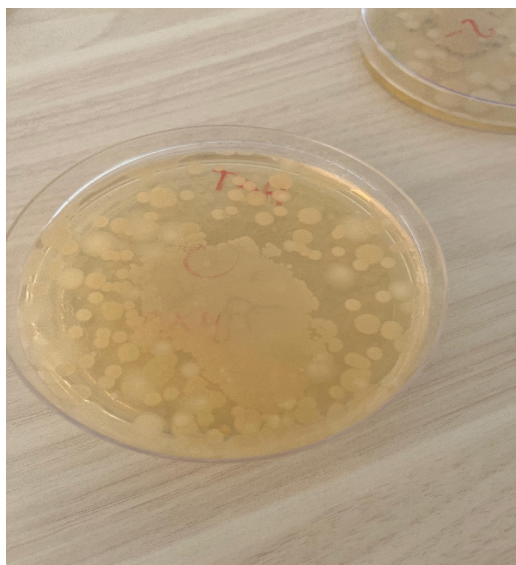


Figura 6. Isolamento e crescimento bacteriano em meio TSA

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos ao teste de Kolmogorov–Smirnov para verificação da normalidade e ao teste de Levene para avaliar a homoscedasticidade das variâncias. As contagens microbiológicas foram transformadas em $\text{Log}(x + 1)$ antes das análises estatísticas. Em seguida, foi utilizado a Análise de Correlação de Pearson (r) entre a quantidade de bactérias heterotróficas

totais e todos os demais parâmetros de qualidade da água avaliados. As análises foram executadas com nível de significância de 5%

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relação entre volume de floco e bactérias heterotróficas totais

A 3ª e a 5ª semana apresentaram correlações fortes entre o volume de floco e a concentração de bactérias heterotróficas totais ($r = 0,9977$ e $-0,9244$), enquanto a 7ª semana mostrou correlação moderada ($r = -0,5340$). Nas demais semanas, as correlações foram fracas ou inexistentes. O volume de floco representa, de forma macroscópica, a concentração de sólidos suspensos em sistemas de bioflocos, sendo composto por bactérias, algas, protozoários, matéria orgânica e outros microrganismos que podem atuar como fonte alimentar suplementar para os organismos cultivados (Hosain et al., 2025).

Em sistemas de bioflocos predominantemente heterotróficos, observa-se aumento progressivo dos sólidos suspensos em função do crescimento da biomassa microbiana, especialmente de bactérias heterotróficas (Helly Júnior et al., 2021). Esse crescimento está diretamente relacionado à disponibilidade de compostos nitrogenados, como a amônia (NH_3 ou NH_4^+), e à sua assimilação pelas bactérias na presença de uma elevada relação carbono-nitrogênio (C:N) (Yu et al., 2023). Dessa forma, o adequado desenvolvimento das bactérias heterotróficas depende do manejo correto da fertilização do sistema, especialmente a partir da adição equilibrada de fontes de carbono e nitrogênio, garantindo estabilidade do biofloco e qualidade da água.

Portanto, os sólidos suspensos, representados principalmente pelo biofloco, refletem a atividade e o equilíbrio da comunidade microbiana, sendo indicadores diretos da reciclagem de nutrientes e do funcionamento biológico do sistema.

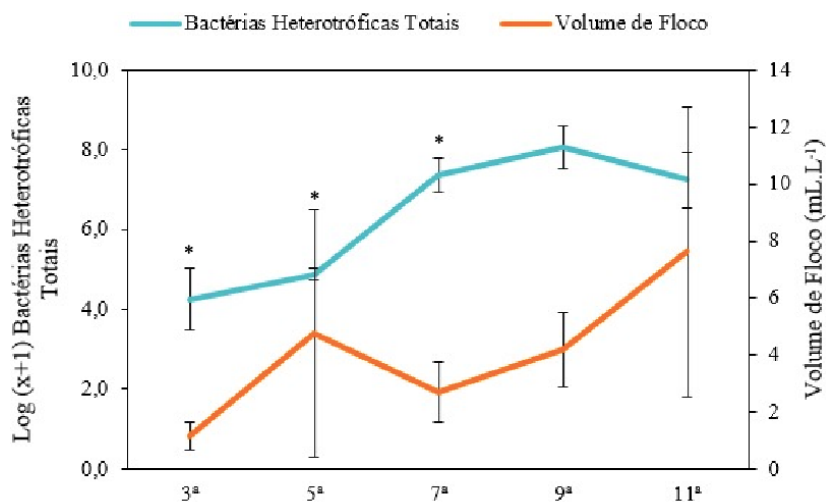


Figura 1. Volume de floco e bactérias heterotróficas totais da água de bioflocos. *Indica valores do coeficiente de Pearson ($0,5 < r < -0,5$).

Sólidos suspensos totais

Uma correlação forte foi observada na 2ª semana, com tendência à redução nas semanas seguintes. Isso demonstra que o acúmulo inicial de sólidos é rapidamente colonizado por bactérias, mas a flutuação subsequente depende do manejo e da estabilidade do sistema.

A relação entre bactérias e sólidos suspensos totais é particularmente importante, pois grande parte dos SST orgânicos serve como substrato para o desenvolvimento microbiano. Em sistemas de bioflocos, por exemplo, o material particulado funciona como microhabitat para bactérias heterotróficas, que agregam partículas, metabolizam compostos nitrogenados e contribuem para a estabilidade da qualidade da água (Avnimelech, 1999). Entretanto, a superacumulação desses sólidos pode gerar desequilíbrios, favorecendo o crescimento excessivo de microrganismos oportunistas e aumentando o consumo de oxigênio devido à intensa respiração bacteriana (Emerenciano et al., 2013). Esse cenário pode resultar em estresse fisiológico aos organismos cultivados, causar abrasão branquial e elevar a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de comprometer a eficiência de dispositivos de aeração e circulação de água (Crab et al., 2012).

Assim, o manejo adequado dos SST, por meio de sedimentação, filtragem mecânica ou ajuste da relação carbono/nitrogênio, é essencial para manter comunidades microbianas benéficas e garantir um ambiente funcional e produtivo na aquicultura moderna. Dessa forma, o monitoramento contínuo dos SST é considerado um indicador crítico da qualidade da água em sistemas de produção aquícola intensiva.

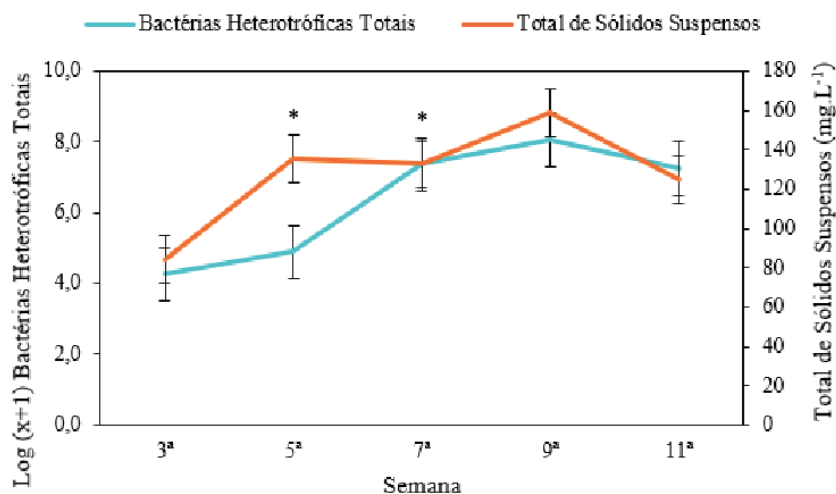


Figura 2. Total de sólidos suspensos e bactérias heterotróficas totais (BHT) na água de bioflocos. *Indica valores do coeficiente de Pearson ($0,5 < r < -0,5$).

Alcalinidade

A alcalinidade é fundamental para a estabilidade química da água, atuando como sistema tampão e sustentando a atividade microbiana, especialmente em sistemas intensivos com alta produção de biomassa bacteriana. Esta variável apresentou correlações fortes com as bactérias heterotróficas totais na 7ª e 9ª semana ($r = 0,8511$ e $0,8128$) e correlações moderadas na 3ª, 5ª e 11ª semanas ($r = 0,6766$; $-0,6490$; $-0,5771$). A alcalinidade, expressa em mg.L^{-1} de carbonato de cálcio (CaCO_3), representa um importante reserva de carbono inorgânico. Nesse tipo de sistema, ocorre intensa competição por recursos entre bactérias heterotróficas e autotróficas, sendo a alcalinidade um dos fatores compartilhados por esses grupos microbianos (Abakari et al., 2020). Embora as bactérias heterotróficas utilizem principalmente fontes de carbono orgânico para seu crescimento, estas também podem consumir carbono inorgânico, contribuindo para a redução da alcalinidade ao longo do cultivo (Mohammad et al., 2024).

Quando comparadas às bactérias nitrificantes, as bactérias heterotróficas consomem quantidades mais moderadas de alcalinidade (Ebeling et al., 2006). Ainda assim, mesmo em sistemas predominantemente heterotróficos, a reposição da alcalinidade torna-se necessária para manter a estabilidade do sistema. A adição de agentes alcalinizantes, como bicarbonato ou hidróxido de cálcio, é uma prática comum e essencial para evitar quedas excessivas de alcalinidade e garantir o funcionamento adequado do biofoco (Helly Júnior et al., 2021).

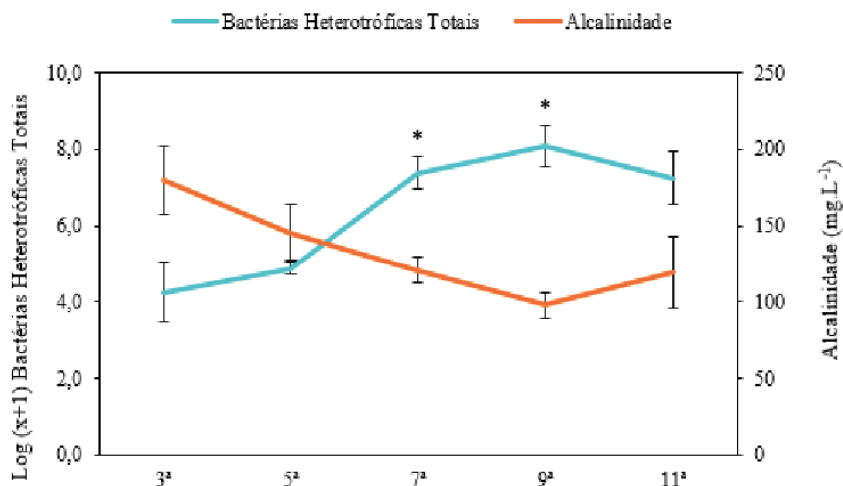


Figura 3. Alcalinidade e bactérias heterotróficas totais de água de bioflocos. *Indica valores do coeficiente de Pearson ($0,5 < r < -0,5$).

pH

O pH manteve-se relativamente estável ao longo do experimento, porém apresentou correlações fortes em momentos específicos, como na 3ª, 7ª e 9ª semanas ($r = -0,8887$; $0,8707$ e $0,7463$, respectivamente), enquanto nas 5ª e 11ª semanas as correlações foram fracas. Esse comportamento indica que, embora o sistema tenha permanecido quimicamente estável na maior parte do tempo, variações pontuais do pH estiveram associadas à atividade microbiológica.

A atividade das bactérias heterotróficas influencia diretamente o pH em sistemas aquícolas, pois esses microrganismos utilizam matéria orgânica como fonte de energia. Durante esse processo, ocorre aumento da respiração microbiana e liberação de dióxido de carbono (CO_2), que, ao se dissolver na água, forma ácido carbônico, liberando H^+ e contribuindo para a redução do pH (Furtado, 2014). Esse efeito torna-se mais evidente em sistemas operados com alta relação carbono:nitrogênio (C:N), como os sistemas de bioflocos, nos quais o crescimento das bactérias heterotróficas é estimulado.

Quando a produção de CO_2 é elevada e a alcalinidade não é mantida em níveis adequados, o sistema perde parte de sua capacidade tampão, favorecendo a acidificação da água (Han et al., 2025). Assim, a estabilidade do pH em sistemas de bioflocos resulta de um equilíbrio entre a respiração microbiana, a disponibilidade de alcalinidade e a remoção eficiente do CO_2 dissolvido na água (Zhang et al., 2022).

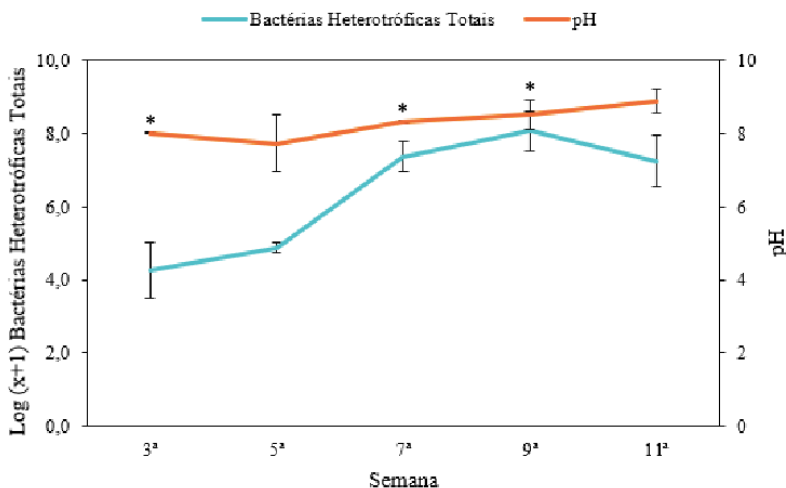


Figura 4. O pH e bactérias heterotróficas totais na água de bioflocos.
*Indica valores do coeficiente de Pearson ($0,5 < r < -0,5$).

Amônia total e amônia tóxica

Na amônia total observou-se correlação forte na 3ª semana ($r = 0,8343$) e correlação moderada na 9ª e 11ª semanas. Nas 5ª e 7ª semanas, as correlações foram menores, o que pode estar relacionado à competição entre bactérias heterotróficas e nitrificantes pelo nitrogênio disponível no sistema. Em relação à amônia tóxica (NH_3), a 1ª semana apresentou correlação perfeita ($r = 1$), enquanto a 4ª semana apresentou correlação moderada. Nas demais semanas, as correlações foram baixas, o que sugere que a atividade bacteriana contribuiu para a redução gradual da fração tóxica da amônia ao longo do tempo.

Na aquicultura, a amônia total (TAN) corresponde à soma da amônia não ionizada (NH_3) e da forma ionizada (NH_4^+), sendo considerada um dos parâmetros mais críticos para a manutenção da qualidade da água (Pereira & Mercante, 2005). A proporção entre essas duas formas depende diretamente do pH e da temperatura, uma vez que essas variáveis influenciam tanto o equilíbrio químico da amônia quanto a atividade metabólica e a proliferação bacteriana. Com o aumento do pH, ocorre elevação da fração de NH_3 , o que torna o monitoramento integrado desses parâmetros essencial para evitar situações de estresse e mortalidade (Boyd & Tucker, 2012).

As bactérias heterotróficas exercem influência direta sobre a amônia total em sistemas aquícolas, pois utilizam o nitrogênio inorgânico, principalmente na forma de amônia, para a formação de biomassa microbiana quando há disponibilidade de carbono orgânico (Avnimelech, 1999). Em sistemas de bioflocos, esse mecanismo é

amplamente explorado, uma vez que a elevada relação carbono:nitrogênio (C:N) estimula o crescimento dessas bactérias e aumenta a taxa de assimilação da amônia, contribuindo para a manutenção da qualidade da água (Emerenciano et al., 2013). Além disso, estudos indicam que comunidades heterotróficas podem competir com bactérias nitrificantes pelo nitrogênio disponível, reduzindo temporariamente a conversão da amônia em nitrito e nitrato e promovendo um controle mais rápido das concentrações de TAN, especialmente em ambientes com alta carga orgânica (Hargreaves, 2013a).

Concentrações elevadas de amônia total afetam negativamente o crescimento, a conversão alimentar e a resistência imunológica dos organismos cultivados, reduzindo o desempenho produtivo e aumentando a susceptibilidade a doenças (Hargreaves, 2013b; El-Shafiey et al., 2022). A amônia não ionizada, por sua vez, provoca principalmente danos às brânquias, além de comprometer processos de osmorregulação e causar distúrbios metabólicos, podendo resultar em mortalidade aguda ou crônica, dependendo da concentração e do tempo de exposição (Emerson et al., 1975). Dessa forma, estratégias como o controle da alimentação, o uso adequado do sistema de bioflocos, a biofiltração eficiente e a renovação parcial da água são fundamentais para manter a amônia em níveis seguros (Emerenciano, Gaxiola & Cuzon, 2017).

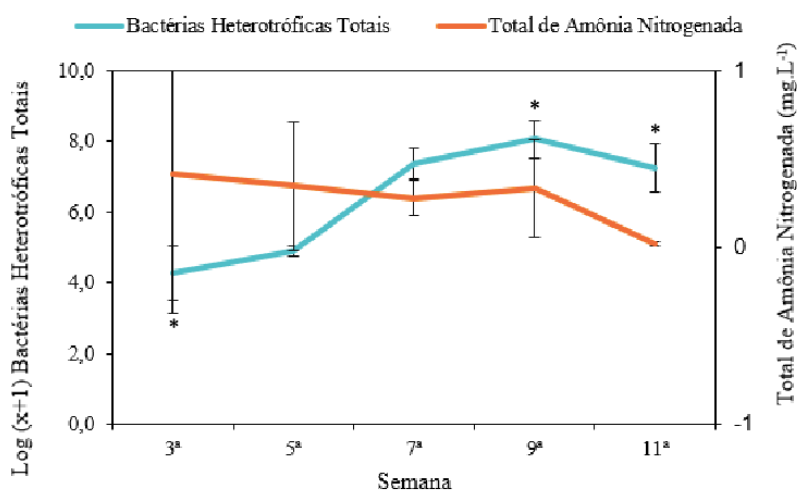


Figura 5. Total de amônia nitrogenada e bactérias heterotróficas totais na água de bioflocos *Indica valores do coeficiente de Pearson ($0,5 < r < -0,5$).

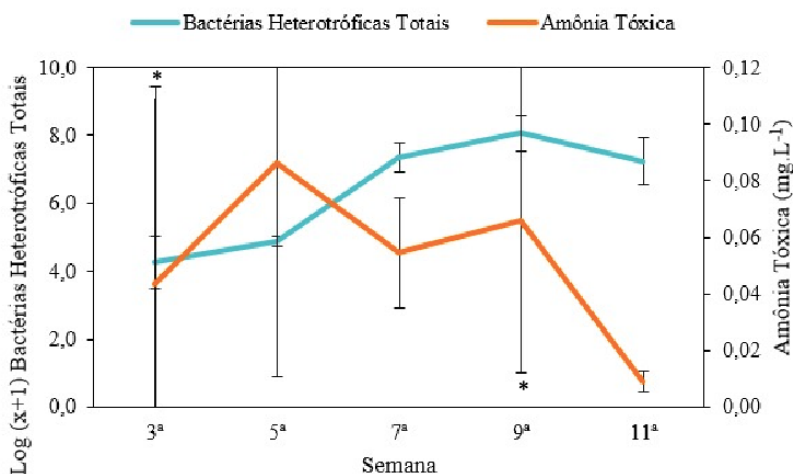


Figura 6. Total de amônia tóxica e bactérias heterotróficas totais na água de bioflocos. *Indica valores do coeficiente de Pearson ($0,5 < r < 0,5$).

Nitrito e nitrato

O nitrito apresentou correlação forte na 1ª e 5ª semanas e correlação moderada na 2ª semana. A redução observada nas semanas iniciais é característica de sistemas com elevada atividade bacteriana heterotrófica, nos quais a assimilação direta do nitrogênio reduz temporariamente a disponibilidade de amônia para a via nitrificante. O nitrato, por sua vez, apresentou correlação forte apenas nas 2ª e 3ª semanas, indicando que, ao longo do período avaliado, a nitrificação foi menos expressiva quando comparada à via heterotrófica predominante no sistema.

O nitrito (NO_2^-) é um composto intermediário do ciclo do nitrogênio, formado principalmente a partir da oxidação da amônia por bactérias nitrificantes, com destaque para o gênero *Nitrosomonas* (Hargreaves & Tucker, 2004). Em sistemas aquícolas, o acúmulo de nitrito é indesejável, pois mesmo em concentrações relativamente baixas pode provocar efeitos tóxicos aos organismos cultivados. Entre esses efeitos, destaca-se a formação de meta-hemoglobina, que reduz a capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue, fenômeno conhecido como “doença do sangue marrom” (Lewis & Morris, 1986).

A toxicidade do nitrito é modulada por fatores ambientais como salinidade, pH e concentração de cloretos, sendo este último um antagonista direto do NO_2^- na absorção pelas brânquias. A relação entre o nitrito e a comunidade bacteriana está diretamente associada à gestão da qualidade da água, uma vez que o seu acúmulo indica desequilíbrios na comunidade nitrificante. Enquanto bactérias oxidantes de

amônia, como *Nitrosomonas* spp., produzem nitrito, bactérias oxidantes de nitrito, como *Nitrobacter* spp. e *Nitrospira* spp., são responsáveis por convertê-lo em nitrato (NO_3^-), uma forma menos tóxica de nitrogênio inorgânico (Dai et al., 2020). Condições que prejudicam o desenvolvimento dessas bactérias, como baixas concentrações de oxigênio, temperaturas inadequadas ou excesso de matéria orgânica, podem resultar no acúmulo de NO_2^- no meio de cultivo (Chen, Ling & Blanchette, 2006).

A relação entre nitrito e nitrato é, portanto, direta, uma vez que o nitrato é formado pela oxidação do nitrito durante o processo de nitrificação. O nitrato (NO_3^-) representa a forma final e menos tóxica do nitrogênio inorgânico nesse ciclo, sendo frequentemente utilizado como indicador da eficiência da comunidade nitrificante. Em sistemas aquícolas, especialmente em sistemas fechados ou de recirculação, o nitrato tende a se acumular devido à elevada entrada de nitrogênio proveniente da excreção dos organismos cultivados e da decomposição da matéria orgânica, associada à baixa renovação de água (Timmons & Ebeling, 2013).

Dessa forma, em sistemas de biofoco, a manutenção de comunidades microbianas equilibradas é fundamental para evitar picos de nitrito e garantir a saúde dos organismos cultivados, ressaltando o papel essencial da microbiota nitrificante no funcionamento sustentável da aquicultura moderna.

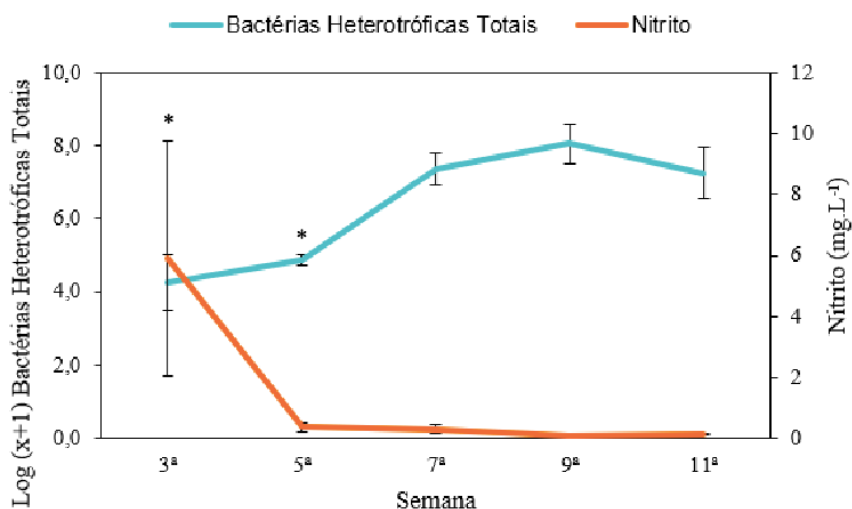


Figura 7. Nitrito e bactérias heterotróficas totais na água de biofocos.

*Indica valores do coeficiente de Pearson ($0,5 < r < 0,5$).

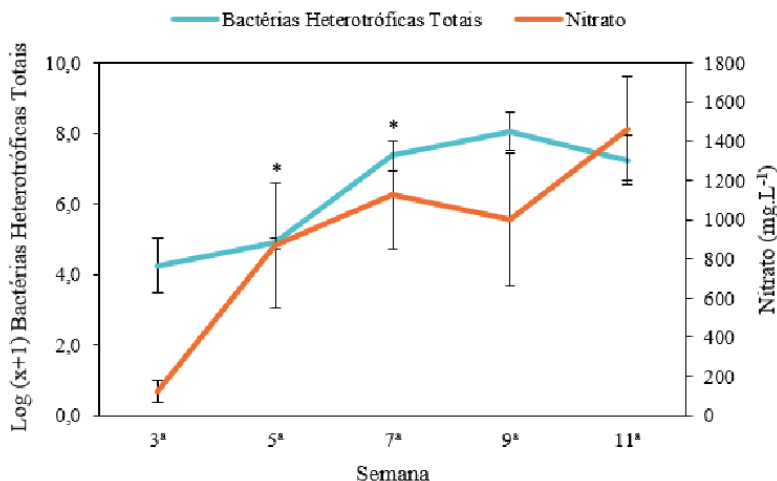


Figura 8. Nitrato e bactérias heterotróficas totais (BHT) na água de bioflocos. *Para valores do coeficiente de Pearson ($0,5 < r < -0,5$).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados demonstram que as bactérias heterotróficas totais mantêm relações importantes com diversos parâmetros de qualidade da água, influenciando de forma direta ou indiretamente o volume de floco, na alcalinidade, no pH e nas concentrações de compostos nitrogenados. Essa interação evidencia que a comunidade microbiana desempenha papel central no funcionamento e na estabilidade dos sistemas de bioflocos (BFT), atuando como um dos principais motores dos processos de reciclagem de nutrientes.

A dinâmica observada ao longo do cultivo confirma que o equilíbrio do sistema BFT depende do adequado manejo das populações bacterianas, uma vez que sua atividade está diretamente associada aos processos de nitrificação e assimilação da amônia e do nitrito, além da própria formação do biofloco. Dessa forma, o monitoramento da biomassa microbiana, aliado à avaliação dos parâmetros físico-químicos da água, constitui uma ferramenta prática para indicar a eficiência do sistema e antecipar possíveis desequilíbrios.

As informações obtidas neste estudo contribuem para o melhor entendimento dos processos biológicos e ecológicos que regem os sistemas de biofloco e fornecem subsídios para decisões de manejo mais seguras e eficientes. Para produtores, técnicos e estudantes, a abordagem integrada entre parâmetros microbiológicos e físico-químicos amplia a capacidade de diagnóstico da qualidade da água, favorece o uso racional de insumos e reforça o potencial do BFT como uma tecnologia sustentável para a aquicultura moderna.

REFERÊNCIAS

- ABAKARI, G. et al. The use of biochar in the production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc technology system - BFT. *Aquacultural Engineering*, v. 91, p. 102123, nov. 2020.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington, DC: APHA, 1995.
- ANGEL, D.; JOKUMSEN, A.; LEMBO, G. Aquaculture production systems and environmental interactions. In: **ORGANIC aquaculture: impacts and future developments**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 103–118.
- AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, v. 176, p. 227–235, 1999.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. New York: Springer, 2012.
- CHEN, S.; LING, J.; BLANCHETTE, R. Nitrification kinetics of biofilm as affected by temperature, pH and dissolved oxygen concentration. *Aquacultural Engineering*, v. 34, p. 179–197, 2006.
- CHIQUITO-CONTRERAS, R. G. et al. Aquaculture—production system and waste management for agriculture fertilization: a review. *Sustainability*, v. 14, n. 12, p. 7257, 2022.
- CRAB, R. et al. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, v. 356–357, p. 351–356, 2012.
- DAI, X. et al. Nitrite-oxidizing bacteria: physiology, ecology and application in aquaculture systems. *Science of the Total Environment*, v. 706, p. 135492, 2020.
- DAVIDSON, J. et al. Evaluating the suitability of nitrate-nitrogen levels for post-smolt *Salmo salar* production in RAS with assistance from heart rate bio-loggers. *Aquacultural Engineering*, v. 107, p. 102461, 2024.
- DE FÁTIMA VIDAL, M. **Carcinicultura**. Caderno Setorial ETENE, v. 9, n. 355, 2024.
- EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B.; BISOGNI, J. J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, v. 257, n. 1, p. 346–358, 2006.
- EL-SHAFIEY, N. et al. Ammonia toxicity and its physiological effects on cultured fish: a review. *Aquaculture Research*, v. 53, p. 1–15, 2022.

EMERENCIANO, M. et al. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application. In: **BIOMASS now: cultivation and utilization**. Rijeka: InTech, 2013. p. 301–328.

EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. In: **BIOMASS now**. Rijeka: InTech, 2017. p. 301–328.

EMERENCIANO, M. G. C. et al. Biofloc technology (BFT) in tilapia culture. In: **BIOLOGY and aquaculture of tilapia**. Boca Raton: CRC Press, 2021. p. 258–293.

EMERSON, K. et al. Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**, v. 32, n. 12, p. 2379–2383, 1975.

FURTADO, P. S. **Relevância da alcalinidade, pH e dióxido de carbono na sobrevivência e crescimento de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

GUPTA, S. et al. Recent developments in recirculating aquaculture systems: a review. **Aquaculture Research**, v. 2024, n. 1, p. 6096671, 2024.

HAN, T. et al. Effects of aeration intensity on water quality, nutrient cycling, and microbial community structure in the biofloc system of *Litopenaeus vannamei*. **Water**, v. 17, n. 1, p. 41, 2025.

HARGREAVES, J. A.; TUCKER, C. S. **Managing ammonia and nitrite in fish ponds**. Stoneville: Southern Regional Aquaculture Center, 2004.

HARGREAVES, J. A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. **Aquaculture**, v. 394–395, p. 1–20, 2013a.

HARGREAVES, J. A. **Biofloc production systems for aquaculture**. Stoneville: Southern Regional Aquaculture Center, 2013b.

HELLYJÚNYOR BRANDÃO et al. Heterotrophic versus mixed BFT system: impacts on water use, suspended solids production and growth performance of *Litopenaeus vannamei*. **Aquacultural Engineering**, v. 95, p. 102194, 2021.

HOSAIN, M. et al. Effect of biofloc volume on growth, survival, economics and proximate composition of *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae cultured in brackish water biofloc system. **Blue Biotechnology**, v. 2, n. 4, 2025.

IBRAHIM, L. A. et al. A comprehensive review of the multiple uses of water in aquaculture-integrated agriculture. **Water**, v. 15, n. 2, p. 367, 2023.

JATOBÁ, A.; BORGES, Y. V.; SILVA, F. A. Biofloc: sustainable alternative for water use in fish culture. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 3, p. 1076–1080, 2019.

JATOBÁ, A. et al. Influência da renovação e inclusão de náuplios de tanques em laboratório de camarões marinhos (*Litopenaeus vannamei*). **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 19, n. 1, p. 77–80, 2016.

KHANJANI, M. H. et al. Biological removal of nitrogenous waste compounds in the biofloc aquaculture system: a review. **Annals of Animal Science**, v. 25, n. 1, p. 3–21, 2025.

LEWIS, W. M.; MORRIS, D. P. Toxicity of nitrite to fish: a review. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 115, p. 183–195, 1986.

LI, H. et al. Influencing factors in recirculating aquaculture systems: a review. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 54, n. 3, p. 566–602, 2023.

MOHAMMADI, A.; KHANJANI, M. H.; COELHO, G. Water quality in biofloc technology (BFT): an applied review. **Aquaculture International**, 2024.

OWATARI, M. S. et al. Sistemas de recirculação e reuso de água na aquicultura. In: **Ciências agrárias: a multidisciplinaridade dos recursos naturais**. 2022.

PEIXE BR. **Anuário PeixeBR 2025: panorama da aquicultura brasileira**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura, 2025.

PEREIRA, L.; MERCANTE, C. A amônia nos sistemas de criação de peixes. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 31, n. 1, p. 81–88, 2005.

RAHMAN, M. M. Role of common carp (*Cyprinus carpio*) in aquaculture. **Frontiers in Life Science**, v. 8, n. 4, p. 399–410, 2015.

RAZA, B. et al. Sustainability of biofloc technology in aquaponic systems. **International Aquatic Research**, v. 17, n. 3, 2025.

SCHVEITZER, R. et al. Concentration of suspended solids in superintensive culture of *Litopenaeus vannamei* with BFT. **Reviews in Aquaculture**, v. 16, n. 2, p. 785–795, 2024.

TIAN, X.-L.; DONG, S.-L. Land-based intensive aquaculture systems. In: **AQUACULTURE ecology**. Singapore: Springer Nature, 2023. p. 369–402.

TIMMONS, M. B.; EBELING, J. M. **Recirculating aquaculture**. 3. ed. Ithaca: Cayuga Aqua Ventures, 2013.

VICENTE, L. R. M.; JATOBA, A.; SILVA, L. R. Produção de *Oreochromis niloticus* em diferentes sistemas de cultivo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, p. 455–468, 2021.

YU, Y.-B. et al. Biofloc application using aquaponics and vertical aquaculture. **Fishes**, v. 8, n. 11, p. 543, 2023.

ZHANG, M. et al. Estimation of heterotrophic bacterial activity in biofilm of RAS. **Aquaculture**, v. 560, p. 738567, 2022.