

MONITORAMENTO NICTEMERAL EM BIOFLOCOS NA AMAZÔNIA: DIAGNÓSTICO COMPARATIVO DA QUALIDADE DA ÁGUA ENTRE PERÍODOS DE MAIOR E MENOR PRECIPITAÇÃO

NIGHTMARE MONITORING IN BIOFLOCS IN THE AMAZON: COMPARATIVE DIAGNOSIS OF WATER QUALITY BETWEEN PERIODS OF HIGHER AND LOWER PRECIPITATION

MONITOREO DE PESADILLA EN BIOFLOCS EN LA AMAZONIA: DIAGNÓSTICO COMPARATIVO DE LA CALIDAD DEL AGUA ENTRE PERIODOS DE MAYOR Y MENOR PRECIPITACIÓN

 <https://doi.org/10.56238/arev7n6-250>

Data de submissão: 22/05/2025

Data de publicação: 22/06/2025

Mizaira Sophia Cunha Corrêa

Graduanda em Engenharia de Pesca

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA

Endereço: Castanhal – Pará, Brasil

E-mail: sophiaacademica@gmail.com

Léa Carolina de Oliveira Costa

Doutora em Aquicultura

Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Endereço: Rio Grande – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: lea.costa@ifpa.edu.br

Jeferson Stiver Oliveira de Castro

Doutor em Química

Universidade Federal do Pará - UFPA

Endereço: Belém – Pará, Brasil

E-mail: stiver.castro@ifpa.edu.br

<https://orcid.org/0000-0003-3346-6977>

Saymon Rodrigues Matos da Costa

Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Endereço: Belém – Pará, Brasil

E-mail: saymon.costa@ifpa.edu.br

Alice Katrícia Mendes Carvalho de Farias

Graduanda em Engenharia de Pesca

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA

Endereço: Castanhal – Pará, Brasil

E-mail: katriciaalice@gmail.com

Bruna Cristina do Carmo Paz
Graduanda em Engenharia de Pesca
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA
Endereço: Castanhal – Pará, Brasil
E-mail: brunnapaz.ifpa@gmail.com

Eduardo Grangeiro de Moraes
Graduanda em Engenharia de Pesca
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA
Endereço: Castanhal – Pará, Brasil
E-mail: eduardograngeiro_18@hotmail.com

RESUMO

A expansão da aquicultura na Amazônia exige sistemas produtivos sustentáveis e adaptáveis às variações climáticas regionais. Dentre os modelos intensivos, o sistema de bioflocos (BFT) tem se destacado por sua eficiência no reaproveitamento de resíduos e na redução da renovação hídrica. No entanto, a instabilidade de parâmetros físico-químicos, especialmente em períodos de transição climática, pode comprometer a estabilidade do sistema e a saúde dos organismos cultivados. Este estudo teve como objetivo comparar as variações nyctemerais da qualidade da água em sistema BFT para o cultivo de *Penaeus vannamei* durante os períodos de maior e menor precipitação no município de Curuçá (PA), região amazônica. Foram realizados monitoramentos contínuos de 24 horas nos dois períodos sazonais, com coletas a cada duas horas em múltiplas profundidades. Os parâmetros avaliados incluíram temperatura, oxigênio dissolvido, pH, salinidade, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e sólidos sedimentáveis. Os dados foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilk), análises comparativas (teste t pareado e Wilcoxon) e correlações de Pearson. Os resultados evidenciaram reduções significativas de salinidade, condutividade e STD no verão, causadas por chuvas atípicas, além de oscilações críticas de OD e pH durante a madrugada. Tais alterações comprometem a eficiência do BFT e exigem estratégias específicas de manejo. Conclui-se que a adoção de monitoramento contínuo, correção salina e automatização da aeração são medidas essenciais para garantir a estabilidade do sistema em regiões tropicais sujeitas a variações sazonais intensas.

Palavras-chave: Bioflocos (BFT). Variações sazonais.

ABSTRACT

The expansion of aquaculture in the Amazon requires sustainable production systems that can adapt to regional climate variations. Among the intensive models, the biofloc system (BFT) has stood out for its efficiency in reusing waste and reducing water renewal. However, the instability of physical and chemical parameters, especially in periods of climate transition, can compromise the stability of the system and the health of the cultivated organisms. This study aimed to compare the nyctemeral variations in water quality in a BFT system for the cultivation of *Penaeus vannamei* during periods of higher and lower precipitation in the municipality of Curuçá (PA), in the Amazon region. Continuous 24-hour monitoring was carried out in both seasonal periods, with collections every two hours at multiple depths. The parameters evaluated included temperature, dissolved oxygen, pH, salinity, electrical conductivity, total dissolved solids, and settleable solids. The data were subjected to normality tests (Shapiro-Wilk), comparative analyses (paired t-test and Wilcoxon) and Pearson correlations. The results showed significant reductions in salinity, conductivity and TDS in the summer, caused by atypical rainfall, in addition to critical oscillations in DO and pH during the early morning hours. Such changes compromise the efficiency of the BFT and require specific management strategies. It is concluded that the adoption of continuous monitoring, saline correction and automation

of aeration are essential measures to ensure the stability of the system in tropical regions subject to intense seasonal variations.

Keywords: Bioflocs (BFT). Seasonal variations.

RESUMEN

La expansión de la acuicultura en la Amazonía requiere sistemas de producción sostenibles que se adapten a las variaciones climáticas regionales. Entre los modelos intensivos, el sistema de biofloc (BFT) se ha destacado por su eficiencia en la reutilización de residuos y la reducción de la renovación hídrica. Sin embargo, la inestabilidad de los parámetros físicos y químicos, especialmente en períodos de transición climática, puede comprometer la estabilidad del sistema y la salud de los organismos cultivados. Este estudio tuvo como objetivo comparar las variaciones nictéméricas en la calidad del agua en un sistema BFT para el cultivo de *Penaeus vannamei* durante períodos de mayor y menor precipitación en el municipio de Curuçá (PA), en la región amazónica. Se realizó un monitoreo continuo de 24 horas en ambos períodos estacionales, con recolecciones cada dos horas a múltiples profundidades. Los parámetros evaluados incluyeron temperatura, oxígeno disuelto, pH, salinidad, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y sólidos sedimentables. Los datos se sometieron a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk), análisis comparativos (prueba t pareada y Wilcoxon) y correlaciones de Pearson. Los resultados mostraron reducciones significativas en la salinidad, la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) durante el verano, causadas por precipitaciones atípicas, además de oscilaciones críticas en el oxígeno disuelto (OD) y el pH durante las primeras horas de la mañana. Estos cambios comprometen la eficiencia del sistema de bioflocs y requieren estrategias de gestión específicas. Se concluye que la implementación del monitoreo continuo, la corrección salina y la automatización de la aireación son medidas esenciales para garantizar la estabilidad del sistema en regiones tropicales sujetas a intensas variaciones estacionales.

Palabras clave: Bioflocs (BFT). Variaciones estacionales.

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura vem se consolidando como um dos setores produtivos de maior crescimento global, configurando-se como alternativa estratégica para suprir a crescente demanda por proteínas de origem aquática. A atividade é voltada ao cultivo de organismos aquáticos — peixes, crustáceos, moluscos e macroalgas — com finalidades comerciais, alimentares, ornamentais ou de restauração ambiental. Em 2022, a produção aquícola mundial ultrapassou pela primeira vez a pesca extrativa, atingindo 94,4 milhões de toneladas destinadas ao consumo humano (FAO, 2024).

Esse avanço decorre de fatores como o aumento populacional, o esgotamento dos estoques pesqueiros naturais, a valorização nutricional dos produtos aquáticos e o aprimoramento das tecnologias produtivas (Grabowski *et al.*, 2023). Entre os sistemas de cultivo, destacam-se os intensivos, que utilizam controle rigoroso dos fatores ambientais para maximizar a produtividade e reduzir os impactos negativos. Dentre esses, o sistema de bioflocos (BFT) vem ganhando destaque por permitir o reaproveitamento de resíduos metabólicos e a formação de uma microbiota benéfica em suspensão (Silva *et al.*, 2023).

O BFT proporciona vantagens como a redução da renovação hídrica, o reaproveitamento de nutrientes, a economia de ração e a diminuição da carga orgânica lançada no ambiente. Sua eficiência, no entanto, depende de um manejo criterioso da relação carbono:nitrogênio, da aeração contínua e da estabilidade dos parâmetros físico-químicos da água, sobretudo em regiões tropicais, onde há variações acentuadas de temperatura e precipitação (Avnimelech, 2023; Emerenciano *et al.*, 2021).

A carcinicultura, ramo da aquicultura dedicado ao cultivo de camarões, se beneficia significativamente do BFT. No Brasil, o *Penaeus vannamei* é a principal espécie cultivada, com destaque para regiões de clima quente e águas hipersalinas. A produção enfrenta desafios sazonais, principalmente relacionados à instabilidade de parâmetros como oxigênio dissolvido, salinidade e pH em períodos de transição climática (Duan *et al.*, 2022).

Este estudo teve como objetivo geral comparar as variações nictemerais dos parâmetros de qualidade da água em sistema de bioflocos para o cultivo de *Penaeus vannamei* entre os períodos chuvoso e seco na Amazônia. Os objetivos específicos incluíram: coletar e analisar dados físico-químicos (OD, pH, temperatura, salinidade, condutividade, STD e compostos nitrogenados); identificar variações sazonais e momentos críticos do dia; avaliar os efeitos da salinidade e pH sobre o sistema; e propor orientações técnicas para manejo produtivo eficaz.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Sítio Lorenvile, localizado na comunidade de Boa Vista de Irituia, no município de Curuçá (PA), inserido em uma zona estuarina da Amazônia oriental. A área caracteriza-se por ser uma região de transição entre manguezais e planícies costeiras, propícia ao cultivo de organismos marinhos em sistemas de baixa salinidade. O viveiro utilizado foi escavado, medindo 30,00 metros de comprimento, 9,60 metros de largura e 1,50 metro de profundidade média, totalizando um volume aproximado de 432 m³. A Figura 1 apresenta a localização geográfica do sítio no contexto municipal, enquanto a Figura 2 mostra a vista geral do viveiro onde foram conduzidas as coletas.

Figura 1. Localização geográfica do Sítio Lorenvile no município de Curuçá – Pará



Figura 2. Vista geral do viveiro onde foram conduzidas as coletas



As coletas foram realizadas em dois períodos sazonais distintos: de 01 a 02 de fevereiro de 2025 (inverno amazônico) e de 01 a 02 de junho de 2025 (verão amazônico). O monitoramento ocorreu a cada duas horas ao longo de 24 horas, totalizando doze horários de amostragem em quatro pontos fixos no tanque. Em cada ponto, foram realizadas medições em duas profundidades: superfície (10 cm abaixo da lâmina d'água) e fundo (próximo ao substrato), totalizando oito observações por horário.

Foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (OD, mg/L), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (mS/cm), salinidade (ppt), sólidos totais dissolvidos (STD, mg/L) e sólidos sedimentáveis (SS, mL/L). As medições foram realizadas com o auxílio de um multiparâmetro portátil AK88v2, previamente calibrado, e cones de Imhoff para análise dos sólidos sedimentáveis.

Para o tratamento estatístico dos dados, foram aplicadas análises descritivas (média, desvio padrão, valores mínimo e máximo), seguidas do teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Em função dos resultados, utilizou-se o teste t pareado para as variáveis com distribuição normal e o teste de Wilcoxon para as não paramétricas. Por fim, foram calculadas as correlações de Pearson entre os parâmetros

físico-químicos, organizadas em matrizes separadas por período sazonal, com o objetivo de identificar associações relevantes entre as variáveis do sistema.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise nictemeral dos parâmetros físico-químicos da água no sistema de bioflocos revelou diferenças estatisticamente significativas entre o período chuvoso (inverno amazônico) e o de menor precipitação (verão amazônico), ambos monitorados no tanque do Sítio Lorenvile, no município de Curuçá–PA. A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas dos principais parâmetros avaliados.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos da água de tanques de cultivo de camarões marinhos em bioflocos no inverno e verão amazônico.

Parâmetro	Período	Média	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo
pH	Inverno Amazônico	7,94	0,24	7,09	8,50
pH	Verão Amazônico	7,75	0,37	7,04	8,43
Temperatura	Inverno Amazônico	28,93	0,59	27,90	30,10
Temperatura	Verão Amazônico	31,53	0,77	29,30	32,90
OD	Inverno Amazônico	4,46	1,55	2,50	11,00
OD	Verão Amazônico	4,11	1,52	2,30	7,80
Condutividade	Inverno Amazônico	24,51	0,43	24,10	25,50
Condutividade	Verão Amazônico	5,63	0,42	5,06	7,79
Salinidade	Inverno Amazônico	15,28	0,53	12,20	16,00
Salinidade	Verão Amazônico	3,09	0,01	3,05	3,12
STD	Inverno Amazônico	12,38	0,58	12,10	15,40
STD	Verão Amazônico	2,78	0,01	2,69	2,81

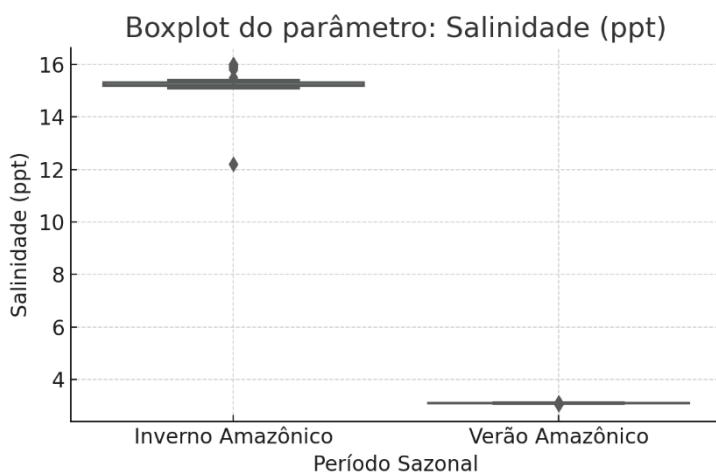
Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

* Unidades: Temperatura (°C), Oxigênio dissolvido (mg/L), Condutividade Elétrica (mS/cm), Salinidade (**ppt**) e STD (mg/L).

De acordo com a Tabela 1, observou-se uma diferença marcante entre os dois períodos sazonais: durante o inverno amazônico, a salinidade média foi de 15,28 ppt (mínima de 12,20 ppt e máxima de 16,00 ppt), enquanto no verão amazônico registrou-se uma média de apenas 3,09 ppt, com variação mínima (3,05 a 3,12 ppt). A salinidade é um parâmetro fundamental nos sistemas de cultivo de camarões marinhos, pois afeta diretamente processos fisiológicos como a osmorregulação, respiração, crescimento e sobrevivência dos organismos cultivados (será q temos uma referência para

essa informação?). No sistema BFT, a estabilidade salina também influencia a dinâmica da microbiota heterotrófica, impactando a assimilação de compostos nitrogenados e a formação de bioflocos (Avnimelech, 2023). A Figura 3 mostra o boxplot do parâmetro salinidade nos períodos sazonais investigados.

Figura 3. Variação da salinidade ao longo de 24 horas em água de cultivo de camarões marinhos em bioflocos nos períodos de inverno e verão amazônico.



A salinidade apresentou uma queda expressiva no verão amazônico. Tal resultado causa estranhamento à primeira vista, uma vez que, teoricamente, o período de menor precipitação tenderia a concentrar os sais na água. No entanto, observações em campo revelaram que, apesar de ser o período considerado de menor precipitação na região, houve um aumento anômalo das chuvas nesse intervalo específico do ano, o que, aliado à ausência de qualquer tipo de cobertura sobre o viveiro, resultou em acentuada diluição da salinidade por aporte direto de água pluvial. Esse fator torna o sistema extremamente vulnerável às oscilações climáticas, destacando a importância de estratégias estruturais e de manejo mais robustas. Já no período chuvoso (inverno amazônico), o valor mais alto de salinidade pode ser explicado pelo fato de o produtor ter iniciado um novo ciclo de cultivo com reposição de água salobra, o que proporcionou uma base salina mais elevada desde o início da biomassa microbiana. Em informações coletadas em campo com o produtor, foi declarado que o cultivo começou com salinidade de 20 ppt, porém esta salinidade foi reduzindo com o aumento das chuvas.

Esse resultado é preocupante, pois estudos indicam que *Penaeus vannamei* apresenta desempenho zootécnico ideal em salinidades entre 10 e 35 ppt, com faixa mínima de tolerância próxima de 2 ppt (Sadek, Nabawi, 2021). Além disso, níveis abaixo de 5 ppt têm sido associados à maior suscetibilidade a doenças e estresse osmótico, especialmente em sistemas sem tamponamento eficaz. Os valores registrados no verão amazônico encontram-se, portanto, no limite inferior da faixa

tolerada, representando risco à saúde animal e à estabilidade ecológica do sistema BFT Cruz *et al.* (2022) reforçam que a flutuação salina impacta negativamente a formação e manutenção dos bioflocos, comprometendo a eficiência da reciclagem de nutrientes.

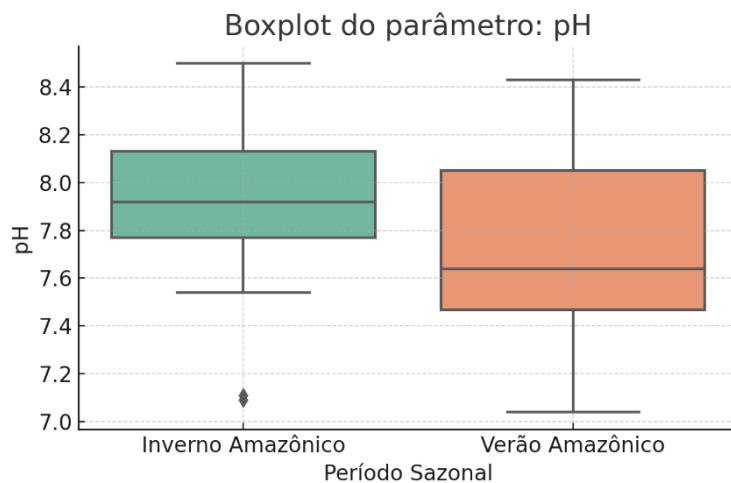
Comparando com outros estudos realizados em regiões tropicais, Emerenciano *et al.* (2021) relataram salinidades entre 12 e 20 ppt em cultivos bem-sucedidos de *P. vannamei* em BFT no nordeste do Brasil. Ribeiro *et al.* (2024) alertam que a manutenção da salinidade em níveis adequados deve ser prioridade no manejo, especialmente em ambientes sujeitos à influência direta das chuvas. Assim, os dados desta pesquisa corroboram a literatura ao evidenciar a vulnerabilidade dos sistemas descobertos à diluição pluvial e reforçam a necessidade de estrutura física (coberturas) e estratégias de correção salina para mitigar riscos em períodos de instabilidade climática (Khanjani *et al.*, 2020).

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma variável determinante nos sistemas aquícolas, especialmente no sistema de bioflocos (BFT), pois influencia diretamente a toxicidade de compostos nitrogenados, a atividade microbiana e o metabolismo dos organismos cultivados. Em ambientes de cultivo de *P. vannamei*, a faixa ideal de pH situa-se entre 7,5 e 8,5, sendo recomendada a manutenção de uma alcalinidade estável para garantir a capacidade tampão do sistema (Avnimelech, 2023). Na presente pesquisa, observou-se que o pH médio foi de 7,94 no inverno amazônico, com menor variabilidade ($DP = 0,24$), e 7,75 no verão amazônico, com dispersão ampliada ($DP = 0,37$), conforme detalhado na Tabela 1. Embora ambos os períodos apresentem valores médios dentro da faixa recomendada, a maior oscilação verificada no verão pode representar risco à estabilidade química do sistema, especialmente em momentos de queda rápida de alcalinidade ou aumento da atividade respiratória. Dar enfoque que possivelmente essa variação do pH estava associada a presença de fitoplâncton nos tanques de cultivo. A grande quantidade de fitoplâncton possivelmente influenciou a variação da concentração de oxigênio dissolvido e consequentemente o pH.

A Figura 4 ilustra o comportamento do pH nos dois períodos sazonais, por meio de boxplot, revelando maior uniformidade no inverno e amplitude mais acentuada no verão, com presença de valores próximos a 7,0 – limite inferior da faixa de segurança. Essa instabilidade também pode ser influenciada pela diluição causada pelas chuvas no verão, o que compromete a alcalinidade natural da água e reduz a resistência às variações de íons hidrogênio. Cruz *et al.* (2022) destacam que o controle do pH em sistemas BFT deve considerar a relação com o processo de nitrificação, que acidifica o meio, e com a fotossíntese, que tende a elevar o pH durante o dia. Segundo McCusker *et al.* (2023), o sistema de bioflocos operando em águas salobras ou marinhas tendem a manter o pH dentro da faixa ideal de 7,8 a 8,4, sendo que desvios significativos podem comprometer o desempenho biológico dos organismos cultivados. Assim, os resultados observados no presente estudo alertam para a necessidade

de suplementação de alcalinizantes, como bicarbonato de sódio, especialmente nos períodos de maior instabilidade climática.

Figura 4 – Variação do pH ao longo de 24 horas em água de cultivo de camarões marinhos em bioflocos nos períodos de inverno e verão amazônico.

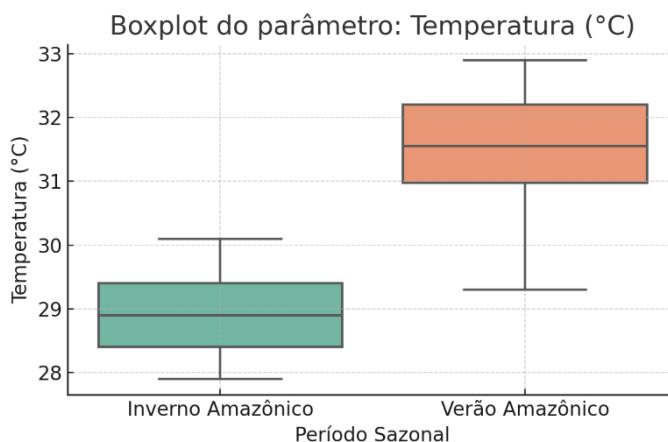


A temperatura da água é um dos principais fatores reguladores nos sistemas de aquicultura, pois influencia o metabolismo dos organismos, a solubilidade do oxigênio, a atividade microbiana e as taxas de conversão alimentar. No cultivo de *P. vannamei* em sistemas de bioflocos (BFT), a faixa ideal de temperatura situa-se entre 27 °C e 32 °C, sendo que valores fora dessa faixa podem comprometer o crescimento, a imunidade e a eficiência do sistema microbiano associado (Papadopoulos *et al.*, 2024). No presente estudo, observou-se média de 28,93 °C no inverno amazônico, com desvio padrão de 0,59, e média de 31,53 °C no verão, com desvio padrão de 0,77. Ambos os valores se situam dentro da faixa considerada segura, porém a elevação térmica no verão pode representar um fator de risco quando associada a outros estressores, como baixa oxigenação ou flutuação de pH.

A Figura 5 apresenta o boxplot da temperatura para os dois períodos sazonais analisados, revelando maior homogeneidade no inverno e maior dispersão no verão, com registro de valores próximos ao limite superior de 33 °C. A maior temperatura registrada no verão (32,9 °C) aproxima-se do limite superior tolerado pela espécie e coincide com os períodos de menor oxigênio dissolvido observados na madrugada. Isso pode ser explicado pelo aumento da atividade respiratória microbiana e da degradação da matéria orgânica, processos que são intensificados em temperaturas elevadas, conforme descrito por Emerenciano *et al.* (2021). Em sistemas BFT, essa condição pode comprometer o equilíbrio entre produção e consumo de oxigênio, levando à queda abrupta dos níveis noturnos. Trabalhos como o de Ribeiro *et al.* (2024) ressaltam que temperaturas acima de 31 °C exigem maior

controle da aeração e intensificação do monitoramento durante a noite. Dessa forma, o comportamento térmico observado neste estudo reforça a importância da instalação de sensores automáticos para o acionamento de aeradores, sobretudo entre 2h e 6h, quando ocorrem os valores mínimos de OD associados ao pico de temperatura e respiração microbiana acumulada.

Figura 5 – Variação da temperatura ao longo de 24 horas em água de cultivo de camarões marinhos em bioflocos nos períodos de inverno e verão amazônico.



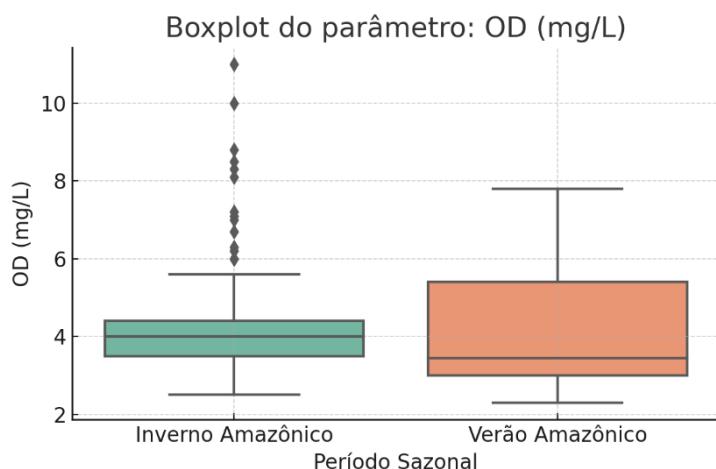
O oxigênio dissolvido (OD) é um dos parâmetros mais críticos em sistemas de cultivo intensivo como o bioflocos (BFT), pois está diretamente relacionado à respiração dos organismos cultivados, à atividade da microbiota e à estabilidade dos processos bioquímicos que regem o sistema. Em cultivos de *P. vannamei*, concentrações inferiores a 4 mg/L são consideradas limitantes para o crescimento e podem levar a quadros de estresse ou mortalidade (Patkaew *et al.*, 2024). No presente estudo, o OD médio foi de 4,46 mg/L no inverno e 4,11 mg/L no verão.

Apesar de os valores médios se situarem próximos do limite mínimo recomendado, observou-se queda acentuada durante as madrugadas, especialmente entre 2h e 6h, com registros abaixo de 3 mg/L em ambos os períodos. Esse comportamento evidencia um risco operacional recorrente em sistemas biointensivos, sobretudo na ausência de automatização da aeração.

A Figura 6 apresenta o boxplot do oxigênio dissolvido nos dois períodos sazonais, evidenciando uma maior dispersão no inverno, com outliers associados a picos diurnos de oxigenação provavelmente relacionados à atividade fotossintética. Já no verão, apesar da menor amplitude de valores, o patamar médio se manteve mais próximo da zona crítica. Estudos como os de Emerenciano *et al.* (2021) indicam que em sistemas BFT há alta demanda respiratória noturna, tanto pelos camarões quanto pela biomassa microbiana, tornando essencial o acionamento estratégico de aeradores durante os períodos de maior risco. Além disso, o aumento da temperatura observado no verão pode ter amplificado o consumo de oxigênio, intensificando o risco de hipóxia. Esses dados reforçam a

recomendação de adoção de sensores de OD acoplados a sistemas de aeração automatizados, com funcionamento preferencial nas primeiras horas da madrugada, como forma de garantir a estabilidade ecológica do sistema e o bem-estar animal.

Figura 6 – Variação do OD ao longo de 24 horas em água de cultivo de camarões marinhos em bioflocos nos períodos de inverno e verão amazônico.

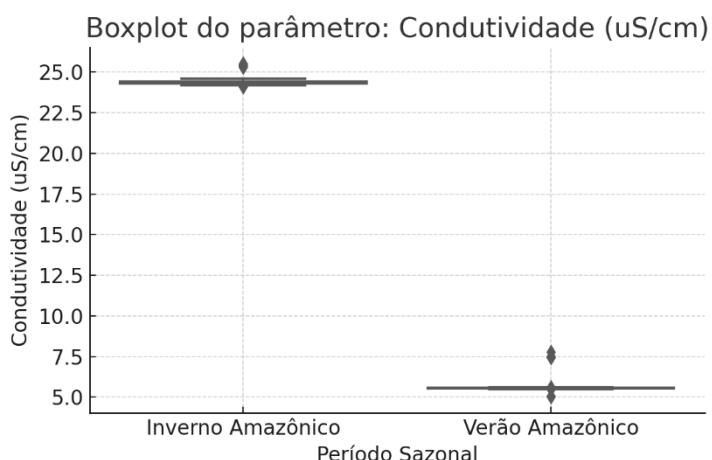


A condutividade elétrica é uma medida indireta da concentração de íons dissolvidos na água, como cloretos, sódio, potássio, cálcio e magnésio, sendo um importante indicador da salinidade e da carga iônica do meio aquático. Em sistemas de bioflocos (BFT), a condutividade é um parâmetro chave que influencia a formação de bioflocos e a eficiência da nitrificação microbiana, garantindo condições osmoticamente adequadas para os organismos aquáticos (Yu *et al.* (2023)). No presente estudo, a condutividade elétrica apresentou média de 24,51 mS/cm no inverno amazônico e 5,63 m/cm no verão amazônico, com desvios padrão de 0,43 e 0,42, respectivamente. Esses resultados refletem uma diferença substancial entre os períodos, diretamente relacionada à diluição dos sais durante o verão, como também observado nos valores de salinidade.

A Figura 7 apresenta o boxplot da condutividade elétrica, evidenciando a estabilidade no inverno e a expressiva redução no verão, cujos valores se concentraram abaixo de 6 mS/cm. Essa queda abrupta compromete a dinâmica do sistema, uma vez que a baixa concentração de íons pode prejudicar tanto a osmorregulação dos camarões quanto o desempenho da comunidade microbiana. Segundo Oliveira *et al.* (2024) níveis ideais de condutividade variam de acordo com a salinidade-alvo do sistema, mas valores inferiores a 10 µS/cm indicam um ambiente pobre em sais essenciais. Ribeiro *et al.* (2024) também destacam que a condutividade deve ser monitorada como variável crítica em regiões tropicais com variações pluviométricas intensas. Assim, os dados desta pesquisa reforçam a importância da suplementação de sais marinhos após eventos de chuva e da adoção de estratégias

preventivas, como cobertura parcial dos tanques, para manter a integridade iônica do sistema BFT em períodos de instabilidade climática.

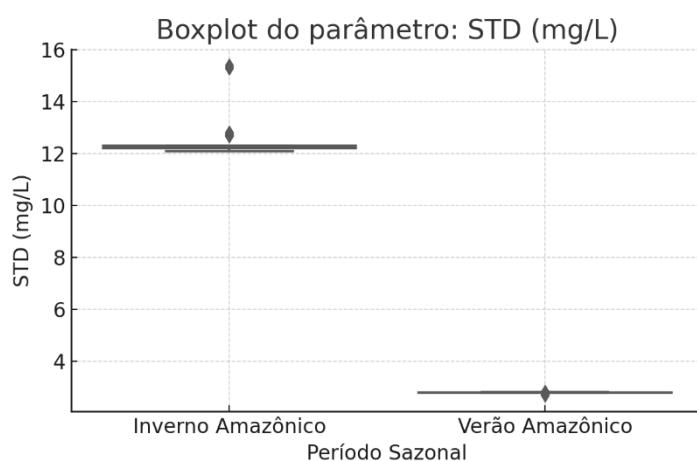
Figura 7 – Variação da condutividade elétrica ao longo de 24 horas em água de cultivo de camarões marinhos em bioflocos nos períodos de inverno e verão amazônico.



Os sólidos totais dissolvidos (STD) representam a soma das substâncias inorgânicas e orgânicas presentes na água em forma dissolvida, incluindo sais, minerais e compostos orgânicos de baixa massa molar. Em sistemas de bioflocos (BFT), os STD são fundamentais para caracterizar a densidade iônica que suporta o crescimento da microbiota e a conversão de compostos nitrogenados em biomassa microbiana (Xie *et al.* (2025)). No presente estudo, o inverno amazônico apresentou uma média de 12,38 mg/L, com desvio padrão de 0,58, enquanto no verão amazônico observou-se um valor médio de apenas 2,78 mg/L e desvio padrão de 0,01, conforme mostra a Tabela 1. Esses resultados evidenciam uma drástica redução na concentração de sólidos dissolvidos durante o verão, reflexo direto da diluição provocada por chuvas atípicas e da ausência de reposição salina.

A Figura 8 apresenta o boxplot dos STD, no qual se observa uma clara separação entre os dois períodos, com distribuição mais ampla no inverno e forte compactação dos valores no verão. Esse padrão é particularmente preocupante, pois concentrações muito baixas de STD comprometem a dinâmica dos bioflocos, prejudicando tanto a nitrificação quanto a formação de agregados microbianos estáveis, essenciais para o sucesso do sistema. Cruz *et al.* (2022).apontam que, para sistemas BFT em águas de baixa salinidade, níveis de STD acima de 8 mg/L são desejáveis, enquanto valores inferiores a 5 mg/L indicam instabilidade química e baixa eficiência biológica. Dessa forma, os dados desta pesquisa reforçam a necessidade de intervenções periódicas para suplementação de minerais e sais dissolvidos, especialmente em viveiros sem cobertura e em períodos com alta incidência de chuvas, como forma de preservar o equilíbrio funcional do sistema aquícola.

Figura 8 – Variação dos STD ao longo de 24 horas em água de cultivo de camarões marinhos em bioflocos nos períodos de inverno e verão amazônico.



Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos testes de normalidade (Shapiro-Wilk), indicando que apenas a temperatura apresentou distribuição normal ($p > 0,05$) nos dois períodos.

Tabela 2 – Resultados do teste de Shapiro-Wilk para normalidade dos dados.

Parâmetro	Período	Estatística W	p-valor
pH	inverno Amazônico	0,9441	0,0005
	verão Amazônico	0,9175	0,0000
Temperatura (°C)	inverno Amazônico	0,9615	0,0065
	verão Amazônico	0,9694	0,0242
OD (mg/L)	inverno Amazônico	0,7585	0,0000
	verão Amazônico	0,8496	0,0000
Condutividade (uS/cm)	inverno Amazônico	0,6529	0,0000
	verão Amazônico	0,3398	0,0000
Salinidade (ppt)	inverno Amazônico	0,5016	0,0000
	verão Amazônico	0,9064	0,0000
STD (mg/L)	inverno Amazônico	0,4130	0,0000
	verão Amazônico	0,7736	0,0000

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Com base nesse diagnóstico, foram aplicados testes de Wilcoxon para os parâmetros não normais e o teste t pareado para a temperatura. A Tabela 3 resume os resultados das comparações estatísticas, nas quais se observam diferenças significativas ($p < 0,05$) para todos os parâmetros analisados, confirmando a influência sazonal nas condições do sistema de cultivo.

Tabela 3. Resultados dos testes t pareado e Wilcoxon entre os períodos.

Parâmetro	Teste aplicado	Estatística	p-valor
pH	Wilcoxon	546,0000	0,0000
Temperatura (°C)	t pareado	-48,1349	0,0000
OD (mg/L)	Wilcoxon	1648,5000	0,0130
Condutividade (uS/cm)	Wilcoxon	0,0000	0,0000
Salinidade (ppt)	Wilcoxon	0,0000	0,0000
STD (mg/L)	Wilcoxon	0,0000	0,0000

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Ao se aprofundar nas análises dentro de cada período, observou-se que, no inverno, a menor variação de temperatura resultou em picos de OD durante o dia e quedas noturnas moderadas. Já no verão, a elevação térmica acentuou a respiração microbiana, promovendo quedas mais abruptas do OD, principalmente entre 2h e 6h. No inverno, o pH apresentou correlação mais forte com a temperatura ($r = 0,75$), enquanto no verão o pH oscilou de forma mais instável, refletindo a dificuldade de tamponamento da água.

Esses padrões reforçam a necessidade de ajustes de manejo para cada estação. O monitoramento por profundidade revelou que, no inverno, o OD era superior na superfície, mas no verão a estratificação foi menos evidente, provavelmente por mistura térmica e movimentação da microbiota.

As análises também incluíram a comparação entre profundidades (superfície e fundo), revelando diferenças pontuais, porém relevantes. No inverno, o OD médio foi maior na superfície (4,71 mg/L) do que no fundo (4,20 mg/L), provavelmente em razão da fotossíntese nas camadas superiores. No verão, essa diferença foi menos expressiva (superfície: 4,16 mg/L; fundo: 4,06 mg/L), possivelmente em função da maior atividade respiratória no fundo e da uniformização térmica da coluna d'água. Essas observações confirmam os relatos de Avnimelech (2023) sobre a estratificação do OD em sistemas intensivos e reforçam a importância do monitoramento em múltiplas profundidades.

Outros parâmetros, como pH, temperatura e salinidade, apresentaram variações discretas entre as profundidades, indicando boa circulação vertical da água, sobretudo no verão. No entanto, os dados de STD no inverno mostraram valores médios ligeiramente superiores no fundo (12,40 mg/L) em relação à superfície (12,36 mg/L), sugerindo a deposição de material particulado ou bioflocos densos, o que pode representar risco de acúmulo de matéria orgânica e demandar manejo físico ou biológico do fundo do tanque.

As relações entre os parâmetros físico-químicos também foram analisadas por meio de matrizes de correlação de Pearson, calculadas separadamente para os períodos chuvoso (inverno amazônico) e seco (verão amazônico). Os resultados dessas análises encontram-se apresentados nas Tabelas 4 e 5,

respectivamente. As correlações identificadas revelam padrões relevantes entre variáveis fundamentais do sistema, como temperatura, pH e oxigênio dissolvido, oferecendo subsídios para interpretações mais aprofundadas sobre a dinâmica físico-química nos dois períodos sazonais.

Tabela 4 – Matriz de correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos no período chuvoso (inverno amazônico).

Parâmetro	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Salinidade	STD
pH	1,00	0,75	0,51	0,46	0,07	0,38
Temperatura	0,75	1,00	0,48	0,61	0,17	0,44
OD	0,51	0,48	1,00	0,67	0,22	0,43
Condutividade	0,46	0,61	0,67	1,00	0,55	0,33
Salinidade	0,07	0,17	0,22	0,55	1,00	-0,44
STD	0,38	0,44	0,43	0,33	-0,44	1,00

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Tabela 5 – Matriz de correlação de Pearson entre os parâmetros físico-químicos no período seco (verão amazônico).

Parâmetro	pH	Temperatura	OD	Condutividade	Salinidade	STD
pH	1,00	0,78	0,83	-0,16	-0,59	-0,35
Temperatura	0,78	1,00	0,50	-0,23	-0,66	-0,37
OD	0,83	0,50	1,00	-0,16	-0,47	-0,33
Condutividade	-0,16	-0,23	-0,16	1,00	0,12	0,06
Salinidade	-0,59	-0,66	-0,47	0,12	1,00	0,62
STD	-0,35	-0,37	-0,33	0,06	0,62	1,00

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Durante o monitoramento nictemeral dos parâmetros físico-químicos da água nos dois períodos, observou-se uma correlação positiva significativa entre a temperatura da água e o pH, especialmente no período chuvoso. Esse comportamento é explicado pelo fato de que o aumento da temperatura intensifica a atividade fotossintética das microalgas e bactérias autotróficas presentes no sistema, elevando a remoção de CO₂ da água e, consequentemente, aumentando o pH. No sistema BFT, onde há intensa atividade microbiana e produção de biomassa em suspensão, essa dinâmica se intensifica ainda mais. Emerenciano et al. (2021) reforçam que a regulação do pH está fortemente associada à fotossíntese e à respiração, processos esses modulados pela temperatura e pela incidência luminosa ao longo do dia. No verão, apesar da temperatura mais elevada (média de 31,53 °C), observou-se maior oscilação e valores ligeiramente mais baixos de pH em comparação ao inverno, o que pode estar associado à menor estabilidade da alcalinidade nesse período e à diluição provocada por chuvas atípicas, dificultando o tamponamento natural do sistema.

Adicionalmente, a análise da relação entre oxigênio dissolvido (OD) e pH revelou uma correlação moderada positiva, principalmente no período chuvoso. Esse padrão está em consonância com o que descrevem Supriatna *et al.*, 2017), que apontam que a fotossíntese contribui simultaneamente para o aumento do pH e da concentração de OD, uma vez que ambos estão diretamente relacionados à intensidade da atividade fotossintética no sistema. Durante o dia, a

fotossíntese remove CO₂ da água, elevando o pH, ao mesmo tempo que libera oxigênio, elevando o OD. No entanto, à noite, há uma queda de ambos os parâmetros devido à predominância da respiração, especialmente em sistemas biointensivos como o BFT, onde a atividade respiratória microbiana é elevada. No verão amazônico, essa correlação foi enfraquecida, possivelmente pela maior instabilidade do sistema causada pela diluição dos sais e variações térmicas acentuadas, fatores que alteram o equilíbrio entre os processos biológicos e químicos responsáveis pela produção e consumo de oxigênio e íons hidrogênio.

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se ao produtor a adoção de estratégias específicas para minimizar os efeitos das variações sazonais na qualidade da água. A baixa salinidade verificada no verão, mesmo sendo um período tipicamente seco, foi influenciada por chuvas atípicas e pela ausência de cobertura no viveiro, resultando em significativa diluição dos sais. Assim, é fortemente recomendado o uso de estruturas de cobertura parcial ou total nos tanques, ou ainda a instalação de sistemas de captação e escoamento de águas pluviais. Além disso, deve-se implementar um protocolo de correção salina por meio da adição controlada de sais marinhos, especialmente no início dos ciclos de cultivo e após eventos de precipitação intensa. A manutenção da salinidade dentro de faixas adequadas é essencial para o desempenho zootécnico de *P. vannamei*, sobretudo em sistemas BFT, onde o equilíbrio iônico interfere diretamente na viabilidade da microbiota e na osmorregulação dos organismos cultivados.

Também se destaca a necessidade de intervenções voltadas à manutenção do oxigênio dissolvido, especialmente durante as madrugadas. Recomenda-se a automatização da aeração com sensores de OD que acionem turbinas ou sopradores em horários críticos, preferencialmente entre 2h e 6h, quando os níveis de oxigênio estiverem abaixo de 4 mg/L. O uso de aeração direcionada ao fundo do tanque pode melhorar a distribuição vertical de oxigênio e evitar zonas de hipoxia. Quanto ao pH, sugere-se o monitoramento diário e o controle por meio do ajuste da alcalinidade com o uso de bicarbonato de sódio, buscando garantir a capacidade tampão do sistema. Por fim, é essencial que o produtor mantenha um programa sistemático de monitoramento em múltiplas profundidades da coluna d'água, utilizando ferramentas simples, mas confiáveis, de medição, assegurando a estabilidade dos parâmetros-chave ao longo do ciclo produtivo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo revelou que o sistema de bioflocos, embora eficiente e ambientalmente promissor, apresenta elevada sensibilidade às variações sazonais amazônicas. A diluição provocada por chuvas atípicas no verão comprometeu parâmetros como salinidade, condutividade elétrica e STD, afetando

negativamente a estabilidade iônica e a eficiência da microbiota do sistema. Além disso, a oscilação do pH e as quedas de oxigênio dissolvido durante a madrugada configuram riscos biológicos relevantes à saúde do cultivo.

Diante desses achados, recomenda-se a implementação de estruturas físicas, como coberturas ou sistemas de drenagem, para mitigar o impacto da precipitação direta. Estratégias de correção salina controlada, suplementação alcalina e instalação de sensores automáticos de OD com acionamento noturno são medidas que aumentam a resiliência do sistema. Também se destaca a importância do monitoramento em tempo real e em múltiplas profundidades, permitindo decisões mais precisas e pontuais.

Portanto, a adaptação técnica dos sistemas BFT ao contexto climático amazônico é essencial para garantir sua viabilidade produtiva. Os dados aqui apresentados podem servir como base para ajustes no manejo hídrico e no controle ambiental, contribuindo para a sustentabilidade da carcinicultura intensiva em regiões tropicais.

REFERÊNCIAS

- AVNIMELECH, Y. Biofloc technology: a practical guide book. 4. ed. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2023.
- CRUZ, C. M. A.; SOUSA, R. J.; SOARES, R. B. Bioflocos como alternativa sustentável na aquicultura: uma revisão. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v. 15, n. 1, p. 41-55, 2022.
- DUAN, Y. et al. Effects of salinity and dissolved oxygen concentration on the tail-flip speed and physiologic response of whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Sustainability*, v. 14, n. 22, p. 15413, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su142215413>. Acesso em: 01 de junho de 2025.
- EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; HOPKINS, K. D. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. *Biomolecules*, v. 11, n. 7, p. 1-19, 2021.
- FAO. O estado mundial da pesca e da aquicultura 2024: rumo à transformação azul. Roma: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2024.
- GRABOWSKI, J. H. et al. Aquaculture's role in global food security and ecosystem services. *Nature Food*, v. 4, p. 174-183, 2023.
- KHANJANI, M. H.; SHARIFINIA, M.; HAJIREZAAE, S. Effects of different salinity levels on water quality, growth performance and body composition of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) cultured in a zero water exchange heterotrophic system. *Annals of Animal Science*, v. 20, n. 4, p. 1471-1486, 2020.
- LIU, G. et al. Advancing aquaculture sustainability: a comprehensive review of biofloc technology trends, innovative research approaches, and future prospects. *Reviews in Aquaculture*, v. 17, n. 1, [S. l.], 17 set. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/raq.12915>. Acesso em: 11 de junho de 2025.
- MCCUSKER, S. et al. Biofloc technology as part of a sustainable aquaculture system: a review on the status and innovations for its expansion. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, v. 3, p. 331–352, 2023.
- OECD-FAO. Agricultural outlook 2023-2032. Paris: OECD Publishing, 2023.
- OLIVEIRA, C. T. A.; BARRETO, M. K.; HENRY-SILVA, G. G. Nutrient and particulate matter sedimentation rates in *Penaeus vannamei* cultures with different stocking densities. [S. l.]: [s. n.], 2024.
- PAPADOPoulos, D. K. et al. Tropical shrimp biofloc aquaculture within greenhouses in the Mediterranean: preconditions, perspectives, and a prototype description. *Fishes*, v. 9, n. 6, p. 208, 2024.
- PATKAEW, S. et al. Effect of supersaturated dissolved oxygen on growth-, survival-, and immune-related gene expression of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Veterinary World*, v. 17, n. 1, p. 50-58, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.50-58>. Acesso em: 10 de junho de 2025.
- RIBEIRO, F. A. et al. Challenges and advances of biofloc technology: current status and perspectives. *Aquaculture Reports*, v. 32, e101705, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.101705>. Acesso em: 11 de junho de 2025.

SADEK, M.; NABAWI, S. Effect of water salinity on growth performance, survival%, feed utilization and body chemical composition of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* juveniles. Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries, v. 25, n. 4, p. 465-478, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21608/ejabf.2021.190788>. Acesso em: 03 de junho de 2025.

SILVA, A. L. P. et al. Sistemas intensivos de aquicultura: avanços e desafios. Aquaculture Reports, v. 27, e101630, 2023.

SUPRIATNA, S. et al. Dissolved oxygen models in intensive culture of whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in East Java, Indonesia. AACL Bioflux, v. 10, n. 4, p. 889-900, 2017.

YU, Y.-B. et al. The application and future of biofloc technology (BFT) in aquaculture industry: a review. Journal of Environmental Management, v. 342, art. 118237, p. 1–15. Acesso em: 15 de setembro 2023.