

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG

INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA (IO)

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA



**Reuso de Água de Baixa Salinidade em Sistemas de Bioflocos
para Cultivo de *Penaeus vannamei*: Impactos na Qualidade
da Água e Desempenho Zootécnico**

Andrei Dias

Rio Grande, 2024

Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Oceanografia

Reuso de Água de Baixa Salinidade em Sistemas de Bioflocos para Cultivo de *Penaeus vannamei*: Impactos na Qualidade da Água e Desempenho Zootécnico

Discente: Andrei Basilio Dias

Orientador: Dr. Wilson Francisco Britto Wasielesky Junior
Coorientadora: Dra. Mariana Holanda

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de mestre em Aquicultura no Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal do Rio Grande.

Rio Grande, RS
Outubro 2024

Ficha Catalográfica

D541r Dias, Andrei Basilio.

Reuso de água de baixa salinidade em sistemas de bioflocos para cultivo de *Penaeus vannamei*: impactos na qualidade da água e desempenho zootécnico / Andrei Basilio Dias. – 2024. 49 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Rio Grande/RS, 2024.

Orientador: Dr. Wilson Francisco Britto Wasielesky Junior.
Coorientadora: Dra. Mariana Holanda.

1. Produção de *Penaeus vannamei* 2. Sistema BFT 3. Reuso de água 4. Baixa salinidade I. Wasielesky Junior, Wilson Francisco Britto
II. Holanda, Mariana III. Título.

CDU 639.3.05

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

ATA 14/2024

ATA DE DEFESA DA 242ª DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AQUICULTURA

No dia cinco de novembro de dois mil e vinte e quatro, às quatorze horas e trinta minutos, reuniu-se a Banca Examinadora de Dissertação de Mestrado em Aquicultura, de **ANDREI BASILIO DIAS**, orientado pelo Prof. Dr. Wilson Wasielesky Junior, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. Wilson Wasielesky Junior (Orientador - IO/FURG), Profa. Dra Mariana Holanda Paes Barboza (Coorientadora - IO/FURG), Prof. Dr. Dariano Krummenauer (IO/FURG) e Prof. Dr. Hellyjonyor Brandão (Universidade Estadual Vale Do Acaraú/UVA). Título da Dissertação: **REUSO DE ÁGUA DE BAIXA SALINIDADE EM SISTEMAS DE BIOFLOCOS PARA CULTIVO DE Penaeus Vannamei: IMPACTOS DA QUALIDADE DA ÁGUA E DESEMPENHO ZOOTÉCNICO**.

Dando início à defesa, o Coordenador do PPGAq Prof. Dr. Ricardo Vieira Rodrigues, passou a presidência da sessão ao Prof. Dr. Wilson Wasielesky Junior, que na qualidade de orientador, passou a palavra para o candidato apresentar a Dissertação. Após ampla discussão entre os membros da Banca e o candidato, a Banca se reuniu sob a presidência do Coordenador. Durante esse encontro ficou estabelecido que as sugestões dos membros da Banca Examinadora devem ser incorporadas na versão final da Dissertação, ficando a cargo do Orientador o cumprimento desta decisão. O candidato **ANDREI BASILIO DIAS** foi considerado **APROVADO**, devendo a versão definitiva da Dissertação ser entregue a secretaria do PPGAq, no prazo estabelecido nas Normas Complementares do Programa. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, está assinada pela Banca Examinadora, pelo candidato e pelo Coordenador do PPGAq.

PROF. DR. WILSON WASIELESKY JUNIOR (ORIENTADOR - IO/FURG)

Documento assinado digitalmente
 **MARIANA HOLANDA PAES BARBOZA**
Data: 06/11/2024 15:48:30-0300
Verifique em: <https://validar.jf.gov.br>

PROFA. DRA MARIANA HOLANDA PAES BARBOZA (CO-ORIENTADORA - IO/FURG)

Documento assinado digitalmente
 **DARIANO KRUMMENAUER**
Data: 06/11/2024 15:53:50-0300
Verifique em: <https://validar.jf.gov.br>

PROF. DR. DARIANO KRUMMENAUER (IO/FURG)

PROF. DR. HELLYJONYOR BRANDÃO (UVA)

Documento assinado digitalmente
 **HELLYJONYOR BRANDÃO PEREIRA**
Data: 06/11/2024 15:53:30-0300
Verifique em: <https://validar.jf.gov.br>

ANDREI BASILIO DIAS  **ANDREI BASILIO DIAS**
Data: 06/11/2024 15:55:50-0300
Verifique em: <https://validar.jf.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **RICARDO VIEIRA RODRIGUES**
Data: 06/11/2024 15:57:00-0300
Verifique em: <https://validar.jf.gov.br>

PROF. DR. RICARDO VIEIRA RODRIGUES (Coordenador do PPGAq)

SUMARIO

DEDICATÓRIA.....	iv
RESUMO GERAL.....	iv
ABSTRACT.....	vi
1.0 INTRODUÇÃO GERAL.....	8
2.0 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	11
Capítulo I.....	18
Resumo.....	19
1.0 INTRODUÇÃO.....	19
2.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1 Localização do experimento e procedência dos animais.....	22
2.2 Aclimação dos animais.....	22
2.3 Preparação do inoculo de bioflocos.....	23
2.4 Delineamento experimental.....	24
2.5 Manejo da qualidade de água.....	26
2.6 Manejo alimentar.....	26
2.8 Avaliação do desempenho zootécnico.....	27
2.9 Análises estatísticas.....	27
3.0 RESULTADOS.....	28
4.0 DISCUSSÃO.....	33
5.0 CONCLUSÃO.....	39
6.0 REFERÊNCIAS.....	40

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Mauro e Andrea e minhas irmãs Julia e Amanda por todo o apoio ao longo desses últimos anos.

Ao meu orientador Wilson Wasielesky pela amizade, compreensão, paciência, ensinamentos e principalmente por acreditar no meu trabalho, mesmo nos momentos mais complicados, serei eternamente grato.

A minha coorientadora Mariana Holanda, pela paciência e empenho, se mostrando sempre disponível e com boas sugestões para elaboração deste trabalho.

Aos colegas de trabalho Jade, Wik, Lucas, Diogo, Luan, Daniel, Edras, Leo, Jun, Aline, Aleixo.

Ao Rafa pela ajuda nas análises de balanço iônico.

Aos amigos Matheus, Felipe, Gabriel.

A Marina pela paciência e companheirismo.

A banca avaliadora deste trabalho pelo tempo dedicado para elaboração de sugestões e correções.

Aos demais professores do programa de pós-graduação em aquicultura pelo conhecimento compartilhado.

Ao servidor Sandro pelo conhecimento compartilhado diariamente no laboratório.

Aos órgãos de fomento CAPES, CNPq, FAPERGS e FINEP pela concessão dos recursos que financiam a ciência brasileira. E as empresas privadas que apoiam com seus produtos as atividades do Projeto Camarão: Guabi, Trevisan, AllAqua, Inve e Aquatec.

RESUMO GERAL

O camarão branco do Pacífico *Penaeus vannamei* lidera a produção mundial de crustáceos, sendo a carcinocultura uma atividade com elevado valor agregado dentro da Aquicultura. Por apresentar características biológicas como elevadas taxas de crescimento e tolerância a baixas salinidades após a aclimação, o *P. vannamei* se destaca em cultivos realizados em regiões interioranas de baixa salinidade. Nesse sentido, com intuito de agregar sustentabilidade aos cultivos realizados afastados do mar, o Sistema de Bioflocos (Biofloc Technology Systems – BFT) se mostra como uma tecnologia promissora, uma vez que em altas salinidades o reuso de água é uma técnica realizada com sucesso, permitindo a redução do uso de água e a amenização dos efeitos fisiológicos causados pelo acúmulo de compostos nitrogenados na água. Em condições de baixas salinidades essas técnicas devem ser aprimoradas, principalmente a fim de reduzir custos com transporte e preparo da água de cultivo e também reduzir as mortalidades causadas pelo acúmulo de nitrito, que é o principal fator responsável pela mortalidade nessas condições. O objetivo deste trabalho foi avaliar o reuso de diferentes percentuais de água contendo bioflocos maduros durante o cultivo de juvenis de *Penaeus vannamei* (0,88g) em condições de baixa salinidade. O delineamento experimental foi composto por quatro tratamentos experimentais definidos de acordo com diferentes percentuais de reuso de água contendo bioflocos maduros provenientes de um cultivo em andamento, sendo eles R0, em que fertilizações orgânicas foram realizadas para o desenvolvimento dos bioflocos, R50 e R100, que ocorreram, respectivamente, 50 e 100% de reuso de água e Água clara, onde não ocorreu o estímulo ao desenvolvimento de flocos microbianos e nem aporte de inóculo. Os juvenis de *P. vannamei* foram estocados a uma densidade de 300 camarões/m³ em tanques de 150L e ao longo do experimento foram avaliados os parâmetros de qualidade de água, incluindo o balanço iônico e o desempenho zootécnico. Ao final dos 42 dias experimentais os parâmetros de qualidade de água e balanço iônico apresentaram valores médios ideais para o cultivo do *P. vannamei*, com diferenças significativas entre

os tratamentos em todas as variáveis analisadas, com exceção do oxigênio dissolvido, temperatura e magnésio. Os índices de desempenho zootécnico foram mais satisfatórios no tratamento Água clara, com valores de crescimento semanal, ganho de peso, biomassa final e produtividade significativamente maiores em relação aos demais tratamentos. O tratamento R0 apresentou índices zootécnicos satisfatórios, com um menor uso de água adicional para manutenção da qualidade de água, sendo o tratamento mais indicado para o cultivo do *P. vannamei* em salinidade 10 g L⁻¹.

Palavras-chave: Produção de *Penaeus vannamei*, Sistema BFT, Reuso de água, baixa salinidade.

ABSTRACT

The Pacific white shrimp, *P. vannamei*, leads global crustacean production, with shrimp farming being a high value-added activity within Aquaculture. Due to its biological characteristics, such as high growth rates and tolerance to low salinities after acclimation, *P. vannamei* stands out in farming carried out in low-salinity inland regions. In this context, with the aim of adding sustainability to farms distant from the sea, the Biofloc Technology System (BFT) proves to be a promising technology, since at high salinities, water reuse is a technique successfully applied, allowing for a reduction in water usage and mitigation of the physiological effects caused by the accumulation of nitrogenous compounds in the water. In low-salinity conditions, these techniques need to be improved, especially to reduce transportation and water preparation costs, and to lower mortality rates caused by nitrite accumulation, which is the main factor responsible for mortality in such conditions. The objective of this study was to evaluate the reuse of different percentages of water containing mature bioflocs during the cultivation of *P. vannamei* juveniles (0.88g) in low-salinity conditions. The experimental design consisted of four experimental treatments defined according to different percentages of water reuse containing mature bioflocs from an ongoing cultivation, namely R0, in which organic fertilizations were carried out to develop bioflocs; R50 and R100, with 50% and 100% water reuse, respectively; and Clear Water, where no microbial floc development was stimulated, and no inoculum was

added. *P. vannamei* juveniles were stocked at a density of 300 shrimp/m³ in 150L tanks, and water quality parameters, including ionic balance and zootechnical performance, were evaluated throughout the experiment. After 42 experimental days, water quality and ionic balance parameters showed optimal average values for *P. vannamei* farming, with significant differences between treatments in all analyzed variables except for dissolved oxygen, temperature, and magnesium. Zootechnical performance indices were more satisfactory in the Clear Water treatment, with significantly higher weekly growth rates, weight gain, final biomass, and productivity compared to the other treatments. The R0 treatment showed satisfactory zootechnical indices, with less additional water usage to maintain water quality, making it the most recommended treatment for farming *P. vannamei* at a salinity of 10 g L⁻¹.

Keywords: *Penaeus vannamei* production, BFT system, water reuse, low salinity

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

O camarão branco do Pacífico *P. vannamei* lidera a produção de crustáceos no mundo, conforme dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (2024). Em 2020, a produção dessa espécie em regiões interiores correspondeu a 8,7% da produção mundial de animais aquáticos (FAO, 2024). *OP. vannamei* é uma espécie eurihalina capaz de tolerar uma ampla faixa de salinidade após a aclimação (0,5 – 45 g L⁻¹) (Bray et al., 1994), sendo essa característica, somada a taxas de crescimento satisfatórias, fatores que tornam favorável o cultivo dessa espécie em regiões interiores sob condições de baixas salinidades (Roy et al., 2010). Além de características biológicas, alguns outros motivos também favorecem essa prática, como a possibilidade de aquisição de terras por preços mais baixos longe da zona costeira, maior proximidade do mercado consumidor e maior biossegurança (Miranda et al., 2008; Parmenter et al., 2009).

O cultivo do *P. vannamei* em regiões interiores utilizando sistemas intensivos e super-intensivos carece de tecnologias que permitam o baixo consumo de água e a possibilidade de reúso da água. Nesse sentido, o Sistema de Bioflocos (Biofloc Technology System – BFT) se mostra como uma alternativa eficiente, já que permite a redução significativa de trocas de água a partir do desenvolvimento de microrganismos que transformam os compostos nitrogenados em biomassa microbiana (Wasielensky et al., 2006).

O desenvolvimento dos bioflocos ocorre a partir da manutenção da relação carbono:nitrogênio (C:N) em aproximadamente 15-20:1, o que favorece o desenvolvimento de bactérias heterotróficas responsáveis pela assimilação do nitrogênio amoniacal (N-AT). Conforme os autores Samocha et al. (2017) e Serra et al. (2015), a fertilização da água com fontes de carbono orgânico, como o melaço de cana de açúcar, pode ser implementada para ajustar a relação C:N e controlar o aumento das concentrações de amônia (N-AT) durante o cultivo de *P. vannamei* em sistema BFT. O estímulo ao desenvolvimento das bactérias heterotróficas através das aplicações de carbono orgânico é diminuído a partir do momento que ocorre o desenvolvimento das bactérias nitrificantes, que é notável quando as concentrações de N-AT passam a atingir

31 concentrações não detectáveis e as concentrações de nitrito (NO_2^-) começam a
32 aumentar. Dessa maneira, a partir do desenvolvimento das bactérias nitrificantes parte
33 da amônia em excesso é oxidada a NO_2^- , por bactérias amônia-oxidantes (AOB), e em
34 seguida a nitrato (NO_3^-), por bactérias nitrito oxidantes (NOB), sendo que estas últimas
35 apresentam um crescimento mais lento em relação às bactérias AOB, favorecendo com
36 que o NO_2^- se acumule no sistema (Lara et al., 2012).

37 Concentrações elevadas de NO_2^- em condições de baixa salinidade são
38 responsáveis por altas taxas de mortalidade no sistema BFT (Maica et al., 2012). Isso
39 | ocorre porque, em baixas salinidades, as concentrações de cloreto (Cl^-) na água são
40 consequentemente menores, fazendo com que uma maior quantidade de NO_2^- seja
41 absorvida pelos camarões, já que estes dois ânions competem pelos mesmos
42 transportadores de membrana nas brânquias dos animais. Assim, o nitrito absorvido se
43 liga a proteína responsável pelo transporte de oxigênio, denominada hemocianina,
44 mudando sua configuração e a transformando em metahemocianina, ou seja, uma
45 estrutura ineficiente de transporte de oxigênio, que promove a redução da
46 disponibilidade de oxigênio para o metabolismo do animal (Tahon et al., 1988; Romano
47 e Zeng, 2013).

48 Uma maneira de acelerar a remoção ou transformação de compostos
49 nitrogenados e promover uma melhor ambiência aos animais pode ser a inoculação de
50 bioflocos maduros no sistema, ou seja, que já estejam realizando a metabolização
51 completa dos compostos nitrogenados, através do reuso de água de cultivos anteriores
52 (McAbee et al., 2003). Sendo assim, Krummenauer et al. (2014) em salinidade próxima
53 a 34 g L^{-1} , observaram que a reutilização de uma água contendo bioflocos maduros
54 (25%-100%) proporciona uma maior velocidade no estabelecimento da comunidade
55 nitrificante no sistema, diminuindo de forma significativa e estabilizando as
56 concentrações de N-AT e NO_2^- na água, refletindo em um melhor desempenho
57 zootécnico dos camarões cultivados. Dessa maneira, o reuso de uma água contendo
58 bioflocos maduros tende a se mostrar como uma técnica eficaz na amenização dos
59 impactos causados pela elevada toxicidade do NO_2^- em sistemas que operam em baixas
60 salinidades.

61 Ao contrário dos sistemas tradicionais de cultivo, que se baseiam em elevadas

62 trocas de água, o sistema BFT pode se mostrar como uma ferramenta sustentável no
63 cultivo do *P. vannamei* em águas salinizadas artificialmente ou água de mar diluída de
64 baixa salinidade (De Moura et al., 2022; Huang et al., 2022a). Isso se dá em função de
65 que as mínimas trocas de água favorecem a diminuição do lançamento de efluentes
66 salinizados e ricos em matéria orgânica para ambientes adjacentes, assim como o menor
67 custo com sais comerciais ou transporte da água até os empreendimentos (Avnimelech,
68 2015; Ray e Lotz, 2017; Pinto et al., 2020).

69 Apesar do Sistema BFT se mostrar como uma tecnologia promissora frente ao
70 desenvolvimento da Carcinocultura em regiões interioranas (“inlandwaters”) que
71 operam em baixas salinidades, a falta de informações em relação ao balanço iônico
72 durante a fase de engorda pode vir a ser um fator limitante para a expansão da atividade.
73 Isso se deve em função de que para se obter resultados zootécnicos adequados durante o
74 cultivo, é desejável que as relações iônicas sejam preservadas de forma similar ao
75 encontrado no ambiente marinho, sendo elas $\text{Na}^+:\text{K}^+$ de 28:1, $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ de 3:1 e
76 $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ de 1:1 (Roy et al., 2007a; Boyd et al., 2009). Considerando a densidade de
77 camarões estocada e a elevada biomassa bacteriana presente no Sistema BFT, é
78 plausível que a quantidade de íons empregada nessas condições se tornem deficientes ao
79 longo do cultivo, devido as necessidades fisiológicas por parte dos camarões e bactérias
80 (Roy et al., 2007b; Wudtisín & Boyd, 2011; Khanjani et al., 2022), sobretudo em
81 condições de reuso de água.

82 Além de trabalhos voltados diretamente para avaliação do reuso de água, outras
83 pesquisas também destacaram a eficiência do reuso de água na manutenção da
84 qualidade de água e no desempenho zootécnico (Green et al., 2020; Silveira et al., 2020;
85 Wasielesky et al., 2020; Silveira et al., 2022; Holanda et al., 2022; Espinoza-Figueroa et
86 al., 2022). Recentemente, uma série de trabalhos em sistema BFT em condições de
87 baixas salinidades foram realizados, tanto na fase de berçário como na engorda
88 (Esparza-Leal et al., 2016; Ponce-Palafox et al., 2019a; Zacarias et al., 2019; Hoa et al.,
89 2022; Huang et al., 2022b; Huang et al., 2022c; Da Silva et al., 2022). Por outro lado,
90 ainda pouco se sabe sobre os efeitos do reuso de água contendo bioflocos maduros
91 durante a fase de engorda do *P. vannamei*. Portanto, o presente estudo tem como
92 objetivo avaliar a qualidade da água e o desempenho zootécnico do *P. vannamei* a partir

93 de tratamentos com diferentes porcentagens de reuso de água em condições de baixa
94 salinidade no sistema BFT durante a fase de engorda.

95 **2.0 OBJETIVOS**

96 **2.1 OBJETIVO GERAL**

97
98 Avaliar a nitrificação, balanço iônico e o desempenho zootécnico do cultivo do
99 camarão branco do Pacífico *P. vannamei* em tratamentos com diferentes porcentagens
100 de reuso de água em condições de baixa salinidade no sistema de bioflocos durante a
101 fase inicial de engorda.

103 **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

104 Analisar o efeito da reutilização de bioflocos em um novo ciclo de cultivo de *P.*
105 *vannamei* em condições de baixa salinidade no sistema de bioflocos.

106 Avaliar o efeito do reuso de diferentes quantidades de bioflocos sobre o
107 desempenho zootécnico e os parâmetros de qualidade da água no cultivo de *P.*
108 *vannamei* em baixa salinidade

109 Avaliar o efeito da reutilização de bioflocos no balanço iônico durante o cultivo do
110 *P. vannamei* em condições de baixa salinidade.

111

112 **3.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

113
114

115 Avnimelech, Y. 2015. Biofloc Technology: A Practical Hand Book, 3rd ed. The World
116 Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA.

117

118 Bray, W.A.; Lawrence, A.L.; Leung-Trujillo J.R. 1994. The effect of salinity on growth
119 and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHHN
120 virus and salinity. Aquaculture 122, 133–146. [https://doi.org/10.1016/0044-](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90505-3)
121 [8486\(94\)90505-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90505-3)

122

123 Boyd, C.A., Chaney, P.L., Boyd, C.E., Rouse, D.B., 2009. Distribution of ground water
124 suitable for use in saline-water aquaculture in Central and West-central
125 Alabama. J. Appl. Aquac. 21, 228–240.
126 <https://doi.org/10.1080/10454430903114048>

127

128 Silva, W. A.; da Silva, J. L.; Oliveira, C. Y. B.; de Moraes, A. P. M.; Shinozaki-
129 Mendes, R. A.; Silva, U. L. 2022. Effect of stocking density on water quality,
130 plankton community structure, and growth performance of *Litopenaeus*
131 *vannamei* (Boone, 1931) post-larvae cultured in low-salinity biofloc
132 system. International Aquaculture Research, 14(2), 107..
133 <https://doi.org/10.22034/IAR.2022.1936674.1176>

134

135 Silveira, L. G. P.; Krummenauer, D.; Poersch, L. H.; Rosas, V. T.; Wasielesky Jr, W.
136 2020. Hyperintensive stocking densities for *Litopenaeus vannamei* grow-out in
137 biofloc technology culture system. Journal of the World Aquaculture Society 51,
138 1290-1300. <https://doi.org/10.1111/jwas.12718>

139

140 Silveira, L. G. P.; Rosas, V. T.; Krummenauer, D.; Poersch, L. H.; Wasielesky Jr, W.
141 2022. Comparison between horizontal and vertical substrate in shrimp super-
142 intensive culture in bioflocs system. Aquacultura Engineering, 96,
143 102218. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102218>

144

145 Moura, P. S.; Wasielesky Jr, W.; da Paz Serra, F.; Braga, A.; Poersch, L. 2021. Partial
146 seawater inclusion to improve *Litopenaeus vannamei* performance in low salinity
147 biofloc systems. Aquaculture, 531,
148 735905. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735905>

149

150

151 Esparza-Leal, H.M.; Amaral Xavier, J.A.; Wasielesky, W. 2016. Performance
152 of *Litopenaeus vannamei* post larvae reared in indoor nursery tanks under
153 biofloc conditions at different salinities and zero-water exchange. Aquaculture

International 24, 1435–1447.<https://doi.org/10.1007/s10499-016-0001-5>

FAO, 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

Figueroa-Espinoza, J.; Rivas-Vega, M. E.; de los Angeles Mariscal-López, M.; Emerenciano, M. G.; Martínez-Porchas, M.; Miranda-Baeza, A. 2022. Reusing water in a biofloc culture system favors the productive performance of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) without affecting the health status. *Aquaculture*, 558, 738363.<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738363>

Green, B. W.; Schrader, K. K.; Rawles, S. D.; Webster, C. D.; McEntire, M. E. 2020. Comparison of unused water and year-old used water for production of channel catfish in the biofloc technology system. *Aquaculture* 519, 734739. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734739>

Holanda, M.; Wasielesky Jr, W.; De Lara, G. R.; Poersch, L. H. 2022. Production of Marine Shrimp Integrated with Tilapia at High Densities and in a Biofloc System: Choosing the Best Spatial Configuration. *Fishes*, 7(5), 283.<https://doi.org/10.3390/fishes7050283>

Hoa, N. V.; Tảo, C. T.; Terahara, T.; Hai, T. N. 2022. Influence of salinity on nursery-phase whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in a biofloc system. *Journal of Applied Aquaculture*, 34(4), 907-921.<https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1909519>

Huang, H. H.; Li, C. Y.; Song, Y.; Lei, Y. J.; Yang, P. H. 2022a. Growth performance of shrimp and water quality in a freshwater biofloc system with a salinity of 5.0‰: Effects on inputs, costs and wastes discharge during grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, 98, 102265.<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102265>

186

187 Huang, H. H.; Li, C. Y.; Liang, T.; Lei, Y. J.; Yang, P. H.; Wu, M. X. 2022b. Effects of
188 carbon-to-nitrogen ratio (C: N) on water quality and growth performance of
189 *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in the biofloc system with a salinity of
190 5‰. Aquaculture Research. 53(15), 5287-5299.
191 <https://doi.org/10.1111/are.16013>

192

193 Huang, H. H.; Liao, H. M.; Lei, Y. J.; Yang, P. H. 2022c. Effects of different carbon
194 sources on growth performance of *Litopenaeus vannamei* and water quality in
195 the biofloc system in low salinity. Aquaculture, 546,
196 737239.<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737239>

197

198 Khanjani, M. H., Mohammadi, A., Emerenciano, M. G. C. 2022. Microorganisms in
199 biofloc aquaculture system. Aquaculture Reports, 26,
200 101300.<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101300>

201

202 Krummenauer, D.; Samocha, T.; Poersch, L.; Lara, G.; Wasielesky, Jr. W. 2014. The
203 Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*,
204 in BFT System. Journal of the World Aquaculture
205 Society. 45(1).<https://doi.org/10.1111/jwas.12093>

206

207 Maicá, P.F.; Borba, M.R.; Wasielesky Jr., W. 2011. Effect of low salinity on microbial
208 floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei*(Boone) juveniles
209 reared in a zero-water-exchange super-intensive system. Aquaculture Research 43,
210 361-370. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02838.x>

211

212 McAbee, B. J.; Browdy, C. L.; Rhodes, R. J.; Stokes, A. D. 2003. The use of
213 greenhouse-enclosed race- way systems for the superintensive production of
214 pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in the United States. Global
215 Aquaculture Advocate 6: 40 – 43.

216

217 Miranda, F.R.; Lima, R.N.; Crisóstomo, L.A.; Santana, M.G.S. 2008. Reuse of inland

218 lowsalinity shrimp farm effluent for melon irrigation. *Aquaculture Engenre*. 39
219 (1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.04.001>.
220
221 Parmenter, K.J.; Bisesi Jr, J.H.; Young, S.P.; Klaine, S.J.; Atwood, H.L.; Browdy, C.L.;
222 Tomasso, J.R. 2009. Culture of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* in a
223 mixed-ion solution. *North American Journal of Aquaculture* 71, 134–137.
224 <https://doi.org/10.1577/A08-015.1>
225
226 Pinto, P. H. O.; Rocha, J. L.; do Vale Figueiredo, J. P.; Carneiro, R. F. S.; Damian, C.;
227 de Oliveira, L.; Seiffert, W. Q. 2020. Culture of marine shrimp (*Litopenaeus*
228 *vannamei*) in biofloc technology system using artificially salinized freshwater:
229 Zootechnical performance, economics and nutritional quality. *Aquaculture*, 520,
230 734960. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734960>
231
232 Ponce-Palafox, J. T.; Pavia, Á. A.; López, D. G. M.; Arredondo-Figueroa, J. L.; Lango-
233 Reynoso, F.; del Refugio Castañeda-Chávez, M.; Peraza-Gómez, V. 2019a.
234 Response surface analysis of temperature-salinity interaction effects on water
235 quality, growth and survival of shrimp *Penaeus vannamei* post larvae raised in
236 biofloc intensive nursery production. *Aquaculture*, 503, 312-
237 321. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.020>
238
239 Ray, A.J.; Lotz, J.M. 2017. Comparing salinities of 10, 20, and 30‰ in intensive,
240 commercial-scale biofloc shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production systems.
241 *Aquaculture* 476, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.03.047>
242
243 Roy, L.A.; Davis, D.A.; Saoud, I.P.; Boyd, C.A.; Pine, H.J.; Boyd, C.E. 2010. Shrimp
244 culture in inland low salinity waters. *Reviews in Aquaculture* 2, 191–208.
245 <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01036.x>
246
247
248 Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Henry, R.P., 2007a. Effects of varying levels of
249 aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the

250 Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters.
 251 Aquaculture 262, 461–469. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.011>
 252
 253 Roy, L. A., D. A. Davis, I. P. Saoud, and R. P. Henry.2007b. Supplementation of
 254 potassium, magnesium and sodium chloride in practical diets for the Pacific white
 255 shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. Aquaculture
 256 Nutrition 13:104–13. <https://doi.org/10.1111/anu.2007.13.issue-2>.
 257
 258 Romano, N.; Zeng, C. 2013. Toxic effects of ammonia, nitrite, and nitrate to decapod
 259 crustaceans: A review on factors influencing their toxicity, physiological
 260 consequences, and coping mechanisms. Reviews Fisheries Science 21, 1–21.
 261 <https://doi.org/10.1080/10641262.2012.753404>
 262
 263 Samocha, T.M., Wilkenfeld, J.S., Morris, T.C., Correia, E.S., Hanson, T., 2010.
 264 Intensive raceways without water exchange analyzed for White shrimp culture.
 265 Glob. Aquac. Advoc. 13, 22–24
 266
 267 Serra F.P.; Gaona C.A.P.; Furtado P.S.; Poersch L.H.; Wasielesky Jr. W. 2015. Use
 268 of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and
 269 grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture International 23(6):
 270 1325–1339. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9887-6>
 271
 272 Tahon, J.; Hoof, D.V.A.N.; Vinckier, C.; Witters, R.; Ley, M.D.E.; Lontie, R. 1988. The
 273 reaction of nitrite with the haemocyanin of *Astacus leptodactylus*. Biochemical
 274 Journal 249, 891–896. <https://doi.org/10.1042/bj2490891>
 275
 276 Zacarias, S.; Schweitzer, R.; Arantes, R.; Galasso, H.; Pinheiro, I.; Espirito Santo, C.;
 277 Vinatea, L. 2019. Effect of different concentrations of potassium and magnesium
 278 on performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in low-salinity water
 279 and a biofloc system. Journal of Applied Aquaculture, 31(1), 85-96.
 280 <https://doi.org/10.1080/10454438.2018.1536009>
 281

282 Wasielesky, W.J.; Atwood, H.; Stokes, A.; Browdy, C.L. 2006. Effect of natural
 283 production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive
 284 culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture. 258, 396–
 285 403. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>
 286

287 Wasielesky Jr, W.; Bezerra, A.; Poersch, L.; Hoffling, F. B.; Krummenauer, D.
 288 2020.Effect of feeding frequency on the white shrimp *Litopenaeus vannamei*
 289 during the pilot-scale nursery phase of a superintensive culture in a biofloc
 290 system. Journal of the World Aquaculture Society, 51(5), 1175-1191.
 291 <https://doi.org/10.1111/jwas.12694>
 292

293 Wudtisin, I., Boyd, C.E., 2011. Possible potassium and magnesium limitations for
 294 shrimp survival and production in low-salinity, pond waters in Thailand. J.
 295 World Aquac. Soc. 42, 766–777.
 296
 297
 298
 299
 300
 301
 302
 303
 304
 305
 306
 307
 308
 309
 310
 311
 312
 313
 314
 315
 316
 317
 318
 319
 320
 321
 322
 323
 324

Reuso de Água de Baixa Salinidade em Sistemas de Bioflocos para Cultivo de *Penaeus vannamei*: Impactos na Qualidade da Água e Desempenho Zootécnico

Andrei Dias¹, Mariana Holanda¹, Diogo Chamorro^{1,2}, Wilson Wasielesky Jr.^{1,*}

1. Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Instituto de Oceanografia (IO),
Universidade Federal do Rio Grande - FURG (PPGAq-IO-FURG). Rua do Hotel, nº2,
Cassino, Rio Grande, RS, Brazil. ZIP code: 96210-030
2. Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal do Rio Grande - FURG.
Av. Itália km 8 s/n - Caixa Postal 474, Rio Grande, RS, Brazil. ZIP code: 96200-970

* Autor correspondente: Rua do Hotel, nº2, Cassino, Rio Grande, RS, Brazil. CEP:
96210-030 (E-mail: manow@mikrus.com.br)

Manuscrito a ser traduzido e submetido para a revista Boletim do Instituto da Pesca.

RESUMO

O reuso de água no Sistema de Bioflocos em condições de baixa salinidade é uma técnica explorada porém com poucos métodos padronizados. Esta pode apresentar uma série de benefícios tais como diminuição do uso de água e de sais, além do aproveitamento das bactérias já produzidas em ciclos subsequentes, contribuindo principalmente para o desenvolvimento da Carcinocultura em regiões interiores. O objetivo deste trabalho foi avaliar o reuso de diferentes percentuais de água contendo bioflocos maduros durante o cultivo de juvenis de *P. vannamei* (0,88g) em condições de baixa salinidade. O delineamento experimental foi composto por quatro tratamentos experimentais definidos de acordo com diferentes percentuais de reuso de água contendo bioflocos maduros provenientes de um cultivo em andamento, sendo estes: R0, R50, R100 e Água clara. Os juvenis de *P. vannamei* foram estocados a uma densidade de 300 camarões/m³ em tanques de 150L e ao longo do experimento foram avaliados os parâmetros de qualidade de água, incluindo o balanço iônico e o desempenho zootécnico. Ao final dos 42 dias experimentais os parâmetros de qualidade de água e balanço iônico apresentaram valores médios ideais para o cultivo do *P. vannamei*, com diferenças significativas entre os tratamentos em todas as variáveis analisadas, com exceção do oxigênio dissolvido, temperatura e magnésio. Os índices de desempenho zootécnico foram mais satisfatórios no tratamento Água clara, com valores de crescimento semanal, ganho de peso, biomassa final e produtividade significativamente maiores em relação aos demais tratamentos. O tratamento R0 apresentou índices zootécnicos satisfatórios, com um menor uso de água adicional para manutenção da qualidade de água, sendo o tratamento mais indicado para o cultivo do *P. vannamei* em salinidade 10 g L⁻¹.

Palavras chave: Sistema BFT, *Penaeus vannamei*, baixa salinidade.

1 . INTRODUÇÃO

O camarão branco do Pacífico *Penaeus vannamei* é uma espécie eurihalina capaz de tolerar uma ampla faixa de salinidade após a aclimação (0,5 – 45 g L⁻¹) (Bray et al., 1994), sendo essa característica, somada a taxas de crescimento satisfatórias, fatores que tornam favorável o cultivo dessa espécie em regiões interioranas sob condições de

392 baixas salinidades (Roy et al., 2010). Além de características biológicas, alguns outros
393 motivos também favorecem essa prática, como a possibilidade de aquisição de terras
394 por preços mais baixos longe da zona costeira, maior proximidade do mercado
395 consumidor e maior biossegurança (Miranda et al., 2008; Parmenter et al., 2009).

396 O cultivo do *P. vannamei* em regiões interiores utilizando sistemas intensivos e
397 superintensivos carece de tecnologias que permitam o baixo consumo de água e a
398 possibilidade de reuso da água em baixas salinidades. Nesse sentido, o Sistema de
399 Bioflocos (Biofloc Technology System – Sistema BFT) se mostra como uma alternativa
400 eficiente, já que permite a redução significativa de trocas de água a partir do
401 desenvolvimento de microrganismos que transformam os compostos nitrogenados em
402 biomassa microbiana (Wasielesky et al., 2006).

403 No sistema BFT a amônia (N-AT) pode ser incorporada rapidamente por
404 bactérias heterotróficas estimuladas a partir da aplicação de uma fonte externa de
405 carbono orgânico, normalmente utilizada até que se inicie o processo de nitrificação
406 pelas bactérias quimioautotróficas (Serra et al., 2015; Wei et al., 2020). A partir do
407 desenvolvimento das bactérias quimioautotróficas, parte da amônia em excesso é
408 oxidada a nitrito (NO_2^-), por bactérias amônia-oxidantes (AOB), e em seguida a nitrato
409 (NO_3^-), por bactérias nitrito oxidantes (NOB), sendo que estas últimas apresentam um
410 crescimento mais lento em relação às bactérias AOB, favorecendo com que o NO_2^- se
411 acumule no sistema (Lara et al., 2012).

412 Segundo os autores Maicá et al. (2012), uma das principais causas de
413 mortalidades no sistema BFT em condições de baixas salinidades se dá em função de
414 concentrações elevadas de NO_2^- . Isso ocorre porque em baixas salinidades as
415 concentrações de cloreto (Cl^-) na água são consequentemente menores, fazendo com
416 que uma maior quantidade de NO_2^- seja absorvida pelos camarões, já que estes dois
417 ânions competem pelos mesmos transportadores de membrana nas brânquias dos
418 animais (Tahon et al., 1988). Uma vez no organismo, o nitrito se liga a hemocianina,
419 transformando-a em metahemocianina, afetando a eficiência no transporte de oxigênio
420 (Romano e Zeng, 2013).

421 Uma maneira de acelerar a remoção de compostos nitrogenados da água e

422 promover uma melhor ambiência aos animais pode ser a inoculação de bioflocos
423 maduros no sistema, ou seja, que já estejam realizando a metabolização completa dos
424 compostos nitrogenados, através do reuso de água de cultivos anteriores (McAbee et al.,
425 2003). Sendo assim, Krummenauer et al. (2014) em salinidade próxima a 34 g L^{-1} ,
426 observaram que a reutilização de uma água contendo bioflocos maduros (25%-100%)
427 proporciona uma maior velocidade no estabelecimento da comunidade nitrificante no
428 sistema, diminuindo de forma significativa e estabilizando as concentrações de amônia
429 e nitrito na água, refletindo em um melhor desempenho zootécnico dos camarões
430 cultivados. Dessa maneira, o reuso de uma água rica em bioflocos maduros tende a se
431 mostrar como uma técnica eficaz na amenização dos impactos causados pela elevada
432 toxicidade do NO_2^- em sistemas que operam em baixas salinidades.

433 Ao contrário dos sistemas tradicionais de cultivo, que se baseiam em elevadas
434 trocas de água, o sistema BFT pode se mostrar como uma ferramenta sustentável no
435 cultivo do *P. vannamei* em águas salinizadas artificialmente ou água de mar diluída de
436 baixa salinidade (De Moura et al., 2022; Huang et al., 2022a). Isso se dá em função de
437 que as mínimas trocas de água favorecem a diminuição do lançamento de efluentes
438 salinizados e ricos em matéria orgânica para ambientes adjacentes, assim como o menor
439 custo com sais comerciais ou transporte da água até os empreendimentos (Avnimelech,
440 2015; Ray e Lotz, 2017; Pinto et al., 2020).

441 Apesar do Sistema BFT se mostrar como uma tecnologia promissora frente ao
442 desenvolvimento da Carcinocultura em regiões interioranas que operam em baixas
443 salinidades, a falta de informações em relação ao balanço iônico durante a fase de
444 engorda pode vir a ser um fator limitante para a expansão da atividade. Isso se deve em
445 função de que para se obter resultados zootécnicos satisfatórios durante o cultivo, é
446 desejável que as relações iônicas sejam preservadas de forma similar ao encontrado no
447 ambiente marinho, sendo elas $\text{Na}^+:\text{K}^+$ de 28:1, $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ de 3:1 e $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ de 1:1 (Roy
448 et al., 2007a; Boyd et al., 2009). Considerando a densidade de camarões estocada e a
449 elevada biomassa bacteriana presente no Sistema BFT, é plausível que a quantidade de
450 íons empregada nessas condições se tornem deficientes ao longo do cultivo, devido as
451 necessidades fisiológicas por parte dos camarões e bactérias (Roy et al., 2007b;
452 Wudtisín & Boyd, 2011; Khanjani et al., 2022), sobretudo em condições de reuso de

453 água.

454 Além de trabalhos voltados diretamente para avaliação do reuso de água, outras
455 pesquisas também destacaram a eficiência do reuso de água na manutenção da
456 qualidade de água e no desempenho zootécnico (Green et al., 2020; Silveira et al., 2020;
457 Wasielesky et al., 2020; Silveira et al., 2022; Holanda et al., 2022; Espinoza-Figueroa et
458 al., 2022). Recentemente, uma série de trabalhos em sistema BFT em condições de
459 baixas salinidades foram realizados, tanto na fase de berçário como na engorda
460 (Esparza-Leal et al., 2016; Ponce-Palafox et al., 2019a; Zacarias et al., 2019; Hoa et al.,
461 2021; Huang et al., 2022b; Huang et al., 2022c; Da Silva et al., 2022). Por outro lado,
462 ainda pouco se sabe sobre os efeitos do reuso de água contendo bioflocos maduros
463 durante a fase de engorda do *P. vannamei*. Portanto, o presente estudo tem como
464 objetivo avaliar a qualidade da água e o desempenho zootécnico do *P. vannamei* a partir
465 de tratamentos com diferentes porcentagens de reuso de água em condições de baixa
466 salinidade no sistema BFT durante a fase de engorda.

467

468 2 MATERIAL E MÉTODOS

469

470 2.1 Localização do experimento e procedência dos animais

471

472 O experimento foi realizado na Estação Marinha de Aquicultura (EMA), Instituto
473 de Oceanografia (IO) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), localizada na
474 praia do Cassino, cidade de Rio Grande – RS (32°110S; 52°100W), e teve duração de
475 42 dias. Os camarões utilizados no presente estudo foram adquiridos em estágio de pós-
476 larva (PL 12) de um laboratório comercial de larvicultura (Aquatec LTDA) localizado
477 em Canguaretama, Rio Grande do Norte, Brasil. Após a chegada das pós-larvas de *P.*
478 *vannamei* na EMA, os animais foram mantidos em um berçário de 40 m³ em sistema
479 BFT localizado no interior de uma estufa agrícola, pertencente ao Laboratório de
480 Carcinocultura (EMA), a uma densidade de 1500 pl m⁻³, durante 45 dias em salinidade
481 28 g L⁻¹. Após esse período, quando os animais atingiram um peso médio de 0,88g,
482 foram transferidos para tanques de aclimação a baixa salinidade.

483

484

2.2 Preparação do inóculo de bioflocos

Prévio ao início do experimento foi captada uma água com bioflocos maduros, em salinidade 30 g L^{-1} , oriunda de um cultivo de *P. vannamei* já em andamento. Essa água foi mantida em um tanque de 1m^3 , onde foram estocados $1500 \text{ camarões m}^{-3}$ com peso médio de $0,18\text{g}$ e gradualmente ocorreu a redução da salinidade até 10 g L^{-1} , através da adição de água doce da companhia de abastecimento público declorada e com alcalinidade corrigida através do uso de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) (Furtado et al. 2011). Os camarões estocados no tanque contendo o inóculo de bioflocos não foram os mesmos animais aclimatados e utilizados durante o período experimental.

As reduções da salinidade ocorreram de forma gradual, buscando manter o desempenho da comunidade microbiana presente nos bioflocos. Dessa forma, a diminuição da salinidade ocorreu como se segue: dia 1: redução de 35 para 25; dia 2: redução de 25 para 20; dia 3: redução de 20 para 15. Após o terceiro dia, reduziu-se uma parte de salinidade por dia, até a salinidade 10, totalizando oito dias de aclimação. Os parâmetros de qualidade da água do inóculo, obtidos no dia da transferência para os tanques experimentais, estão descritos na Tabela 2.

Destaca-se que ao longo do processo de preparo do inóculo os parâmetros de qualidade da água foram mantidos em faixas ideais para o cultivo do *P. vannamei* (Samochaet al., 2017). Quando as concentrações de amônia atingiram valores próximos a $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ foi utilizado como fonte de carbono orgânico o melaço de cana de açúcar, com cerca de 30% de carbono em sua composição (Avnimelech, 1999; Ebeling et al., 2006; Brandão et al., 2021) e quando a alcalinidade atingiu valores inferiores a $150 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ foi feita correção utilizando cal hidratada (Ca(OH)_2) (Furtado et al., 2011).

Tabela 2: Parâmetros de qualidade da água do inóculo utilizado no experimento.

Inóculo	
Temperatura	28,8
OD (mg L^{-1})	6,56
Salinidade (g L^{-1})	10,11
pH	8,02
$\text{NH}_4^{++} \text{ NH}_3$ (mg L^{-1})	0,01
$\text{NO}_2^{-}\text{-N}$ (mg L^{-1})	0,14
$\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ (mg L^{-1})	32

Fosfato (mg L ⁻¹)	1,2
Alcalinidade (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	190
SST (mg L ⁻¹)	200
Turbidez (NTU)	350
Cone Imhoff (mL L ⁻¹)	12
Peso Médio (g)	0,98
Densidade (camarões/m ²)	1500
Tempo de Cultivo	6semanas

OD (Oxigênio dissolvido), SST (sólidos suspensos totais)

2.3 Aclimação dos animais

A aclimação dos juvenis ocorreu em um tanque de polietileno de 500L, que inicialmente foi abastecido com água marinha bombeada da praia a uma salinidade 30 g L⁻¹. Prévio a estocagem dos animais no tanque de aclimação, essa água foi tratada com 30 mg L⁻¹ de cloro a partir da aplicação de uma solução de hipoclorito de sódio (NaClO) contendo 10% de cloro ativo em sua composição. Para a remoção do cloro, após cerca de 24h foi feita a aplicação de ácido ascórbico na água, seguindo a metodologia descrita por Roselet et al. (2013).

Na sequência, os camarões foram estocados e se iniciou a redução gradual da salinidade dos tanques de aclimação, com trocas parciais de água salgada por água doce oriunda da companhia de abastecimento público a partir de volumes pré-estabelecidos. Para isso, prévio a adição de água doce ao tanque de aclimação, esta era bombeada para um tanque de 1m³, onde era declorada a partir da adição de ácido ascórbico e tinha alcalinidade ajustada em 100 mg CaCO₃ L⁻¹ através do uso de bicarbonato de sódio (NaHCO₃) (Furtado et al., 2011). A salinidade foi ajustada até 10 g L⁻¹ durante dois dias, conforme a Tabela 1, seguindo a metodologia descrita por Van Wyk (1999). Durante esse período a temperatura foi mantida na faixa dos 27°C a partir do uso de aquecedores e os animais foram alimentados quatro vezes ao dia com ração comercial (Guabi, 40J) contendo 40% de proteína. Ao final, os camarões foram contados e transferidos para os tanques experimentais.

536 Tabela 1: Etapas de aclimação de salinidade prévio ao início do período experimental seguindo a
537 metodologia descrita por Van Wyk (1999).
538

Dia	Mudança de salinidade (g L ⁻¹)	Tempo (h)	g L ⁻¹ h ⁻¹
1	30 - 16	8	2
2	16 - 10	6	1

539

540 2.4 Delineamento experimental

541 O experimento consistiu de quatro tratamentos testados em triplicata. Os
542 tratamentos avaliados em Sistema BFT foram definidos de acordo com diferentes
543 percentuais de reuso de uma água contendo bioflocos maduros. Dessa maneira, o
544 tratamento R0 não recebeu inóculo, enquanto nos tratamentos R50 e R100 ocorreram
545 50% e 100%, respectivamente, de volume de reuso de água contendo bioflocos maduros
546 provenientes de um cultivo anterior em andamento. No tratamento água clara não foi
547 estimulado o desenvolvimento de bioflocos ao longo do cultivo, sendo as trocas parciais
548 de água (renovação média de 28,57% dia⁻¹) o principal manejo adotado para a
549 manutenção da qualidade de água.

550 O experimento foi conduzido em 12 tanques com volume de 150L com uma
551 duração de 42 dias, sendo determinada pelo desenvolvimento completo do ciclo de
552 nitrificação no tratamento BFT, ou seja, a formação de bioflocos “maduros”, o que foi
553 constatado principalmente a partir do aumento das concentrações de nitrato nas
554 diferentes unidades experimentais. Todos os tratamentos experimentais foram
555 realizados com água do mar diluída em salinidade 10 g L⁻¹, sendo sempre que
556 necessário água doce desinfetada da companhia de abastecimento público adicionada
557 para compensar as perdas por evaporação. Os juvenis de *P. vannamei* foram estocados a
558 uma densidade de estocagem de 300 camarões m⁻³ e semanalmente foi adicionado na
559 água de cultivo 1g m⁻³ de probiótico (PRO-W Sanolife) em todos os tratamentos.

560 Ao longo do experimento, fertilizações orgânicas a partir do uso de melaço
561 líquido, com cerca de 30% de carbono, foram feitas para o ajuste da relação C:N quando
562 as concentrações de amônia chegaram próximo a 1,0 mg L⁻¹. Para isso foi utilizado
563 como referência os trabalhos desenvolvidos por Ebeling et al. (2006), Avnimlech (1999)
564 e Brandão et al. (2021) onde se determina que são necessários 6,0 g de carbono para

transformar 1,0 g de amônia em biomassa bacteriana, favorecendo assim uma relação C:N próxima a 15:1, onde essa relação é mensurada e balanceada de acordo com a composição proximal de cada ingrediente. No tratamento água clara não foram feitas fertilizações orgânicas para o controle da amônia, sendo para isso realizadas renovações de 70% do volume do tanque sempre que as concentrações de amônia chegaram próximo a 1 mg L⁻¹. A água reserva utilizada para as renovações era semanalmente preparada em um tanque de 2m³, onde previamente era clorada a 20 mg L⁻¹ a partir do uso de hipoclorito de sódio e declorada após 24h sob aeração constante. A temperatura e alcalinidade da água eram ajustadas de acordo com os tanques experimentais.

2.5 Manejo da qualidade de água

A temperatura da água e o oxigênio dissolvido foram monitorados duas vezes ao dia, às 08:00h e 17:00h, a partir de um multiparâmetro digital (YSI55 Yellow Springs). O pH foi monitorado diariamente, utilizando-se um pHmetro de bancada (Mettler Toledo, FEP20, Brasil). A salinidade foi mensurada duas vezes por semana, através de um multiparâmetro digital (Hachcompany, HQ 40d).

Coletas de água foram feitas diariamente para determinação das concentrações de amônia (N-AT) e nitrito (N-NO₂⁻), conforme a metodologia descrita por UNESCO (1983) e Bendschneider e Robinson (1952), respectivamente. O nitrato (N-NO₃⁻) e o fósforo do ortofosfato (P-PO₄³⁻) foram mensurados semanalmente, seguindo a metodologia recomendada por Aminot e Chaussepied (1983). Os sólidos suspensos totais (SST) foram medidos três vezes por semana, conforme a metodologia descrita por Strickland e Parsons (1972). Quando as concentrações de SST ultrapassavam 500 mg L⁻¹ um clarificador era utilizado, de acordo sugerido por Gaona et al. (2011).

A alcalinidade foi analisada três vezes por semana, de acordo com a metodologia descrita por APHA (1998). Correções de alcalinidade e pH eram feitas com cal hidratada sempre que os valores se encontravam abaixo de 150 mg CaCO₃ L⁻¹, conforme sugerido por Furtado et al. (2011).

Coletas de água foram realizadas quinzenalmente para análise dos íons sódio, potássio, cálcio e magnésio ao final do período experimental. Para isso, 350 mL de água foram coletados de cada tanque, filtrados em um filtro contendo filamentos de

aproximadamente 20 micrômetros de largura e armazenados em garrafas plásticas de 250 ml em um freezer a -2°C. As análises dos íons sódio e potássio foram feitas a partir da técnica de fotometria de chama e dos íons cálcio e magnésio a partir de titulometria, sendo a metodologia adotada para a análise desses íons conforme descrito por APHA, (2012).

2.6 Manejo alimentar

A alimentação dos camarões ocorreu duas vezes ao dia, aproximadamente às 09:00h e 17:00h. Na primeira semana de experimento foi utilizada uma ração para camarões juvenis (Guabi, 40J) e após esse período uma ração de maior granulometria (Guabi, 1.6mm), contendo 38% de proteína bruta. A quantidade de ração ofertada foi determinada de acordo com a tabela de alimentação proposta por Jory et al. (2001), sendo que cada tanque possuía uma bandeja de alimentação para acompanhamento do consumo, onde era disponibilizado cerca de 10% da quantidade total de ração calculada e o resto era espalhado no tanque.

2.7 Avaliação do desempenho zootécnico

Ao longo do experimento, o crescimento dos camarões foi monitorado por meio de biometrias semanais de 15 indivíduos por tanque com o auxílio de uma balança analítica (Marte Científica, AD 2000, Brasil), para determinação do crescimento semanal de cada tratamento (g semana^{-1}). No final do período experimental, todos os animais presentes nas unidades experimentais foram contados e pesados, possibilitando a avaliação dos seguintes parâmetros zootécnicos: biomassa final (g), peso final (g), produtividade (kg m^{-3}), sobrevivência (%) e a conversão alimentar aparente (CAA).

2.8 Análises estatísticas

Para análise estatística dos dados de qualidade de água e desempenho zootécnico foram primeiramente verificados os pressupostos de normalidade e homocedasticidade dos dados experimentais e então foi realizada uma análise de variância de uma via (ANOVA), para constatação da existência de diferença significativa entre os valores médios obtidos nos diferentes tratamentos. Quando foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$), o teste de Tukey foi aplicado. Os valores percentuais de sobrevivência foram transformados (arco seno da raiz quadrada) antes de

626 serem analisados (Zar, 2010).

627 3 RESULTADOS

628

629 Os resultados dos parâmetros de qualidade de água monitorados ao longo dos 42
630 dias experimentais estão apresentados na Tabela 2. Durante o experimento, os valores
631 de temperatura e salinidade não diferiram estatisticamente entre os tratamentos ($p >$
632 $0,05$). Por outro lado, os valores médios de oxigênio dissolvido pela manhã foram
633 significativamente maiores ($p < 0,05$) no tratamento R0 em relação aos tratamentos R50
634 e R100. O tratamento Água clara não diferiu estatisticamente em relação aos demais
635 tratamentos. Já os valores desse mesmo parâmetro à tarde foram significativamente
636 maiores ($p < 0,05$) no tratamento Água clara em relação ao tratamento R100. Os
637 tratamentos R0 e R50 não apresentaram diferenças estatísticas em relação aos demais
638 tratamentos.

639 Os valores médios de pH diferiram estatisticamente em relação aos quatro
640 tratamentos experimentais (Água clara, R0, R50 e R100) avaliados. Diferenças
641 estatísticas também foram observadas para amônia, onde os tratamentos Água clara e
642 R0 apresentaram valores significativamente maiores ($p < 0,05$) em relação aos
643 tratamentos R50 e R100, que não diferiram entre si. Em relação ao nitrito, foram
644 encontrados os maiores valores ($p < 0,05$) no tratamento R0, que diferiu estatisticamente
645 do tratamento Água clara e dos tratamentos R50 e R100. Estes dois últimos tratamentos
646 apresentaram as menores concentrações e não revelaram diferenças significativas entre
647 si. As concentrações de nitrato no tratamento R100 foram estatisticamente superiores
648 ($p < 0,05$) em relação ao tratamento R50 e aos tratamentos R0 e Água clara. Estes dois
649 últimos tratamentos apresentaram as menores concentrações e não diferiram
650 estatisticamente entre si.

651 O fosfato apresentou os maiores valores nos tratamentos R50 e R100, que
652 diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) do tratamento Água clara, onde se obteve as
653 concentrações mais baixas. O tratamento R0 não apresentou diferenças significativas
654 em relação aos demais tratamentos. A alcalinidade apresentou valores médios
655 significativamente maiores ($p < 0,05$) no tratamento Água clara em relação aos demais
656 tratamentos avaliados (R0, R50 e R100). Os valores médios de SST diferiram
657 estatisticamente entre todos os tratamentos experimentais, sendo as maiores

658 concentrações encontradas no tratamento R100 e as menores no Água clara.

659

660 **Tabela 3:** Parâmetros de qualidade da água (média $\pm$ desvio padrão) e os valores mínimos e máximos nos
661 tratamentos: Água clara, R0, R50, R100 ao longo dos 42 dias de experimento

	Água clara	R0	R50	R100
T manhã(°C)	28,76 $\pm$ 0,47 (27,7-29,70)	28,65 $\pm$ 0,65 (27,4-30,2)	28,90 $\pm$ 0,45 (27,3-30)	28,82 $\pm$ 0,59 (27,5-30,3)
T tarde (°C)	28,61 $\pm$ 0,74 (24-29,9)	28,55 $\pm$ 0,76 (25,1-30)	28,63 $\pm$ 0,62 (25,2-29,7)	28,65 $\pm$ 0,69 (25,2-30,3)
OD manhã (mg L ⁻¹)	6,76 $\pm$ 0,26 ^{ab} (6,13-7,56)	6,82 $\pm$ 0,34 ^a (6,01-7,85)	6,71 $\pm$ 0,29 ^b (5,97-7,43)	6,67 $\pm$ 0,30 ^b (5,79-7,39)
OD tarde (mg L ⁻¹)	6,69 $\pm$ 0,28 ^a (5,70-7,74)	6,66 $\pm$ 0,32 ^{ab} (5,67-7,30)	6,65 $\pm$ 0,30 ^{ab} (5,84-7,37)	6,59 $\pm$ 0,31 ^b (5,78-7,72)
Salinidade (mg L ⁻¹)	10,13 $\pm$ 0,03 (9,85-10,38)	10,10 $\pm$ 0,29 (9,76-10,44)	10,28 $\pm$ 0,36 (9,62-10,36)	10,17 $\pm$ 0,40 (9,88-10,29)
pH	8,39 $\pm$ 0,10 ^a (8,14-8,62)	8,31 $\pm$ 0,10 ^b (8,03-8,57)	8,24 $\pm$ 0,12 ^c (7,91-8,55)	8,19 $\pm$ 0,11 ^d (7,89-8,45)
Amônia (mg L ⁻¹)	0,95 $\pm$ 0,55 ^a (0,01-2,61)	1,08 $\pm$ 1,32 ^a (0,02-2,82)	0,13 $\pm$ 0,17 ^b (0,04-0,56)	0,09 $\pm$ 0,13 ^b (0,03-0,54)
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,91 $\pm$ 1,27 ^b (0,02-3)	3,69 $\pm$ 3,26 ^a (0,01-15,6)	0,33 $\pm$ 0,48 ^c (0,04-1,8)	0,25 $\pm$ 0,30 ^c (0,01-1,6)
Nitrato (mg L ⁻¹)	2,38 $\pm$ 1,80 ^c (0,31-6,88)	11,77 $\pm$ 12,05 ^c (0,32-35,41)	46,43 $\pm$ 24,68 ^b (22,41-78,58)	60,12 $\pm$ 22,89 ^a (39,24-98,85)
Fosfato (mg L ⁻¹)	0,99 $\pm$ 0,81 ^b (0,12-2,31)	3,01 $\pm$ 3,30 ^{ab} (0,11-8,13)	6,23 $\pm$ 6,40 ^a (0,15-17,91)	6,62 $\pm$ 6,48 ^a (0,32-16,81)
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	216,22 $\pm$ 27,01 ^a (170-280)	196,11 $\pm$ 23,69 ^b (160-285)	187,12 $\pm$ 18,38 ^b (150-240)	184,11 $\pm$ 19,13 ^b (160-275)
SST (mg L ⁻¹)	40,87 $\pm$ 18,65 ^d (18,71- 82,52)	113,88 $\pm$ 64,90 ^c (25,62-240,52)	268,16 $\pm$ 92,67 ^b (88,25- 380,68)	319,50 $\pm$ 84,85 ^a (156,28-447,32)
Melaço (g)	0	105,33	0	0
Uso de água (L)	2220	890	150	150
Cal hidratada (kg m ⁻³)	0	0,093	0,24	0,32
Volume de água(L) kg ⁻¹ de camarão produzido	8222,2	4863,3	4687,1	17045

662

663

664

665

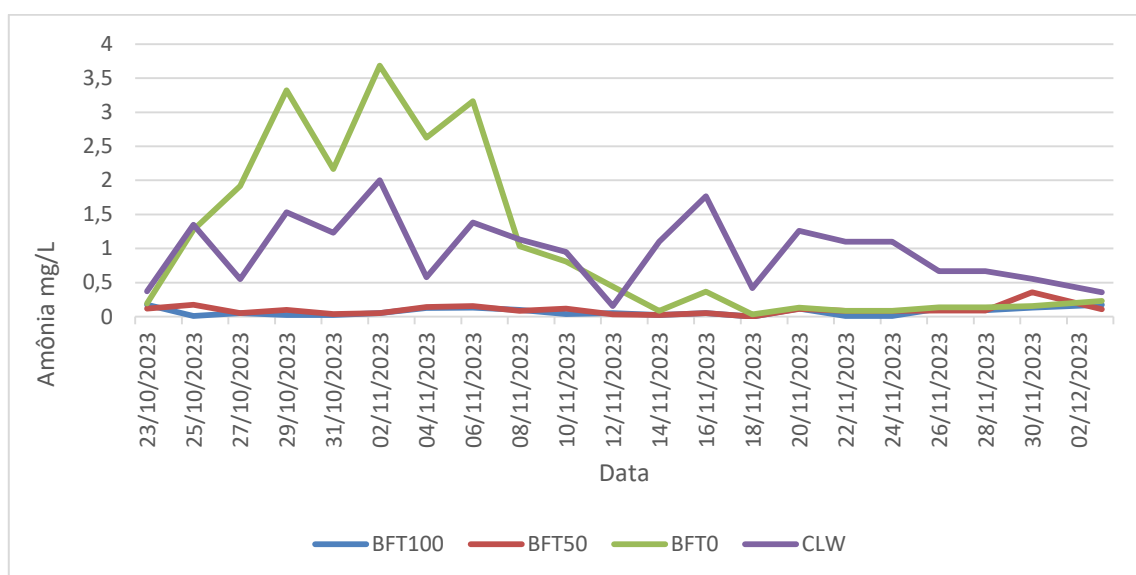


Figura 1: Variações médias das concentrações de amônia (mg N-AT L⁻¹) nos quatro tratamentos avaliados durante o cultivo de *P. vannamei* expostos a diferentes percentuais de reuso de água em sistema BFT em condições de baixa salinidade.

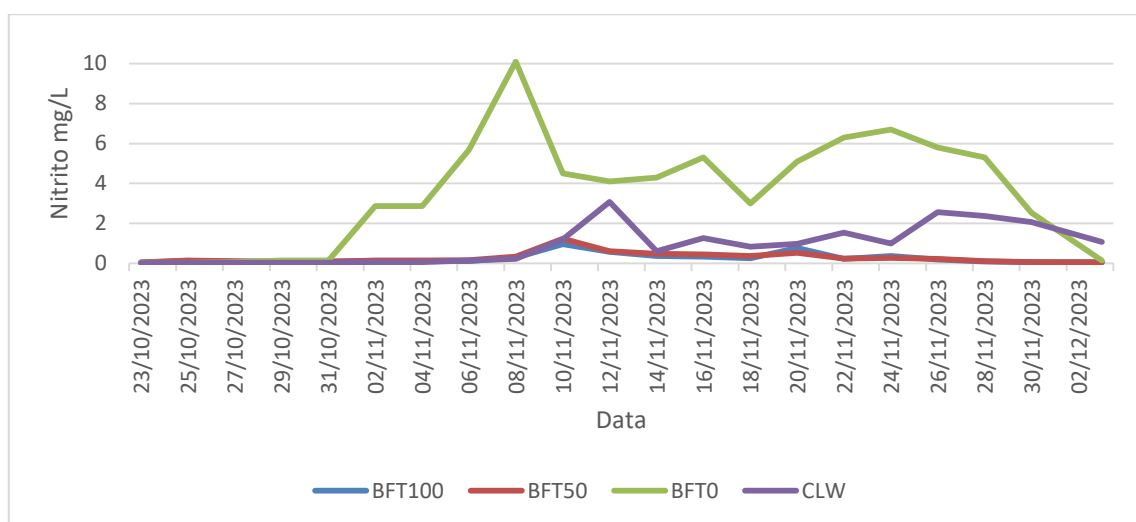


Figura 2: Variações médias das concentrações de nitrito (mg N-NO₂⁻ L⁻¹) nos quatro tratamentos avaliados durante o cultivo de *P. vannamei* expostos a diferentes percentuais de reuso de água em sistema BFT em condições de baixa salinidade.

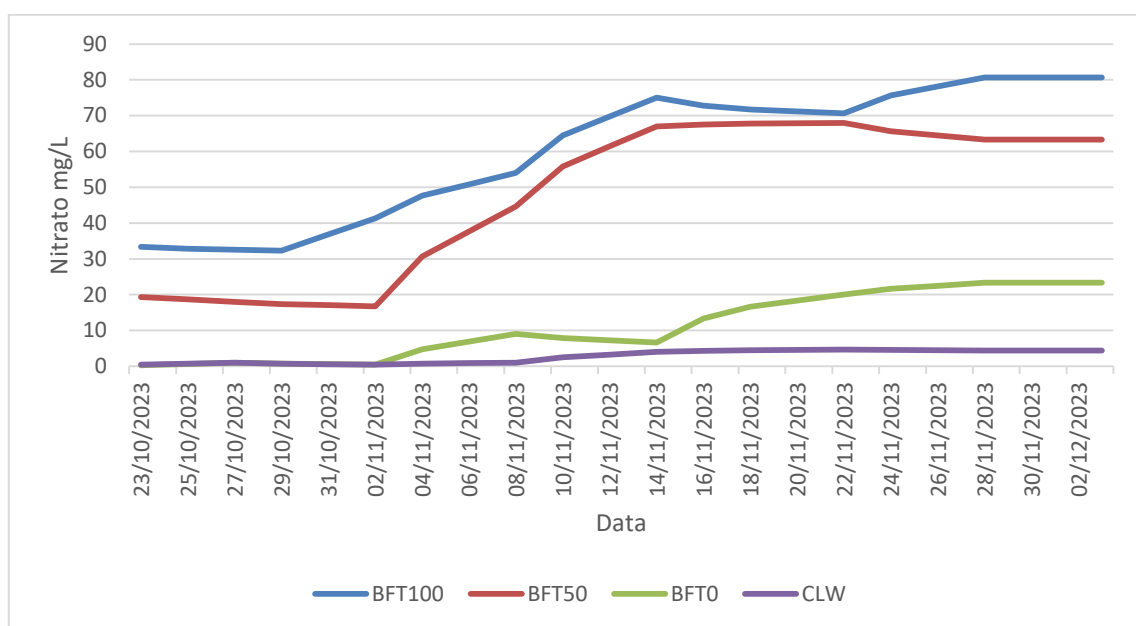


Figura 3: Variações médias das concentrações de nitrato ($\text{mg N-NO}_3^- \text{ L}^{-1}$) nos quatro tratamentos avaliados durante o cultivo de *P. vannamei* expostos a diferentes percentuais de reuso de água em sistema BFT em condições de baixa salinidade.

A concentração dos íons analisados e suas respectivas relações estão representadas na Tabela 4. As concentrações de Na^+ foram superiores no tratamento R0, que por sua vez se diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) do tratamento R50. Os tratamentos Água clara e R100 não apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$) entre si e os demais tratamentos. O valor médio final de K^+ foi estatisticamente menor ($p < 0,05$) no tratamento R50 em relação aos demais tratamentos, que não apresentaram diferenças estatísticas ($p > 0,05$) entre si. Os tratamentos R50 e R100 apresentaram as maiores concentrações de cálcio, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) dos tratamentos Água clara e R0, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si ($p > 0,05$). O Mg^{2+} não diferiu estatisticamente entre nenhum dos tratamentos experimentais ($p > 0,05$). As relações iônicas $\text{Na}^+:\text{K}^+$ não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos avaliados ($p > 0,05$). As relações iônicas $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ diferiram entre os tratamentos Água clara e R50, R50, Água clara, BFT0 e entre os tratamentos R0 e R50. A relação $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ diferiu entre os tratamentos R50 e R100.

Tabela 4: Concentração dos íons majoritários e relações iônicas (média $\pm$ desvio padrão) com valores mínimos e máximos nos tratamentos: Água clara, R0, R50, R100 ao longo dos 42 dias de experimento.

Íons	Água clara	R0	R50	R100
Na ⁺	2588,59±442,22 ^{ab} (1996,19-3166,08)	2618,63±431,79 ^a (2058,90-3166,08)	2173,30±303,23 ^b (1754-2570,51)	2566,88±400,1 ^{ab} (1969-3050,52)
K ⁺	103,25±11,85 ^a (85-118,32)	114,48±16,62 ^a (92,4-132,15)	90,09±5,34 ^b (87,1-95,3)	107,15±6,98 ^a (99,1-119,3)
Ca ²⁺	106,67±21,89 ^b (84,21-141,8)	108,06±22,05 ^b (80,1-139,9)	132,81±22,82 ^a (98,12-164,8)	134,10±22,25 ^a (92,15-154,38)
Mg ²⁺	373,07±17 (349,92-405,56)	388,78±24,36 (360,36-451,73)	391,01±22,10 (362,07-454,41)	372,34±31,31 (345,15-450,52)
Na ⁺ :K ⁺	24,98±1,95	22,84±1,23	23,34±3,20	25,08±3,04
K ⁺ :Ca ²⁺	0,98±0,12 ^{ab}	1,07±0,08 ^a	0,70±0,14 ^c	0,83±0,21 ^{bc}
Mg ²⁺ :Ca ²⁺	3,6±0,61 ^{ab}	3,7±0,78 ^{ab}	3,05±0,74 ^a	2,9±0,85 ^b

702

703 Os resultados de desempenho zootécnico dos camarões cultivados durante os 42
704 dias de experimento estão apresentados na Tabela 5. O peso médio final dos camarões
705 foi estatisticamente superior ($p < 0,05$) no tratamento Água clara, que se diferiu dos
706 demais tratamentos. Quanto à sobrevivência, os maiores valores encontrados foram nos
707 tratamentos R0 e Água clara, que por sua vez se diferiram estatisticamente ($p < 0,05$)
708 dos tratamentos R50 e R100. Estes dois últimos tratamentos não apresentaram
709 diferenças entre si. Em relação ao crescimento semanal, o tratamento Água clara
710 apresentou valores estatisticamente superiores ($p < 0,05$) em relação aos demais
711 tratamentos avaliados. A biomassa final apresentou diferenças entre todos os
712 tratamentos, sendo o maior valor desse índice encontrado no tratamento Água clara e o
713 menor no tratamento R100. A produtividade apresentou diferenças em relação aos
714 tratamentos avaliados, sendo significativamente maior ($p < 0,05$) no tratamento Água
715 clara, seguido do tratamento R0 e dos tratamentos R50 e R100, em que ambos não
716 diferiram entre si. A CAA superior ($p < 0,05$) nos tratamentos R100 e R50 em relação
717 aos tratamentos R0 e Água clara.

718

Tabela 5: Desempenho zootécnico (média ± desvio padrão) do *P. vannamei* nos tratamentos água clara, R0, R50 e R100 ao longo dos 42 dias de experimento.

	Água clara	R0	R50	R100	<i>P</i> valor
Peso inicial (g)	0,88 0	0,88±0	0,88±0	0,88±0	-
Peso final (g)	6,6±0,4 ^a	4,3±0,3 ^b	4,6±0 ^b	3,1±0 ^b	0,001858
Sobrevivência (%)	91,8±1,3 ^a	94,1±3,4 ^a	5,2±9,0 ^b	4,4±7,7 ^b	0,00000
Ganho de peso (g)	5,6±0,4 ^a	3,3±0,3 ^b	3,6±0 ^b	2,2±0 ^b	0,001858
Crescimento semanal (g/semana)	0,9±0,1 ^a	0,6±0 ^b	0,6±0 ^b	0,4±0 ^b	0,001858
Biomassa final (g)	272,1±19,1 ^a	182,8±5,3 ^b	32±0 ^c	8,8±0 ^d	0,000209
Ganho de biomassa (g)	228,0±19,1	138,7±5,3	-	-	-
Produtividade (g/m ³)	40,8±2,9 ^a	27,4±0,8 ^b	4,8±0 ^c	2,8±0 ^c	0,000025
CAA	1,3±0,05 ^b	1,2±0,05 ^b	3,8±0 ^a	4,1±0 ^a	0,000011

CAA: conversão alimentar aparente. Letras diferentes representam diferença estatística entre os tratamentos

4. DISCUSSÃO

Os parâmetros físicos de qualidade de água como temperatura e oxigênio dissolvido apresentaram valores ideais para o cultivo do *P. vannamei* (Ponce-Palafox et al., 1997; Van wyk e Scarpa, 1999) e provavelmente não afetaram o crescimento dos animais e o desenvolvimento da comunidade microbiana na água.

Furtado et al. (2015) sugerem valores de pH acima de 7 e alcalinidade acima de 150 mg CaCO₃ L⁻¹ no sistema BFT para um bom desempenho do processo de nitrificação e dos camarões cultivados. Em todos os tratamentos do presente estudo o pH e a alcalinidade mantiveram-se conforme recomendam os autores supracitados. O tratamento Água clara apresentou valores de alcalinidade superiores aos demais tratamentos devido à ausência de uma comunidade microbiana autotrófica estabelecida e pela constante reposição de água contendo alcalinidade ajustada em valores próximos a 150 mg CaCO₃ L⁻¹. Esse mesmo motivo justifica a maior quantidade de cal hidratada utilizada nos tratamentos onde foi feito reuso de água, já que as bactérias nitrificantes se faziam presentes desde o início do cultivo.

Segundo Samocha et al. (2015) concentrações excessivas de sólidos suspensos totais (SST) podem prejudicar o crescimento dos camarões cultivados e causar mortalidade. Dessa maneira, Gaona et al. (2016) recomendam concentrações de SST de

743 até 500 mg L⁻¹ para a manutenção da qualidade de água em condições ideais e índices
744 zootécnicos satisfatórios. No presente estudo, todos os tratamentos mantiveram as
745 concentrações de SST em níveis recomendados pelos autores mencionados. Ainda
746 assim, ao longo do período experimental observou-se maior incremento dos SST nos
747 tratamentos onde ocorreu reuso de água, sendo esse comportamento mais evidente no
748 tratamento R100 devido ao maior percentual de bioflocos inoculados no início do
749 experimento. Esse padrão também foi observado por Espinoza-Figueroa et al. (2022)
750 em tratamentos que receberam inoculação de bioflocos maduros em maiores
751 concentrações.

752 O reuso de 25-100% de uma água contendo bioflocos maduros no cultivo do *P.*
753 *vannamei* em salinidade próxima a 30 g L⁻¹ contribuí para o desenvolvimento de forma
754 mais acelerada da comunidade microbiana nitrificante no sistema, fazendo com que a
755 amônia e o nitrito na água sejam metabolizados de forma mais rápida e não apresentem
756 concentrações letais para os camarões cultivados (Krummenauer et al., 2014). O
757 aprimoramento dessa técnica em baixa salinidade pode estar associado a uma vantagem
758 importante para o sucesso do cultivo nessas condições, que é a redução das
759 mortalidades causadas pela toxicidade da amônia e do nitrito, já que a toxicidade desses
760 compostos é inversamente proporcional à salinidade da água (Lin e chen, 2001; Lin e
761 Chen, 2003; Maicá et al., 2011; Romano e Zeng, 2013).

762 Segundo Lin e Chen (2001) o nível de segurança para amônia durante o cultivo
763 do *P. vannamei* em águas salobras é 2,44 mg L⁻¹. No presente estudo, os tratamentos
764 Água clara e R0 apresentaram concentrações acima do recomendado, chegando a
765 valores de 2,61 e 2,82 mg L⁻¹, respectivamente. Dessa maneira, no tratamento R0
766 fertilizações orgânicas foram realizadas para a manutenção das concentrações de
767 amônia nas unidades experimentais, buscando ajustar a relação C/N e estimular o
768 desenvolvimento das bactérias heterotróficas (Serra et al., 2015; Huang et al., 2022c). Já
769 no tratamento Água clara, o método de controle implementado para a manutenção das
770 concentrações de amônia foram as trocas parciais de água, sendo necessário o uso
771 adicional de 2080 l de água salobra. Por outro lado, os tratamentos R50 e R100 não
772 ultrapassaram o nível de segurança recomendado, devido ao reuso de água contendo
773 bioflocos maduros no início do cultivo. Assim, os tratamentos R50 e R100 demonstram
774 a eficiência do reuso de água na manutenção das concentrações de amônia em níveis

ideais durante o cultivo, dispensando o uso de melaço e trocas de água. Krummenauer et al. (2014) em condições de alta salinidade também verificaram que o reuso de água de um ciclo anterior acelera o desenvolvimento da comunidade microbiana, controlando de forma mais rápida os compostos nitrogenados sem a necessidade de fertilizações orgânicas. Espinoza-Figueroa et al. (2022) avaliando o reuso de 25-100% de água contendo bioflocos maduros durante o cultivo da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em salinidade próxima a 0 g L⁻¹ também observaram esse padrão.

A maior concentração de nitrito observada ocorreu no tratamento R0, chegando a 15,6 mg L⁻¹, excedendo o nível de segurança de 6,1 mg L⁻¹ recomendado por Lin e Chen, (2003) para o cultivo do *P. vannamei* em águas salobras. Devido à tendência que o nitrito apresenta de se acumular no sistema, trocas parciais de água foram realizadas nesse tratamento até a estabilização das bactérias nitrificantes, sendo necessário um uso adicional de 740l de água. Mesmo assim, o desenvolvimento da comunidade nitrificante ocorreu de forma eficiente nesse tratamento, sendo possível observar o acúmulo de nitrato nas diferentes unidades experimentais. Esse comportamento foi observado também por uma série de autores cultivando *P. vannamei* sem reuso de água em baixas salinidades no sistema BFT (Decamp et al., 2003; Esparza Leal et al., 2016; Pinto et al., 2020). Já nos tratamentos R50 e R100, o reuso de água contendo bioflocos maduros proporcionou a presença de bactérias nitrificantes desde o início do experimento, resultando em concentrações de nitrito em níveis ideais para o cultivo do *P. vannamei*, assim como observado por diversos autores que utilizaram inóculo de bioflocos maduros no início do cultivo (McAbee et al., 2003; Krummenauer et al., 2014; Silveira et al., 2022; Holanda et al., 2022; Brandão et al., 2023).

O nitrato é um composto que tende a acumular no sistema BFT, já que representa o produto final do processo de nitrificação realizado pelas bactérias nitrificantes. Por apresentar essa característica, mesmo sendo menos tóxico que a amônia e o nitrito, em condições de salinidades mais baixas o nitrato pode comprometer a sobrevivência e o crescimento dos camarões cultivados, sobretudo nas fases finais do cultivo (Valencia-Castañeda et al., 2019). Alves Neto et al. (2019) recomendam como seguro para o cultivo em salinidade 10 g L⁻¹ concentrações até 120 mg L⁻¹ de nitrato. No presente estudo, as concentrações de nitrato foram maiores nos tratamentos onde ocorreu reuso de água, sendo a maior concentração obtida no tratamento R100 (98,85

807 mg L⁻¹), na última semana do experimento, o que indica que o NO₃⁻ não interferiu
808 negativamente no desempenho dos camarões segundo esses autores. Por outro lado,
809 Prates et al. (2023) avaliando o efeito crônico do NO₃⁻ em salinidade 25 durante o
810 cultivo do *P. vannamei* observaram que a partir de cerca de 140 mg L⁻¹ em salinidade
811 25 já ocorre redução no crescimento. Já os autores Moura et al. (2023) avaliando
812 diferentes concentrações de Mg²⁺ em salinidade 5 g L⁻¹ em sistema de bioflocos durante
813 o cultivo do *P. vannamei* apresentaram concentrações de NO₃⁻ próximas a 150 mg L⁻¹ e
814 valores de sobrevivência próximos a 85%.

815 Segundo Boyd e Thunjai, (2003) a concentração mínima de Ca²⁺ para o cultivo
816 do *P. vannamei* em sistemas de baixas salinidades é 30 mg L⁻¹. Em todos os tratamentos
817 do presente estudo as concentrações de Ca²⁺ mantiveram-se acima de 80 mg L⁻¹,
818 revelando a baixa influência desse íon no desempenho zootécnico dos camarões
819 cultivados. Nos tratamentos R50 e R100 foram observadas as maiores concentrações de
820 cálcio devido ao maior aporte de Ca(OH)₂, que é um insumo rico em cálcio comumente
821 utilizado no Sistema BFT para manutenção do pH e alcalinidade em níveis ideais
822 (Furtado et al., 2015). Nesses tratamentos a correção do pH e da alcalinidade ocorreu
823 desde a primeira semana de experimento devido a inoculação de bactérias heterotróficas
824 e nitrificantes presentes nos bioflocos, ao contrário do tratamento R0, onde o aporte de
825 Ca(OH)₂ ocorreu somente na terceira semana, quando as concentrações de amônia e
826 nitrito começaram a diminuir, indicando o desenvolvimento dos microorganismos
827 responsáveis pela metabolização destes compostos.

828 Boyd et al. (2009) sugere que as relações iônicas durante o cultivo do *P.*
829 *vannamei* devem ser ajustadas de acordo com o ambiente natural da espécie, o mar.
830 Dessa maneira, de acordo com os autores supracitados a relação Na⁺:K⁺ deve apresentar
831 valores próximos de 27,6:1, K⁺:Ca²⁺ 0,9:1 e Mg⁺:Ca²⁺ de 3,4:1. Mesmo assim, alguns
832 estudos avaliando relações iônicas com valores acima e abaixo das observadas no
833 ambiente marinho proporcionaram índices zootécnicos satisfatórios durante o cultivo do
834 *P. vannamei* (Roy et al., 2007; Liu et al., 2016).

835 Roy et al. (2007a) cultivando juvenis de *P. vannamei* de 1,2g em água salinizada
836 artificialmente à salinidade 4, verificaram que, ao final do experimento, o desempenho
837 zootécnico dos camarões foi prejudicado nos tratamentos onde as concentrações de
838 magnésio e a relação Mg²⁺:Ca²⁺ foram inferiores a 20 mg L⁻¹ e 0,37:1, respectivamente.

839 No presente estudo as concentrações médias de magnésio não diferiram estatisticamente
840 entre os tratamentos e mantiveram-se acima de 300 mg L⁻¹ em todas as unidades
841 experimentais. Além disso, os tratamentos apresentaram valores de relação Mg²⁺:Ca²⁺
842 superiores a 0,37:1 e também próximos dos observados no ambiente marinho (3,7:1),
843 revelando que assim como as concentrações de Mg²⁺ a relação Mg²⁺:Ca²⁺ também
844 manteve-se em valores ideais ao longo do cultivo.

845 Os autores Liu et al. (2016) e Roy et al. (2007a) encontraram índices
846 zootécnicos satisfatórios durante o cultivo de *P.vannamei* em baixas salinidades nos
847 tratamentos em que a relação Na⁺:K⁺ foi mais próxima da observada no ambiente
848 marinho (28:1), sendo elas 23:1 e 29:1, respectivamente. No presente estudo, a relação
849 Na⁺:K⁺ manteve-se próxima da observada no ambiente marinho e também com valores
850 próximos aos obtidos pelos autores supracitados, proporcionando condições ideais para
851 o crescimento do *P. vannamei* ao longo do experimento. Durante todo o período
852 experimental as concentrações de K⁺ mantiveram-se em concentrações próximas do
853 valor encontrado em água de mar diluída a salinidade 10, assim como a relação K⁺:Ca²⁺
854 (Royet al.,2010). As maiores concentrações de K⁺ ocorreram no tratamento R0 devido
855 ao maior aporte de ração e melaço, que são insumos ricos nesse mineral e que
856 indiretamente é aportado ao ambiente de cultivo.

857 Os autores Pimentel et al. (2024) avaliando diferentes sistemas de cultivo super-
858 intensivos (BFT X RAS X Simbiótico) em baixa salinidade (2g L⁻¹) durante a engorda
859 do *P. vannamei*, apresentaram valores de sobrevivência próximos a 85% no sistema
860 BFT sem a implementação da técnica reuso de água. No presente trabalho, os
861 tratamentos R0 e CLW apresentaram índices zootécnicos similares aos autores
862 supracitados e também em relação a outras pesquisas realizadas em altas salinidades
863 durante a fase de engorda do *P. vannamei* sem diluição da água de cultivo
864 (Krummenauer et al., 2011; Reis et al., 2019; Silveira et al., 2020; Brandão et al., 2021).
865 Os valores de sobrevivência não diferiram estatisticamente entre esses tratamentos do
866 presente estudo, porém o crescimento semanal e a produtividade foram
867 significativamente superiores no tratamento Água clara. Isso pode ter ocorrido devido à
868 prolongada exposição a concentrações de nitrito acima do nível de segurança para a
869 espécie, que não proporcionaram mortalidades significativas, mas que prejudicaram o
870 desempenho zootécnico dos camarões (Lin e Chen, 2003).

871 Por outro lado, para a manutenção das concentrações de nitrito em níveis mais
872 estáveis no tratamento Água clara, foi necessário o uso de cerca de 2040L de água de
873 mar diluída a salinidade 10 g L⁻¹ o que representa uma demanda de cerca de 180% a
874 mais de água em relação ao tratamento R0. O uso de um maior volume de água no
875 tratamento Água clara representa custos mais elevados com bombeamento de água,
876 aquisição de sais comerciais ou transporte da água de cultivo assim como maior impacto
877 ambiental a partir da geração de maior volume de efluente salinizado (Huang et al.,
878 2022a).

879 Os tratamentos em que ocorreram reuso de água (R50 e R100) apresentaram
880 valores de sobrevivência inferiores a 10%, com mortalidades aparentes a partir da
881 segunda semana de experimento em ambos os tratamentos, mesmo que as relações
882 iônicas e a qualidade de água não tenham sido influenciadas negativamente a partir do
883 reuso de água de um cultivo anterior e tenham se mantido nas faixas recomendadas para
884 o cultivo da espécie. Por outro lado, os autores Krummenauer et al. (2014) avaliando o
885 reuso de 50 e 100% de água contendo bioflocos maduros obtiveram resultados de
886 sobrevivência próximos a 90%, porém em salinidade acima de 30 g L⁻¹. Posteriormente,
887 Menestrino et al. (2021) avaliando percentuais mínimos de reuso de água durante o
888 cultivo do *P. vannamei* também apresentaram resultados de sobrevivência superiores a
889 85% a partir de um reuso de 5% de água contendo bioflocos maduros, indicando que a
890 salinidade da água é um fator relevante no reuso de água em sistema BFT. Nesse
891 sentido, acredita-se que a sobrevivência dos camarões nesses tratamentos sofreu
892 influência dos microelementos presentes na água, que apresentam funções vitais em
893 processos fisiológicos desempenhados pelo *P. vannamei*, sendo eles o brometo,
894 estrôncio, fluoreto e derivados do ácido bórico, que somados aos íons majoritários
895 representam 99,99% da concentração dos íons dissolvidos na água do mar.

896 Segundo Watson e Will, (2006) sistemas de recirculação de água podem
897 apresentar deficiência de microelementos ao longo do cultivo, já que estes podem ser
898 incorporados pelos organismos cultivados assim como pela comunidade microbiana.
899 Posteriormente, Prangell et al. (2016) avaliando o efeito do reuso de água na
900 composição iônica durante o cultivo do *P. vannamei* em salinidade 30 g L⁻¹ verificaram
901 a redução significativa das concentrações de Sr²⁺ ao final do cultivo, que é um íon
902 fundamental no processo de muda realizado pelo *P. vannamei*. Os autores Alves Neto et

903 al. (2023) cultivando *P. vannamei* em sistema BFT em salinidade 10 g L⁻¹ verificaram a
904 importância do íon brometo ao longo do cultivo, onde o tratamento em que a
905 concentração de brometo foi limitada ocorreu 100% de mortalidade dos camarões
906 cultivados. Portanto, em sistemas super-intensivos que operam em baixa salinidade com
907 trocas de água limitadas e que utilizam a técnica de reuso de água é aconselhável o
908 monitoramento e reposição de microelementos.

909 A qualidade da água e o balanço iônico esteve em níveis ideais durante todo o
910 experimento nos tratamentos R50 e R100, conforme recomendado para o cultivo do *P.*
911 *vannamei*. No entanto, apesar desses parâmetros favoráveis, observou-se mortalidade
912 significativa dos camarões. É provável que a causa dessas mortalidades esteja associada
913 à possível deficiência de microelementos, como estrôncio e brometo, que desempenham
914 funções vitais nos processos fisiológicos dos camarões. Essa hipótese sugere que,
915 mesmo com boas condições de qualidade da água e balanço iônico, a suplementação
916 adequada de microelementos pode ser essencial para garantir a saúde e o desempenho
917 zootécnico dos camarões em sistemas de reuso de água em condições de baixas
918 salinidades. Dessa forma, sugere-se que mais estudos sejam desenvolvidos abordando
919 os microelementos durante o cultivo de *P. vannamei*, sobretudo em condições de reuso
920 de água em baixas salinidades, já que as informações a respeito desse tema ainda são
921 escassas na literatura.

922

923 5. CONCLUSÕES

924 Os resultados obtidos neste estudo indicam que o reuso de 50-100% de água
925 contendo bioflocos maduros proporcionam níveis estáveis de N-AT e NO₂⁻ ao longo do
926 cultivo, podendo o acúmulo de SST e NO₃⁻ tornarem-se fatores a serem considerados
927 em cultivos mais prolongados. Mesmo assim, os baixos índices de sobrevivências
928 obtidos nesses tratamentos sugerem que mais pesquisas devem ser desenvolvidas nesse
929 sentido, explorando principalmente os microelementos. Além disso, constatou-se
930 também que o tratamento R0, mesmo proporcionando valores de produtividade
931 inferiores ao tratamento CLW, pode ser uma opção mais sustentável para o cultivo do
932 *P. vannamei*, sendo a alternativa de cultivo mais acessível principalmente para regiões
933 afastadas da zona costeira.

934

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aminot, A.; Chaussepied, M. 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, Brest, Paris, 395 pp.
- APHA (American Public Health Association). 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition. Washington, DC. 1193p.
- Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176: 227-235
- Azim, M. E. Little, D. C. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1-4), 29-35.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
- Avnimelech, Y. 2015. Biofloc Technology: A Practical Hand Book, 3rd ed. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA.
- Alves Neto, I.; Brandão, H.; Furtado, P.; Wasielesky Jr. W. 2019. Acute toxicity of nitrate in *Litopenaeus vannamei* juveniles at low salinity levels. *C. Rural* 49, 1–9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180439>
- Alves Neto, I. Influência dos microelementos na água de cultivo do *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) em sistema de bioflocos em salinização artificial. 2024 (Tese de doutorado. Programa de pós graduação em aquicultura, IO, FURG). Disponível em: <https://ppgaquicultura.furg.br/>
- Bendschneider K.; Robinson RJ. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*. 11:87-96.
- Bray, W.A.; Lawrence, A.L.; Leung-Trujillo J.R. 1994. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHNV virus and salinity. *Aquaculture* 122, 133–146. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90505-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90505-3)
- Boyd, C.E.; Thunjai, T., 2003. Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. *J. World Aquac. Soc.* 34, 524–532. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2003.tb00092.x>
- Boyd, C.A., Chaney, P.L., Boyd, C.E., Rouse, D.B., 2009. Distribution of ground water suitable for use in saline-water aquaculture in Central and West-central Alabama. *J. Appl. Aquac.* 21, 228–240.
<https://doi.org/10.1080/10454430903114048>

- Boyd, C. E.; Tucker, C. S.; Somridhivej, B. 2016. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(1), 6-41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>
- Brandão, H., Xavier, Í. V., Santana, G. K. K., Santana, H. J. K., Krummenauer, D., Wasielesky, W. 2021. Heterotrophic versus mixed BFT system: Impacts on water use, suspended solids production and growth performance of *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, 95, 102194. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102194>
- Brandão, H., dos Reis, W. G., Krummenauer, D., Wasielesky Jr, W. 2023. Growth performance of *Litopenaeus vannamei* under biofloc system using denitrified seawater. *Aquaculture International*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01315-0>
- Crab, R.; Avnimelech, Y.; Defoirdt, T.; Bossier, P.; Verstraete, W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270(1-4), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.006>
- Silveira, L. G. P.; Krummenauer, D.; Poersch, L. H.; Rosas, V. T.; Wasielesky Jr, W. 2020. Hyperintensive stocking densities for *Litopenaeus vannamei* grow-out in biofloc technology culture system. *Journal of the World Aquaculture Society* 51, 1290-1300. <https://doi.org/10.1111/jwas.12718>
- Silva, W. A.; da Silva, J. L.; Oliveira, C. Y. B.; de Moraes, A. P. M.; Shinozaki-Mendes, R. A.; Silva, U. L. 2022. Effect of stocking density on water quality, plankton community structure, and growth performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) post-larvae cultured in low-salinity biofloc system. *International Aquaculture Research*, 14(2), 107.. <https://doi.org/10.22034/IAR.2022.1936674.1176>
- Silveira, L. G. P.; Rosas, V. T.; Krummenauer, D.; Poersch, L. H.; Wasielesky Jr, W. 2022. Comparison between horizontal and vertical substrate in shrimp super-intensive culture in bioflocs system. *Aquacultural Engineering*, 96, 102218. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102218>
- Moura, P. S.; Wasielesky Jr, W.; da Paz Serra, F.; Braga, A.; Poersch, L. 2021. Partial seawater inclusion to improve *Litopenaeus vannamei* performance in low salinity biofloc systems. *Aquaculture*, 531, 735905. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735905>
- Decamp, O.; Cody, J.; Conquest, L.; Delanoy, G.; Tacon, A. G. 2003. Effect of salinity on natural community and production of *Litopenaeus vannamei* (Boone), within experimental zero-water exchange culture systems. *Aquaculture Research*, 34(4), 345-355. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00842.x>

- Ebeling J.M.; Timmons M.B.; Bisogni J.J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. *Aquaculture*.257:346–358<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>
- Esparza-Leal, H.M.; Amaral Xavier, J.A.; Wasielesky, W. 2016. Performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in indoor nursery tanks under biofloc conditions at different salinities and zero-water exchange. *Aquaculture International* 24, 1435–1447.<https://doi.org/10.1007/s10499-016-0001-5>
- Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W. 2011. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems. *Aquaculture*. 321, 130–135.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.034>
- Figueroa-Espinoza, J.; Rivas-Vega, M. E.; de los Ángeles Mariscal-López, M.; Emerenciano, M. G.; Martínez-Porchas, M.; Miranda-Baeza, A. 2022. Reusing water in a biofloc culture system favors the productive performance of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) without affecting the health status. *Aquaculture*, 558, 738363.<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738363>
- Gaona, C.; Poersch, L.; Krummenauer, D.; Foes, G.; Wasielesky Jr., W. 2011. The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc technology culture system. *International Journal of Recirculation Aquaculture*, 11,54–73.<https://doi.org/10.21061/ijra.v12i1.1354>
- Gaona, C.A.P., Serra, F.D.P., Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky Jr., W., 2016. Biofloc management with different flow rates for solids removal in the *Litopenaeus vannamei* BFT culture system. *Aquaculture International*, 24, 1263-1275.<https://doi.org/10.1007/s10499-016-9983-2>
- Green, B. W.; Schrader, K. K.; Rawles, S. D.; Webster, C. D.; McEntire, M. E. 2020. Comparison of unused water and year-old used water for production of channel catfish in the biofloc technology system. *Aquaculture* 519, 734739.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734739>
- Holanda, M.; Wasielesky Jr, W.; De Lara, G. R.; Poersch, L. H. 2022. Production of Marine Shrimp Integrated with Tilapia at High Densities and in a Biofloc System: Choosing the Best Spatial Configuration. *Fishes*, 7(5), 283.<https://doi.org/10.3390/fishes7050283>
- Hoa, N. V.; Tảo, C. T.; Terahara, T.; Hai, T. N. 2022. Influence of salinity on nursery-phase whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in a biofloc system. *Journal of Applied Aquaculture*, 34(4), 907-

921. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1909519>
- Huang, H. H.; Li, C. Y.; Song, Y.; Lei, Y. J.; Yang, P. H. 2022a. Growth performance of shrimp and water quality in a freshwater biofloc system with a salinity of 5.0‰: Effects on inputs, costs and wastes discharge during grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. Aquacultural Engineering, 98, 102265. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102265>
- Huang, H. H.; Li, C. Y.; Liang, T.; Lei, Y. J.; Yang, P. H.; Wu, M. X. 2022b. Effects of carbon-to-nitrogen ratio (C: N) on water quality and growth performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in the biofloc system with a salinity of 5‰. Aquaculture Research. 53(15), 5287-5299. <https://doi.org/10.1111/are.16013>
- Huang, H. H.; Liao, H. M.; Lei, Y. J.; Yang, P. H. 2022c. Effects of different carbon sources on growth performance of *Litopenaeus vannamei* and water quality in the biofloc system in low salinity. Aquaculture, 546, 737239. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737239>
- Jory, D.E.; Cabrera, T.R.; Dugger, D.M.; Fegan, D.; Lee, P.G.; Lawrence, A.L., Jackson, C.J.; McIntosh, R.P.; Castañeda, J. 2001. A global review of shrimp feed management: status and perspectives. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, p 104–152.
- Kuhn, D. D.; Smith, S. A.; Boardman, G. D.; Angier, M. W.; Marsh, L.; Flick Jr, G. J. 2010. Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. Aquaculture, 309(1-4),
- Krummenauer, D., Peixoto, S., Cavalli, R. O., Poersch, L. H., & Wasielesky, W. 2011. Superintensive culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a biofloc technology system in southern Brazil at different stocking densities. *Journal of the world aquaculture society*, 42(5). <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00507.x>
- Khanjani, M. H., Mohammadi, A., Emerenciano, M. G. C. 2022. Microorganisms in biofloc aquaculture system. Aquaculture Reports, 26, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101300>
- Kring, N. A.; Fleckenstein, L. J.; Tierney, T. W.; Fisk, J. C.; Lawson, B. C.; Ray, A. J. 2023. The effects of stocking density and artificial substrate on production of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* and water quality dynamics in greenhouse-based biofloc systems. Aquacultural Engineering, 101, 102322. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102322>

- Krummenauer, D.; Samocha, T.; Poersch, L.; Lara, G.; Wasielesky, Jr. W. 2014. The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT System. Journal of the World Aquaculture Society. 45(1). <https://doi.org/10.1111/jwas.12093>
- Lin, Y & J Chen. 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 259: 109-119 [https://doi.org/10.1016/s0022-0981\(01\)00227-1](https://doi.org/10.1016/s0022-0981(01)00227-1)
- Lin, Y., Chen, J. 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. Aquaculture. 224: 193 – 201. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00220-5)
- Liu, H., Tan, B., Yang, J., Chi, S., Dong, X., Yang, Q. 2016. Effects of aqueous Na/K and dietary K on growth and physiological characters of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low-salt well water. Aquac. Res. 47, 540–553. <https://doi.org/10.1111/are.12513>
- McAbee, B. J.; Browdy, C. L.; Rhodes, R. J.; Stokes, A. D. 2003. The use of greenhouse-enclosed race-way systems for the superintensive production of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in the United States. Global Aquaculture Advocate 6: 40 – 43.
- McGraw, W. J.; Scarpa, J. 2003. Minimum environmental potassium for survival of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in freshwater. Journal of Shellfish Research, 22(1), 263-268.
- Miranda, F.R.; Lima, R.N.; Crisóstomo, L.A.; Santana, M.G.S. 2008. Reuse of inland low salinity shrimp farm effluent for melon irrigation. Aquaculture Engenre. 39 (1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.04.001>
- Maicá, P.F.; Borba, M.R.; Wasielesky Jr., W. 2011. Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles reared in a zero-water-exchange super-intensive system. Aquaculture Research 43, 361-370. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02838.x>
- Martins, M. A.; Poli, M. A.; Legarda, E. C.; Pinheiro, I. C.; Carneiro, R. F. S.; Pereira, S. A.; Martins, M. L.; Gonçalves, P.; Schleder, D. D.; Vieira, N. F. 2020. Heterotrophic and mature biofloc systems in the integrated culture of Pacific white shrimp and Nile tilapia. Aquaculture, 514, 734517. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734517>
- Menestrino, K 2022. (Trabalho de conclusão de curso. Instituto de Oceanografia, FURG)

- Ponce-Palafox, J.; Martinez-Palacios, C. A.; Ross, L. G. 1997b. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. *Aquaculture*, 157(1-2), 107-115. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00148-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00148-8)
- Parmenter, K.J.; Bisesi Jr, J.H.; Young, S.P.; Klaine, S.J.; Atwood, H.L.; Browdy, C.L.; Tomasso, J.R. 2009. Culture of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* in a mixed-ion solution. *North American Journal of Aquaculture* 71, 134-137. <https://doi.org/10.1577/A08-015.1>
- Ponce-Palafox, J. T.; Pavia, Á. A.; López, D. G. M.; Arredondo-Figueroa, J. L.; Lango-Reynoso, F.; delRefugioCastañeda-Chávez, M.; Peraza-Gómez, V. 2019a. Response surface analysis of temperature-salinity interaction effects on water quality, growth and survival of shrimp *Penaeus vannamei* post larvae raised in biofloc intensive nursery production. *Aquaculture*, 503, 312-321. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.020>
- Pinto, P. H. O.; Rocha, J. L.; do Vale Figueiredo, J. P.; Carneiro, R. F. S.; Damian, C.; de Oliveira, L.; Seiffert, W. Q. 2020. Culture of marine shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in biofloc technology system using artificially salinized freshwater: Zootechnical performance, economics and nutritional quality. *Aquaculture*, 520, 734960. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734960>
- Pimentel, O. A. L. F.; Schwarz, M.H.; van Senten, J.; Wasielesky, W.; Urick, S.; Carvalho, A.; McAlhaney, E.; Clarrington, J.; Krummenauer, D. 2024. *Penaeus vannamei* super intensive culture in low salinity water: a comparative study among Recirculating Aquaculture System, Biofloc Technology System, and Synbiotic System. (Artigo submetido a revista *Aquaculture*)
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Henry, R.P., 2007a. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture* 262, 461-469. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.011>
- Roy, L. A., D. A. Davis, I. P. Saoud, and R. P. Henry. 2007b. Supplementation of potassium, magnesium and sodium chloride in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture Nutrition* 13:104-13. <https://doi.org/10.1111/anu.2007.13.issue-2>.
- Roy, L.A.; Davis, D.A.; Saoud, I.P.; Boyd, C.A.; Pine, H.J.; Boyd, C.E. 2010. Shrimp culture in inland low salinity waters. *Reviews in Aquaculture* 2, 191-208. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01036.x>
- Ray, A. J.; B. L. Lewis, C. L. Browdy; J.W. Leffler. 2010. Suspended solids removal to

- improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, super intensive culture systems. *Aquaculture* 299:89–98. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.021>
- Roselet, F.; Maica, P.; Martins, T.; Abreu, P. C. 2013. Comparison of open-air and semi-enclosed cultivation system for massive microalgae production in sub-tropical and temperate latitudes. *Biomass and bioenergy*, 59, 418-424. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.09.014>
- Romano, N.; Zeng, C. 2013. Toxic effects of ammonia, nitrite, and nitrate to decapod crustaceans: A review on factors influencing their toxicity, physiological consequences, and coping mechanisms. *Reviews Fisheries Science* 21, 1–21. <https://doi.org/10.1080/10641262.2012.753404>
- Ray, A.J.; Lotz, J.M. 2017. Comparing salinities of 10, 20, and 30‰ in intensive, commercial-scale biofloc shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production systems. *Aquaculture* 476, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.03.047>
- Reis, W. G., Wasielesky Jr, W., Abreu, P. C., Brandão, H., Krummenauer, D. 2019. Rearing of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in BFT system with different photoperiods: effects on the microbial community, water quality and zootechnical performance. *Aquaculture*, 508, 19-29 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.067>
- Strickland, J.D.H.; Parsons, T.R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fishery Research Board Canada, Ottawa, 310 pp.
- Serra F.P.; Gaona C.A.P.; Furtado P.S.; Poersch L.H.; Wasielesky Jr. W. 2015. Use of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture International* 23(6): 1325–1339. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9887-6>
- Samocha, T.M.; Prangnell, D.I.; Hanson, T.R.; Treece, G.D.; Morris, T.C.; Castro, L.F.; Staresinic, N. 2017. Design and operation of super-intensive biofloc-dominated systems for the production of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, World Aquaculture Society.
- Soaudy, M. R., Ghonimy, A., Greco, L. S. L., Chen, Z., Dyzenchauz, A., Li, J. 2023. Total suspended solids and their impact in a biofloc system: Current and potentially new management strategies. *Aquaculture*, 739524. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739524>
- Tahon, J.; Hoof, D.V.A.N.; Vinckier, C.; Witters, R.; Ley, M.D.E.; Lontie, R. 1988. The reaction of nitrite with the haemocyanin of *Astacus leptodactylus*. *Biochemical Journal* 249, 891–896. <https://doi.org/10.1042/bj2490891>

- UNESCO, 1983. Chemical methods for use in marine environmental monitoring. In: Manual and Guides 12. Intergovernmental Ocean Commission, Paris, France.
- Zemor, J. C.; Wasielesky, W.; Fóes, G. K.; Poersch, L. H. 2019. The use of clarifiers to remove and control the total suspended solids in large-scale ponds for production of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system. *Aquacultural Engineering*, 85, 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.03.001>
- Zacarias, S.; Schweitzer, R.; Arantes, R.; Galasso, H.; Pinheiro, I.; Espirito Santo, C.; Vinatea, L. 2019. Effect of different concentrations of potassium and magnesium on performance of *Litopenaeus vannamei* post larvae reared in low-salinity water and a biofloc system. *Journal of Applied Aquaculture*, 31(1), 85-96. <https://doi.org/10.1080/10454438.2018.1536009>
- Van Wyk, P.M. 1999. Receiving and acclimation of postlarvae. In: Van Wyk, P.M., Davis-Hodgkins, M., Laramore, C.R., Main, K.L., Mountain, J., Scarpa, J. (Ed.), *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee, pp. 115–124.
- Valentin, J.L.; Muelbert, J.H. 2015. Ambientes marinhos, in: Castello, J.P. Krug, L.C. (Ed.), *Introdução às ciências do mar*, Editora Textos, Pelotas, pp. 314-381.
- Wasielesky, W.J.; Atwood, H.; Stokes, A.; Browdy, C.L. 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 258, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>
- Wudtisin, I., Boyd, C.E., 2011. Possible potassium and magnesium limitations for shrimp survival and production in low-salinity, pond waters in Thailand. *J. World Aquac. Soc.* 42, 766–777.
- Wei, Y. F.; Wang, A. L.; Liao, S. A. 2020. Effect of different carbon sources on microbial community structure and composition of ex-situ biofloc formation. *Aquaculture*, 515, 734492. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734492>
- Wasielesky Jr, W.; Bezerra, A.; Poersch, L.; Hoffling, F. B.; Krummenauer, D. 2020. Effect of feeding frequency on the white shrimp *Litopenaeus vannamei* during the pilot-scale nursery phase of a superintensive culture in a biofloc system. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(5), 1175-1191. <https://doi.org/10.1111/jwas.12694>

Zar, J.H., 2010. *Biostatistical Analysis*, 5th ed, Prentice Hall. New Jersey