



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG**  
**INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA**



**CULTIVO MULTITRÓFICO INTEGRADO DE *Litopenaeus vannamei* E PEIXES  
PARA CONTROLE DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS EM SISTEMA DE  
BIOFLOCOS**

MARIANA HOLANDA PAES BARBOZA

Rio Grande, 2019

Universidade Federal do Rio Grande  
Instituto de Oceanografia

Aluna: Mariana Holanda Paes Barboza  
Orientador: Prof. Dr. Luis Henrique da Silva Poersch  
Co-orientador: Prof. Dr. Wilson Wasielesky Jr.

Tese apresentada como parte  
dos requisitos para obtenção do  
grau de Doutora em Aquicultura  
no Programa de Pós-Graduação  
em Aquicultura da Fundação  
Universidade Federal do Rio  
Grande

Rio grande, RS  
Fevereiro de 2019

## Ata de aprovação

## Índice

Agradecimentos .....	vi
Resumo geral .....	viii
Abstract.....	x
Introdução geral .....	12
Espécies de peixes que apresentam elevado potencial para compor o IMTA juntamente com <i>L. vannamei</i> .....	17
Por que o IMTA ainda não é uma realidade? .....	19
Objetivos.....	20
OBJETIVO GERAL .....	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
Referências Bibliográficas .....	21
Capítulo I .....	28
Resumo .....	29
Abstract.....	30
1. Introdução.....	31
2. Material e Métodos.....	33
3. Resultados.....	36
4. Discussão .....	39
5. Conclusões.....	42
6. Referências Bibliográficas.....	43
Capítulo II.....	48
Resumo .....	49
Abstract.....	50
1. Introdução.....	51
2. Material e Métodos.....	52
3. Resultados.....	56
4. Discussão .....	58
5. Conclusões.....	60
6. Referências bibliográficas .....	61

Capítulo III.....	65
Resumo .....	66
Abstract.....	67
1. Introdução.....	68
2. Materiais e métodos.....	70
3. Resultados.....	75
4. Discussão.....	90
5. Conclusões.....	96
6. Referências bibliográficas .....	96
Capítulo IV .....	103
Resumo .....	104
Abstract.....	105
1. Introdução.....	106
2. Material e Métodos.....	107
3. Resultados.....	111
4. Discussão.....	113
5. Referências .....	118
Conclusões gerais .....	123
Perspectivas .....	125

*Dedico esta tese à minha Mãe e ao meu  
irmão, meus pilares.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura pela oportunidade de cursar o doutorado e à CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço a banca pelas sugestões valiosas.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Luis Poersch, pelos 6 anos de trabalho juntos, pela paciência, ensinamentos, orientação. Ao Mineiro eu agradeço a amizade, parceria e conselhos, não só para minha vida acadêmica, ao longo desses anos. As conversas no sofá da tua sala eu levarei para sempre!

Agradeço ao meu coorientador Dr. Wilson Wasielesky, pelo seu trabalho na EMA, e por fazer dela o que ela é! Ao Mano, agradeço por toda contribuição, ensinamentos, e principalmente pela amizade, brincadeiras, conselhos e puxões de orelha. Você é admirável!

Ao Dr. Dariano Krummenauer, agradeço por toda ajuda e disposição sempre que eu batia na tua sala. Agradeço as contribuições para essa tese e a amizade ao longo desses anos.

Agradeço ao Dr. Ricardo Rodrigues por toda contribuição. Obrigada por se envolver nos trabalhos com tanta dedicação. Agradeço a todos os Professores da EMA, por sua dedicação e ensinamentos.

Aos órgãos de fomento CAPES, CNPq, FAPERGS e FINEP pela concessão das bolsas e pelos recursos concedidos que possibilitam a execução da ciência no Brasil.

Um especial agradecimento aos nossos apoiadores Guabi, Trevisan, AllAqua, Inve e Aquatec pelo suporte e apoio irrestrito em todas as etapas deste trabalho, que são indispensáveis para realização das nossas pesquisas.

Agradeço a todos os funcionários da EMA, em especial ao Sandro pelas análises de qualidade da água e longas conversas no laboratório.

À Equipe Tifo do rato, Dr. Alessandro Cardozo e Dr. Plinio Furtado, por terem construído não só a GH4 comigo, mas pela amizade que construímos ao longo desses anos. À Dra. Gabriele Lara, em especial agradeço pela amizade, ensinamentos e conselhos, mesmo de longe!

Aos meus grandes amigos, presentes da EMA que levarei pra vida: Aline e Helly. Vocês foram, além dos meus melhores parceiros de trabalho, muitas vezes a minha família aqui nesses mais de 3.000 km longe de casa.

Ao Gabriel Santana e à Débora Peirão agradeço à amizade, parceria de trabalho e a confiança que vocês depositaram em mim, para que seus TCCs fossem realizados dentro do tema desta tese. Vocês me ajudaram a construí-la!

A todos os amigos e colegas do Projeto camarão, do PPGAqui, a todos os estagiários que passaram pela EMA, vocês contribuíram, cada um com um pouquinho, para construção dessa tese!

Agradeço ao Lucas Maltez, pela parceria e apoio de anos, por ter me incentivado tanto a fazer o mestrado e o doutorado.

Agradeço à Família Cardone, Marília e Dona Shirlei, por me acolherem e fazer com que eu me sentisse em casa nesse último ano tão difícil do doutorado. Ao Francisco, obrigada por ser meu amigo, revisor dos meus textos, por traduzir os artigos, pela paciência e amor, tudo isso foi menos difícil com você do meu lado!

Por último agradeço à Vânia e ao Lucas, minha mãe e meu irmão. Agradeço pelo amor infinito, pela paciência, por entender que mesmo tendo camarão em Recife eu precisava estar tão longe de casa. Obrigada por serem meus pilares, eu não conseguiria sem vocês.



## 1 RESUMO GERAL

2 Apesar dos benefícios do sistema de bioflocos, a combinação de sistema fechado e  
3 elevadas densidades de estocagem resulta no acúmulo de sólidos suspensos totais ao  
4 longo do ciclo, consequência do incremento da biomassa microbiana, que aproveitam o  
5 carbono e nitrogenados provenientes de fertilizações orgânicas e excretas dos animais.  
6 Recomenda-se que para a produção de camarões, as concentrações de SST se mantenham  
7 entre 100 e 300 mg L<sup>-1</sup>, quando esse valor é atingido o excesso de sólidos deve ser  
8 removido do sistema, normalmente por uso de clarificadores, gerando efluentes com  
9 elevado potencial poluidor das águas naturais. O controle do excesso de sólidos suspensos  
10 totais (SST) da produção de camarões em sistema BFT pode ser feito pela integração de  
11 espécies que atuam em diferentes níveis tróficos é chamada de Aquacultura Multitrofica  
12 Integrada (IMTA) e baseia-se no conceito de que resíduos, como ração não consumida, fezes  
13 e excreção metabólica de uma espécie são úteis para alimentar outra espécie de um nível  
14 trófico diferente. O capítulo I e II desta tese teve como objetivo avaliar a funcionalidade  
15 do sistema multitrófico integrado, composto por *Mugil liza* e *Litopenaeus vannamei* e  
16 *Oreochromis niloticus* e *L. vannamei*, respectivamente, criados em sistema de bioflocos.  
17 O objetivo destes capítulos foi determinar a melhor disposição espacial para os animais  
18 para o melhor rendimento e aproveitamento do sistema. Foram realizados 2 experimentos  
19 distintos, um com tainhas e outro com tilápias, com três tratamentos cada, sendo um  
20 controle (monocultivo de camarão), um com peixes e camarões em um mesmo tanque  
21 (IMTA MT) outro com peixes e camarões em tanques separados em sistema de  
22 recirculação de água (IMTA DT). Nos 2 capítulos, tanto as tainhas quanto as tilápias  
23 prejudicaram o crescimento do camarão nos tratamentos IMTA MT, e os peixes  
24 consumiram os bioflocos microbianos, controlando o excesso de SST no tratamento  
25 IMTA DT, sem prejudicar o desempenho zootécnico dos camarões. No Capítulo III,  
26 foram testadas duas densidades de tilápia no cultivo integrado com *L. vannamei*, 100  
27 peixes m<sup>-3</sup> (IMTA 100) e 200 peixes m<sup>-3</sup> (IMTA 200), além do monocultivo de camarão  
28 (Mono cam= 400 camarões m<sup>-3</sup>) e monocultivo de peixes (Mono peixe=200 peixes m<sup>-3</sup>).  
29 Os resultados observados neste capítulo mostram que a presença dos peixes em  
30 densidades elevadas afetou a nitrificação no sistema BFT, possivelmente pelo consumo  
31 dos bioflocos microbianos pelos peixes e consequente redução do substrato das bactérias  
32 nitrificantes. O tratamento IMTA 100 foi o que apresentou menos tempo de clarificação,

33 comprovando a eficiência das tilápias na relação biomassa camarão:peixe mais adequada  
34 (1:1) em consumir a produtividade natural do sistema, controlando o excesso de SST do  
35 cultivo de *L. vannamei* em sistema BFT. O capítulo IV teve como objetivo avaliar o efeito  
36 do cultivo superintensivo integrado do camarão branco *L. vannamei* e tilápia em  
37 diferentes densidades cultivados em sistema BFT, em escala piloto, afim de promover a  
38 manutenção dos níveis de SST nos níveis adequados para o sistema por meio do consumo  
39 destes pelos peixes. O experimento durou 78 dias e contou com 2 tratamentos: T35 -  
40 cultivo integrado de camarão (550 ind m<sup>-3</sup>) e tilápia na densidade de 35 peixes m<sup>-3</sup> e T65  
41 - cultivo integrado de camarão (550 ind m<sup>-3</sup>) e tilápia na densidade de 65 peixes m<sup>-3</sup>. Cada  
42 tratamento contava com um sistema de recirculação contendo 2 tanques, um para cultivo  
43 de camarão (10m<sup>3</sup>) e outro de tilápias (4m<sup>3</sup>). A produtividade dos camarões nos dois  
44 tratamentos foi elevada (4,3 kg m<sup>-3</sup>), T35 foi mais eficiente em relação ao menor tempo  
45 de clarificação, porém o tratamento T65 apresentou maior produtividade. Conclui-se que  
46 é possível o cultivo integrado de *L. vannamei* e *M. liza* e *O. niloticus* em sistema BFT,  
47 sendo os peixes eficientes no consumo e manutenção dos níveis de SST do cultivo de *L.*  
48 *vannamei* em sistema BFT, contribuindo para tornar a produção de camarões marinhos  
49 mais economicamente rentável e ambientalmente amigável.

50 **ABSTRACT**

51 Despite the benefits of the biofloc system, the combination of closed system and high  
52 storage densities results in the accumulation of total suspended solids throughout the  
53 cycle, as a consequence of the increase of microbial biomass, that take advantage of the  
54 carbon and nitrogen fertilized from organic fertilizations and excreta of animals. It is  
55 recommended that, for shrimp production, SST concentrations should be maintained  
56 between 100 and 300 mg L<sup>-1</sup>, when this value is reached the excess solids must be  
57 removed from the system, usually by use of clarifiers, generating effluents with high  
58 polluting potential of natural waters. The control of the total suspended solids excess  
59 (TSS) of shrimp production in the BFT system can be done by the integration of species  
60 that act at different trophic levels is called Integrated Multitrophic Aquaculture (IMTA)  
61 and is based on the concept that residues, as unused rations, feces and metabolic excretion  
62 of one species are useful to feed another species of a different trophic level. Chapter I and  
63 II of this thesis aimed to evaluate the functionality of the integrated multitrophic system,  
64 composed by *Mugil. liza* and *Litopenaeus vannamei* and *Oreochromis. niloticus* and *L.*  
65 *vannamei*, respectively, reared in a biofloc system. The objective of these chapters was  
66 to determine the best spatial arrangement for the animals for the best yield and utilization  
67 of the system. Two different experiments were carried out, one with mullets and one with  
68 tilapia, with three treatments each, being a control (monoculture of shrimp) one with fish  
69 and shrimp in the same tank (IMTA MT) the other with fish and shrimp in separate tanks  
70 in water recirculation system (IMTA DT). In both chapters, both mullet and tilapia  
71 affected shrimp growth in IMTA MT treatments, and fish consumed microbial flakes,  
72 controlling the excess of SST in the IMTA DT treatment, without jeopardizing shrimp  
73 performance. In Chapter III, two densities of tilapia were tested in the integrated culture  
74 with *L. vannamei*, 100 m<sup>-3</sup> (IMTA 100) and 200 m<sup>-3</sup> fish (IMTA 200), in addition to  
75 shrimp monoculture (Mono cam = 400 shrimp m<sup>-3</sup>) and monoculture of fish (Mono fish  
76 = 200 fish m<sup>-3</sup>). The results observed in this chapter show that the presence of fish at high  
77 densities affected nitrification in the BFT system, possibly due to the consumption of  
78 microbial flakes by the fish and consequent reduction of the substrate of the nitrifying  
79 bacteria. The IMTA 100 treatment was the one that presented the least time of  
80 clarification, proving the efficiency of the tilapia in the relationship biomass shrimp:fish  
81 more adequate (1:1) to consume the natural productivity of the system, controlling the

82 excess of SST of the culture of *L. vannamei* in BFT system. The objective of this study  
83 was to evaluate the effect of the integrated superintensive cultivation of white shrimp *L.*  
84 *vannamei* and tilapia at different densities cultivated in a pilot scale BFT system in order  
85 to promote the maintenance of the levels of SST at the appropriate levels for the system  
86 of fish consumption. The experiment lasted 78 days and had two treatments: T35  
87 (integrated shrimp culture (550 shrimp m<sup>-3</sup>) and tilapia at the density of 35 m<sup>-3</sup> and T65  
88 fish (integrated shrimp culture (540 shrimp m<sup>-3</sup>) and tilapia (4m<sup>3</sup>) and shrimp (10m<sup>3</sup>), and  
89 one tilapia (4m<sup>3</sup>) was used in the treatment of the two treatments (4.3 kg m<sup>-3</sup>), T35 was  
90 more efficient in relation to the shorter clarification time, but the T65 treatment presented  
91 higher productivity. It was concluded that the integrated cultivation of *L. vannamei* and  
92 *M. liza* and *O. niloticus* in a system BFT, fish are efficient in consuming and maintaining  
93 SST levels of *L. vannamei* culture in BFT system, contributing to making sea shrimp  
94 production more economically profitable and environmentally friendly

## 95 INTRODUÇÃO GERAL

96 A aquicultura tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas, sendo uma das  
97 atividades com maior potencial para incrementar a produção de alimentos no mundo.  
98 Desde a década de 90, esta atividade ultrapassou a pesca, que desde os anos 80 já havia  
99 estabilizado sua produção em 80 milhões de toneladas/ano e atualmente está em declínio.

100 No ano de 2016, a indústria aquícola registrou uma produção total de 110,2 milhões  
101 de toneladas, gerando uma receita de 243.500 bilhões de dólares, e segundo a FAO  
102 (2018), um marco foi alcançado quando a contribuição do setor aquícola para o  
103 fornecimento de peixes para consumo humano superou a contribuição da pesca pela  
104 primeira vez.

105 Dentro dessa produção, o cultivo de camarões marinhos se destaca como sendo um  
106 dos setores mais produtivos, atingindo 4,1 milhões de toneladas no ano de 2016, tendo o  
107 Brasil alcançado o 11º lugar na produção mundial (FAO, 2018). Para alguns tipos de  
108 atividade aquícola, incluindo a criação de camarão, os potenciais danos aos recursos  
109 naturais são reflexo da destruição do habitat, geração de efluentes, introdução de espécies  
110 exóticas e invasões de organismos patogênicos e grande demanda de farinha e óleo de  
111 peixe (Boyd, 2003; Naylor et al., 2009). Para continuar a crescer, é necessário o  
112 desenvolvimento de tecnologias e práticas mais inovadoras, responsáveis, sustentáveis e  
113 rentáveis, que sejam ecologicamente eficientes, ambientalmente benignas, diversificadas  
114 em termos de produtos e socialmente benéficas (Buschmann et al., 2008; Neori et al.,  
115 2007a, 2007b).

116 A manutenção da sustentabilidade, não apenas do ponto de vista ambiental, mas  
117 também econômico, social e técnico, tornou-se uma questão fundamental, ampliada pela  
118 maior conscientização de consumidores cada vez mais exigentes quanto às condições de  
119 qualidade e sustentabilidade na produção (Granada et al., 2016).

120 Uma das preocupações da aquicultura deve ser o aumento da produtividade o aumento  
121 significativo do uso de recursos, como água e solo. Neste sentido, o sistema de bioflocos  
122 (*Biofloc Technology* - BFT) reduz em mais de 90% as trocas de água nos sistemas  
123 aquícolas, sem comprometer a qualidade da água, através do estímulo à produção de  
124 microrganismos que consomem os compostos nitrogenados e se transformam em  
125 biomassa proteica que serve de alimento para alguns organismos aquáticos (Avnimelech,  
126 1999; Wasielesky et al., 2006; Krummenauer et al., 2014). Em comparação com

127 tecnologias de tratamento de água convencionais utilizadas na aquicultura, o sistema BFT  
128 fornece uma alternativa mais econômica (diminuição das despesas de uso de água na  
129 ordem de 30%) e, adicionalmente, uma redução nos custos com alimentação. A eficiência  
130 de utilização da proteína é duas vezes mais alta em sistemas BFT, quando comparado aos  
131 sistemas de produção convencionais (Crab, 2010).

132 O princípio básico de um sistema de bioflocos é reciclar a amônia, principal composto  
133 nitrogenado excretado pelos peixes e camarões, o que se dá prioritariamente de duas  
134 maneiras: através do estímulo à comunidade heterotrófica, empregando uma alta relação  
135 C/N, geralmente variando de 15 a 20 gramas de carbono para cada grama de nitrogênio  
136 (Avnimelech, 1999) com a adição de alguma fonte de carbono orgânico (como o melão,  
137 por exemplo); ou ainda, mediante a transformação da amônia em um composto  
138 nitrogenado menos tóxico pela ação de microrganismos quimioautotróficos.

139 Essas bactérias assimilam a amônia (neste caso as bactérias do grupo AOB – amônia-  
140 oxidantes), transformando-a em nitrito, que ainda é um composto nitrogenado altamente  
141 tóxico para os animais cultivados; o nitrito então vai ser utilizado pelas bactérias (neste  
142 caso as bactérias do grupo NOB – nitrito-oxidantes), que transformarão este composto  
143 em nitrato, que por sua vez é um composto nitrogenado com baixa toxicidade para os  
144 animais cultivados (Ebeling et al., 2006; Souza et al., 2019).

145 A escolha da via de remoção de amônia nos tanques de cultivo vai depender de forma  
146 preponderante das características do sistema. Assim, tem-se que alguns sistemas de  
147 cultivos são dominados pela via heterotrófica, outros pela via quimioautotrófica e outros,  
148 ainda, pela mistura daquelas.

149 A grande vantagem das bactérias heterotróficas no sistema BFT é a rápida assimilação  
150 da amônia, e transformação deste composto em biomassa bacteriana. Porém esse estímulo  
151 é quase manente, visto que os animais mantêm excreção constantemente dentro do tanque  
152 de cultivo. Esta formação de biomassa bacteriana, que também compõe os sólidos  
153 suspensos totais (SST) do sistema BFT, tem um limite, sendo ideal manter os níveis destes  
154 sólidos de 100 a 300 mg L<sup>-1</sup> (Gaona et al., 2017) para o funcionamento adequado do  
155 sistema, pois a cada grama de nitrogênio, na forma de amônia, transformada em biomassa  
156 de bactérias heterotróficas, se consome 4,71g de oxigênio dissolvido, 3,57g de  
157 alcalinidade e 15,17g de carboidratos, para a formação de 8,07g de biomassa bacteriana  
158 e 9,65g de dióxido de carbono (Ebeling et al., 2006).

159 A nitrificação se torna um processo extremamente atrativo para o cultivo de  
160 organismos aquáticos em sistema BFT, pois para as bactérias AOB e NOB assimilarem a  
161 mesma quantidade de nitrogênio das bactérias heterotróficas elas utilizam 4,18 g de  
162 oxigênio dissolvido, 7,05 g de alcalinidade e formam 0,20 g de biomassa bacteriana e  
163 5,85 g de dióxido de carbono. É interessante observar que a demanda de oxigênio pelas  
164 bactérias heterotróficas é um pouco maior, o requisito de alcalinidade em torno da metade  
165 e a produção de biomassa microbiana é 40 vezes maior do que a biomassa gerada a partir  
166 do processo de nitrificação (Ebeling et al., 2006).

167 Considerando os sólidos suspensos totais, estes devem ser mantidos em concentrações  
168 inferiores a 500 mg L<sup>-1</sup>. afirmam que o ideal é manter os níveis de sólidos suspensos  
169 totais entre 100 e 300 mg L<sup>-1</sup> durante a formação de bioflocos para manutenção da  
170 qualidade da água, particularmente quando o processo de nitrificação não está bem  
171 estabelecido. Em elevadas concentrações (800 - 1000 mg L<sup>-1</sup>) os sólidos suspensos  
172 deterioram a qualidade da água, podendo ocasionar oclusão das brânquias aumentando a  
173 sensibilidade dos animais a hipóxia e afetando negativamente o crescimento e  
174 sobrevivência dos camarões (Hargreaves, 2006, 2013), sendo necessário maior custo  
175 energético para manter os níveis de oxigênio dissolvido em limites adequados para a  
176 espécie.

177 Deste modo, o excesso de SST deve ser removido do sistema, algo normalmente  
178 realizado por clarificadores (Gaona et al., 2011). Ainda segundo o autor, a clarificação é  
179 um processo prático, simples e eficaz e pode reduzir com sucesso a depleção de oxigênio  
180 e o acúmulo de sólidos em suspensão, melhorando assim a qualidade da água em cultivos  
181 superintensivos de *L. vannamei*. Esse excesso de sólidos suspensos totais do sistema BFT  
182 é um efluente com elevada carga poluidora, rica em nitrogênio e fósforo e quando não  
183 são descartadas de maneira adequada podem ser um problema ambiental. Pode-se dizer  
184 que se a água deste cultivo fosse descartada “in natura” seriam liberados  
185 aproximadamente 20 kg de N e 4,1 kg de P para cada tonelada de camarão da espécie *L.*  
186 *vannamei* produzido (Da Silva et al., 2013).

187 Como visto, o incremento dos sólidos suspensos totais ao longo de um ciclo de  
188 produção do camarão no sistema BFT é feito de maneira gradual e simultânea, fruto do  
189 metabolismo de bactérias heterotróficas e quimioautotróficas no sistema. Quando se fala

190 na biorremediação do efluente gerado pode-se citar duas principais rotas de tratamento  
191 desses compostos: *in situ* e *ex situ*.

192 Na biorremediação *ex situ*, o tratamento do efluente é realizado após o ciclo de  
193 produção. No sistema BFT, como não há troca de água, o efluente é gerado quando os  
194 valores de SST ultrapassam os valores ideais, havendo assim a necessidade de  
195 biorremediação desses compostos cada vez que um clarificador é esvaziado, muitas vezes  
196 ao longo de um ciclo de produção.

197 Como o próprio nome sugere, o tratamento *in situ* é realizado simultaneamente a  
198 formação dos sólidos suspensos totais nos cultivos, ou seja, no momento da geração dos  
199 sólidos suspensos totais. Por exemplo, este composto já é consumido pelo organismo  
200 biorremediador, não havendo assim, acúmulo de sólidos no sistema de cultivo,  
201 eliminando a necessidade de clarificação e conseqüente formação de efluente. Enxergar  
202 os resíduos da aquicultura como nutrientes e coprodutos úteis para o cocultivo de outras  
203 espécies é uma visão já conhecida como IMTA (*Integrated Multitrophic Aquaculture*) ou  
204 aquicultura multitrófica integrada (Chopin, 2018a).

205 A aquicultura integrada é descrita no Glossário de Aquicultura da Organização para  
206 a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas como: sistema de aquicultura  
207 partilhando recursos, água, alimentações, manejo, etc., com outras atividades comumente  
208 agrícolas ou agroindustriais. Com o IMTA, os aquicultores cultivam espécies de  
209 diferentes níveis tróficos, com funções complementares do ecossistema. Eles combinam  
210 espécies alimentadas (por exemplo, peixes e camarões) com espécies extrativas (por  
211 exemplo, algas, plantas aquáticas, moluscos e outros invertebrados e alguns peixes) para  
212 aproveitar as interações sinérgicas entre elas, enquanto a biomitigação opera dentro de  
213 uma abordagem de economia circular, onde os nutrientes não são mais considerados  
214 resíduos ou produtos de uma espécie, mas coprodutos para os outros (Chopin et al., 2008;  
215 Robinson et al., 2018).

216 O objetivo é fazer com que a aquicultura tenha mais sustentabilidade ambiental  
217 (serviços ecossistêmicos e tecnologias verdes para melhorar a saúde do ecossistema),  
218 estabilidade econômica (melhor produção, menores custos, diversificação de produtos,  
219 redução de riscos e criação de empregos nas comunidades costeiras e rurais) e  
220 aceitabilidade social (melhores práticas de gestão, incentivos ao crédito comercial de



221 nutrientes e valorização de produtos diferenciados e seguros) (Chopin et al., 2001;  
222 Martínez-Espiñeira et al., 2015; Ridler et al., 2007).

223 Chopin (2018a) cita que num workshop no Canadá, em 2004, criou o termo  
224 aquicultura integrada e Jack Taylor deu o nome de Aquicultura Multitrófica. Ao combinar  
225 os dois, nasceu então a Aquicultura Multitrófica Integrada, ou IMTA e nos anos seguintes  
226 foram mais de 1300 publicações referentes ao tema IMTA em todo o mundo.

227 A seleção de espécies, combinações e proporções serão altamente variáveis  
228 dependendo das condições locais e da biodiversidade. As espécies cocultivadas deveriam  
229 ser mais do que apenas biofiltros; eles também devem ser culturas de valor ou potencial  
230 econômico. Para conferir valor total ao IMTA, as espécies extrativistas precisarão ser  
231 valorizadas não apenas pela biomassa e comércio de alimentos, mas também pelos  
232 serviços ecossistêmicos e pelo aumento da confiança do consumidor e licença social /  
233 política para operar (novamente dentro de uma circular abordagem económica) (Chopin,  
234 2018b).

235 O conceito do IMTA é flexível, e muitas vezes confundido com policultivo.  
236 Multitrófico refere-se à incorporação de espécies de diferentes níveis tróficos ou  
237 nutricionais no mesmo sistema. Não é suficiente considerar várias espécies (como no  
238 policultivo); eles têm que estar em múltiplos níveis tróficos, baseados em suas funções  
239 complementares no ecossistema (Chopin, 2018b; Chopin et al., 2012).

240 As fazendas baseadas em monocultivos de *L. vannamei*, apesar da elevada  
241 produtividade, vêm enfrentando problemas sérios com doenças. Os surtos do vírus da  
242 mionecrose infecciosa (IMNV - *Infectious Myonecrosis Virus*) e do vírus da mancha  
243 branca (WSSV - *White Spot Syndrome Virus*) causam perdas significativas na produção  
244 da indústria de camarão marinho (Feijó et al., 2013; Muller et al., 2010) principalmente  
245 com vírus da mancha branca, que dizima produções em pouco tempo, gerando problemas  
246 econômicos para o produtor e danos ao meio ambiente. Com isso, se faz interessante e  
247 por vezes necessário a introdução de fazendas que trabalhem com o conceito de  
248 aquicultura integrada a fim de viabilizar a atividade de maneira sustentável.

249 Diversos estudos afirmam que, além de vantagens ambientais, a inclusão de algumas  
250 espécies ao monocultivo de *L. vannamei* podem melhorar a saúde do camarão. Alguns  
251 trabalhos citam o efeito antagônico da presença de tilápias cocultivadas juntamente com  
252 *L. vannamei*, no crescimento da bactéria bioluminescente *Vibrio* spp., causadora da

253 vibriose que acomete os cultivos intensivos e superintensivos de *L. vannamei* (Tendencia  
254 et al., 2004, 2006). Tem sido relatado que, no cultivo integrado com *L. vannamei*, algumas  
255 microalgas podem produzir antibióticos inibidores do crescimento de *Vibrio* spp (Bosma  
256 & Tendencia, 2014; Lio-Po et al., 2005). Além disso, alguns estudos relataram que  
257 extratos de algas ajudam a prevenir surtos de bactérias e vírus, como o da mancha branca,  
258 em camarões marinhos (Brito et al., 2014; Huynh et al., 2011; Immanuel et al., 2012).

259

## 260 **Espécies de peixes que apresentam elevado potencial para compor o IMTA** 261 **juntamente com *L. vannamei***

262

### 263 **Tainha**

264 As espécies de tainha são representantes de peixes da família Mugilidae (ordem  
265 Mugiliformes). Eles constituem um importante recurso de pesca comercial mais  
266 amplamente distribuída nas águas costeiras de todo o mundo, atendendo aos requisitos de  
267 proteína de subsistência dos povos da bacia do Pacífico, sudeste da Ásia, Índia, países do  
268 Mediterrâneo e do Leste Europeu, e em muitas partes da América Central e do Sul (Nash  
269 & Shehadeh, 1980). A população pesqueira do Sul (Argentina a São Paulo, Brasil)  
270 corresponde à distribuição do antigo *Mugil platanus* que agora é reconhecido como  
271 sinonímia de *M. liza* (Siccha-Ramirez et al., 2014) e está sob forte atividade pesqueira  
272 devido à sua importância econômica (>10.000 t ano<sup>-1</sup>). O sul do Brasil, especialmente a  
273 Lagoa dos Patos (32° S), é considerado o principal berçário e habitat de *M. liza* (Paes  
274 Vieira et al., 2008).

275 A Tainha (*Mugil liza*), é uma espécie promissora para integrar cultivos  
276 multitróficos: os aspectos tróficos das espécies da família Mugilidae revelam que seu  
277 hábito alimentar passa de planctófago, quando jovens, a iliófago na fase adulta,  
278 consumindo principalmente a matéria vegetal retirada do lodo ou areia (Oliveira &  
279 Soares, 1996). Esta característica lhes confere grande importância ecológica pela  
280 conversão da energia potencial dos detritos em energia aproveitável em outros níveis  
281 tróficos (Odum, 1968), podendo ser um peixe em potencial para consumir o excesso de  
282 sólidos do sistema BFT, agindo como um filtro para o sistema. Além disso, a tainha é  
283 uma espécie bastante promissora para a aquicultura (Magnotti et al., 2018), com um  
284 protocolo de reprodução induzida e larvicultura já estabelecido (Cerqueira et al., 2017).

285 Alguns estudos já relatam a produção de Mugilídeos em sistema BFT (Rocha et al., 2012;  
286 Da Silva et al., 2013) bem como a utilização destes peixes em produção integrada com  
287 outras espécies de peixes (Melo et al., 2016; Shpigel et al., 2016) ou mesmo com o  
288 camarão *L. vannamei* (Hoang et al., 2018) em gaiolas flutuantes (Ghosh et al., 2016).

289

## 290 **Tilápia**

291 O interesse pela cultura da tilápia foi testemunhado pela primeira vez nas  
292 representações egípcias de baixo-relevo de tanques construídos abastecidos com tilápia  
293 há 4.000 anos. Por ser eurihalina, podendo ser cultivada em águas doces, águas salobras  
294 e até mesmo águas hipersalinas, tornou ainda maior o interesse na criação da tilápia do  
295 Nilo, precedendo a moderna aquacultura intensiva que emprega rações peletizadas de alta  
296 proteína e mecanização da produção (Perschbacher, 2017).

297 As tilápias (*Oreochromis niloticus*) foram introduzidas no Brasil pela Secretaria da  
298 Agricultura do estado de São Paulo, em 1952, para conter a proliferação de algas e  
299 macrófitas aquáticas em represas e no ano de 2002 passou a ser a espécie de peixe mais  
300 cultivada no Brasil (Ribeiro et al., 2009) e atualmente é a terceira espécie mais produzida  
301 no mundo, depois das carpas (FAO, 2018).

302 A tilápia é uma forte candidata para compor o sistema multitrófico com camarões, por  
303 sua rusticidade, tolerância a ampla faixa de salinidade e também por apresentar melhores  
304 taxas de crescimento quando cultivada em ambientes ricos em produtividade natural, a  
305 tilápia tem sido considerada uma espécie de grande interesse para a produção em sistema  
306 de bioflocos (Azim & Little 2008; Ekasari et al., 2015), por ser uma espécie onívora,  
307 possui capacidade de consumir os bioflocos do sistema, que já vem sendo estudada no  
308 sistema integrado com camarões marinhos.

309 São inúmeras as vantagens de se fazer um cultivo integrado de camarões e tilápias.  
310 Tendencia et al. (2004) relataram que a presença de tilápia no cultivo integrado com camarão  
311 inibiu o crescimento de *Vibrio* sp. Segundo Yuan et al. (2010), a tilápia tem um efeito  
312 inibidor no desenvolvimento de certos microrganismos patogênicos, melhorando a saúde do  
313 sistema de produção, podendo melhorar a qualidade da água e até reduzir doenças como a  
314 mancha branca.

315 **Por que o IMTA ainda não é uma realidade?**

316 Os países asiáticos, que fornecem mais de dois terços da produção mundial de  
317 aquacultura, têm praticado durante séculos o IMTA através de “tentativa e erro” e  
318 experimentação. Curiosamente, as civilizações mais bem-sucedidas no desenvolvimento  
319 de sistemas integrados de aquicultura tratam os resíduos como recursos valiosos e há  
320 muito tempo integram a reciclagem de nutrientes em seus sistemas agrícolas (Chopin,  
321 2004; Troell et al. 2009; Chopin, 2018a).

322 Chopin et al. (2012) afirmam que para evitar mudanças pronunciadas nos processos  
323 costeiros, a solução para a aquicultura não é a diluição, mas a extração e conversão do  
324 excesso de nutrientes e energia em outras culturas comerciais produzidas pela aquicultura  
325 extrativa (por exemplo, algas e invertebrados alimentados com partículas em suspensão  
326 e depositadas).

327 A manutenção da sustentabilidade, não apenas do ponto de vista ambiental, mas  
328 também econômico, social e técnico, tornou-se uma questão fundamental, ampliada pela  
329 maior conscientização de consumidores cada vez mais exigentes quanto às condições de  
330 qualidade, questões ambientais e de produção.

331 A aquicultura multitrófica integrada (IMTA) tem o potencial de desempenhar esses  
332 objetivos cultivando espécies alimentadas (por exemplo, peixes alimentados com dietas  
333 comerciais sustentáveis) com espécies extrativas, que utilizam os resíduos inorgânicos  
334 (nutrientes) e orgânicos (resto de ração ou microalgas) para o seu crescimento.

335 Vários projetos IMTA, em diferentes partes do mundo, já acumularam dados  
336 suficientes para apoiar a prova de conceito no nível biológico. O próximo passo é a  
337 ampliação de sistemas mais experimentais para escala comercial, aliar tecnologias que  
338 sejam baseadas numa produção superintensiva, como é o caso dos cultivos em sistema  
339 BFT e documentar as vantagens econômicas e sociais do conceito, que será a chave para  
340 oferecer o IMTA aos produtores de camarão em monocultivo, como uma opção viável  
341 para sua produção. Além disso, Legislação/regulamentação governamental eficaz e  
342 incentivos para facilitar o desenvolvimento de práticas IMTA e a comercialização de  
343 produtos IMTA serão necessários(Chopin et al., 2008; Granada et al., 2018).

344 A hipótese desta tese é que os peixes consumirão o excesso de SST do cultivo de *L.*  
345 *vannamei*, exercendo o papel de extrativista orgânico no sistema integrado com camarões,  
346 permitindo a solução de um problema de geração de efluentes (excesso de sólidos

347 suspensos totais) do cultivo de camarões em sistema BFT, gerando ganhos econômicos  
348 para o produtor e ecológicos para o meio ambiente.

349

## 350 **OBJETIVOS**

### 351 **OBJETIVO GERAL**

352 Determinar viabilidade do sistema multitrófico integrado entre camarões  
353 (*Litopenaeus vannamei*) mantidos em sistema BFT e peixes (tainhas e tilápias) para  
354 manutenção dos níveis de sólidos suspensos totais (SST) em níveis ideais

### 355 **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 356 • Determinar a melhor conformação espacial para o cultivo integrado de *L.*  
357 *vannamei* e *M. liza* para melhor aproveitamento da tainha como extrativista  
358 orgânico no consumo de SST do sistema BFT (Capítulo I);
- 359 • Verificar se a introdução da tainha no cultivo integrado com *L. vannamei* terá  
360 algum efeito, benéfico ou não, no desempenho zootécnico do camarão (Capítulo  
361 I);
- 362 • Aferir se existe um ganho em biomassa no sistema integrado composto por tainhas  
363 e camarões (Capítulo I);
- 364 • Conferir se a tainha consome e mantém os SST em níveis adequados para o cultivo  
365 de *L. vannamei* sem a necessidade de clarificação e geração de efluente (Capítulo  
366 I);
- 367 • Determinar a melhor conformação espacial para o cultivo integrado de *L.*  
368 *vannamei* e *O. niloticus* para melhor aproveitamento da tilápia como extrativista  
369 orgânico no consumo de SST do sistema BFT (Capítulo II);
- 370 • Verificar se é possível o cultivo integrado de *L. vannamei* e *O. niloticus* em  
371 densidades superintensivas sem que o desempenho zootécnico do camarão seja  
372 diminuído quando comparado ao monocultivo (Capítulo III);
- 373 • Determinar qual a melhor densidade e relação biomassa camarão:peixe para que  
374 os níveis de SST sejam mantidos dentro da faixa requerida para melhor  
375 funcionamento do sistema, com a possibilidade de mínima ou nenhuma  
376 clarificação física (Capítulo III);
- 377 • Avaliar o desempenho zootécnico das espécies cultivadas, quando em cultivo  
378 integrado em sistema BFT (Capítulos I, II, III e IV);

- 379 • Avaliar a composição do floco microbiano quando inseridos diferentes espécies
- 380 de diferentes níveis tróficos no sistema BFT (Capítulo III);
- 381 • Verificar se há efeito da presença de tilápias em elevadas densidades no
- 382 desempenho das bactérias nitrificantes no sistema BFT (Capítulo III);
- 383 • Determinar se é viável o cultivo integrado de *L. vannamei* em densidades
- 384 superintensiva e escala piloto e *O. niloticus* em sistema BFT, até o camarão atingir
- 385 tamanho comercial (Capítulo IV).

386

### 387 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 388 Avnimelech, Y., 1999. Carbon r nitrogen ratio as a control element in aquaculture
- 389 systems. *Aquaculture* 227–235.
- 390 Azim, M.E., Little, D.C., 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water
- 391 quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis*
- 392 *niloticus*). *Aquaculture* 283, 29–35.
- 393 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
- 394 Bosma, R.H., Tendencia, E.A., 2014. Comparing Profits from Shrimp Aquaculture with
- 395 and without Green-Water Technology in the Philippines. *J. Appl. Aquac.* 26, 263–
- 396 270. <https://doi.org/10.1080/10454438.2014.936746>
- 397 Boyd, C.E., 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level.
- 398 *Aquaculture* 226, 101–112. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00471-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00471-X)
- 399 Brito, L.O., Arana, L.A.V., Soares, R.B., Severi, W., Miranda, R.H., da Silva, S.M.B.C.,
- 400 Coimbra, M.R.M., Gálvez, A.O., 2014. Water quality, phytoplankton composition
- 401 and growth of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in an integrated biofloc system with
- 402 *Gracilaria birdiae* (Greville) and *Gracilaria domingensis* (Kützing). *Aquac. Int.* 22,
- 403 1649–1664. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9771-9>
- 404 Buschmann, A.H., Hernández-González, M.C., Aranda, C., Chopin, T., Neori, A.,
- 405 Halling, C., Troell, M., 2008. Mariculture Waste Management. *Encycl. Ecol.* 2211–
- 406 2217. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00045-8>
- 407 Cerqueira, V.R., Vaz Avelar De Carvalho, C., Sanches, E.G., Passini, G., Baloi, M.,
- 408 Rodrigues, R.V., 2017. Manejo de reprodutores e controle da reprodução de peixes
- 409 marinhos da costa brasileira Broodstock management and control of reproduction in
- 410 marine fishes of the Brazilian coast 41, 94–102.

- 411 Chopin, T., 2018a. Why is Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) developing  
412 more easily, and at a larger scale, in China than in the western world? *Int. Aquafeed*  
413 5–7.
- 414 Chopin, T., 2018b. Aquaculture comes in many shapes and fashions.
- 415 Chopin, T., 2004. De fin ing the Ap pro pri ate Reg u la tory and Pol icy Frame work for  
416 the De vel op ment of In te grated Multi-Trophic Aquaculture Prac tices :  
417 Introduction to the Work shop and Po si tion ing of the Is sues.
- 418 Chopin, T., Buschmann, A.H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer,  
419 G.P., Zertuche-González, J.A., Yarish, C., Neefus, C., 2001. Integrating seaweeds  
420 into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. *J. Phycol.* 37, 975–  
421 986. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.01137.x>
- 422 Chopin, T., Cooper, J.A., Reid, G., Cross, S., Moore, C., 2012. Open-water integrated  
423 multi-trophic aquaculture: Environmental biomitigation and economic  
424 diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Rev. Aquac.* 4, 209–  
425 220. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01074.x>
- 426 Chopin, T., Robinson, S.M.C., Canada, O., Reid, G.K., Canada, O., Ridler, N., 2008.  
427 Integrated multi-trophic aquaculture - Acuicultura multi-trofica integrada.
- 428 Crab, R., 2010. Biofloc Technology: an Integrated System for the Removal of Nutrients  
429 and Simultaneous Production of Feed in Aquaculture.  
430 <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2014.2311073>
- 431 Da Silva, E.M., Sampaio, L.A., Martins, G.B., Romano, L.A., Tesser, M.B., 2013.  
432 Desempenho zootécnico e custos de alimentação de juvenis de tainha submetidos à  
433 restrição alimentar. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 48, 906–912.  
434 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800014>
- 435 Da Silva, K.R., Wasielesky, W., Abreu, P.C., 2013. Nitrogen and Phosphorus Dynamics  
436 in the Biofloc Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *J.*  
437 *World Aquac. Soc.* 44, 30–41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12009>
- 438 Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the  
439 stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of  
440 ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257, 346–358.  
441 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>
- 442 Ekasari, J., Rivandi, D.R., Firdausi, A.P., Surawidjaja, E.H., Zairin, M., Bossier, P., De

443 Schryver, P., 2015. Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis*  
444 *niloticus*) larvae performance. *Aquaculture* 441, 72–77.  
445 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.019>

446 FAO, 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Fao.

447 Feijó, R.G., Kamimura, M.T., Oliveira-Neto, J.M., Vila-Nova, C.M.V.M., Gomes,  
448 A.C.S., Coelho, M. das G.L., Vasconcelos, R.F., Gesteira, T.C. V., Marins, L.F.,  
449 Maggioni, R., 2013. Infectious myonecrosis virus and white spot syndrome virus co-  
450 infection in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farmed in Brazil.  
451 *Aquaculture* 380–383, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.11.026>

452 Gaona, C.A.P., de Almeida, M.S., Viau, V., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2017. Effect  
453 of different total suspended solids levels on a *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)  
454 BFT culture system during biofloc formation. *Aquac. Res.* 48, 1070–1079.  
455 <https://doi.org/10.1111/are.12949>

456 Gaona, C.A.P., Poersch, L.H., Krummenauer, D., Foes, G.K., Wasielesky, W.J., 2011.  
457 The Effect of Solids Removal on Water Quality, Growth and Survival of  
458 *Litopenaeus vannamei* in a Biofloc Technology Culture System. *Int. J. Recirc.*  
459 *Aquac.* 12, 54–73. <https://doi.org/10.21061/ijra.v12i1.1354>

460 Ghosh, S., Ranjan, R., Megarajan, S., Pattnaik, P., Dash, B., Edward, L., 2016. Mixed  
461 culture of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) and flathead  
462 grey mullet *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) in floating cages. *Indian J. Fish.* 63,  
463 63–69. <https://doi.org/10.21077/ijf.2016.63.3.56378-08>

464 Granada, L., Lopes, S., Novais, S.C., Lemos, M.F.L., 2018. Modelling integrated multi-  
465 trophic aquaculture: Optimizing a three trophic level system. *Aquaculture* 495, 90–  
466 97. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.029>

467 Granada, L., Sousa, N., Lopes, S., Lemos, M.F.L., 2016. Is integrated multitrophic  
468 aquaculture the solution to the sectors' major challenges? – a review. *Rev. Aquac.*  
469 8, 283–300. <https://doi.org/10.1111/raq.12093>

470 Hargreaves, J.A., 2013. Biofloc production systems for aquaculture. *SRAC Publ.* 1–12.

471 Hargreaves, J.A., 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquac.*  
472 *Eng.* 34, 344–363. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.009>

473 Hoang, M.N., Nguyen, P.N., Le, D.V.B., Nguyen, D. V., Bossier, P., 2018. Effects of  
474 stocking density of gray mullet *Mugil cephalus* on water quality, growth



475 performance, nutrient conversion rate, and microbial community structure in the  
476 white shrimp *Litopenaeus vannamei* integrated system. *Aquaculture* 496, 123–133.  
477 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.018>

478 Huynh, T.G., Yeh, S.T., Lin, Y.C., Shyu, J.F., Chen, L.L., Chen, J.C., 2011. White shrimp  
479 *Litopenaeus vannamei* immersed in seawater containing *Sargassum hemiphyllum*  
480 var. *chinense* powder and its extract showed increased immunity and resistance  
481 against *Vibrio alginolyticus* and white spot syndrome virus. *Fish Shellfish Immunol.*  
482 31, 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2011.05.014>

483 Immanuel, G., Sivagnanavelmurugan, M., Marudhupandi, T., Radhakrishnan, S.,  
484 Palavesam, A., 2012. The effect of fucoidan from brown seaweed *Sargassum wightii*  
485 on WSSV resistance and immune activity in shrimp *Penaeus monodon* (Fab). *Fish*  
486 *Shellfish Immunol.* 32, 551–564. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.01.003>

487 Krummenauer, D., Samocha, T., Poersch, L., Lara, G., Wasielesky, W., 2014. The reuse  
488 of water on the culture of pacific white shrimp, *litopenaeus vannamei*, in BFT  
489 system. *J. World Aquac. Soc.* 45, 3–14. <https://doi.org/10.1111/jwas.12093>

490 Lio-Po, G.D., Leaña, E.M., Peñaranda, M.M.D., Villa-Franco, A.U., Sombito, C.D.,  
491 Guanzon, N.G., 2005. Anti-luminous *Vibrio* factors associated with the “green  
492 water” grow-out culture of the tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 250, 1–  
493 7. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.01.029>

494 Magnotti, C., Figueroa, E., Farias, J.G., Merino, O., Valdebenito, I., Oliveira, R.P.S.,  
495 Cerqueira, V., 2018. Sperm characteristics of wild and captive lebranche mullet  
496 *Mugil liza* (Valenciennes, 1836), subjected to sperm activation in different pH and  
497 salinity conditions. *Anim. Reprod. Sci.* 192, 164–170.  
498 <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.03.004>

499 Martínez-Espiñeira, R., Chopin, T., Robinson, S., Noce, A., Knowler, D., Yip, W., 2015.  
500 Estimating the biomitigation benefits of Integrated Multi-Trophic Aquaculture: A  
501 contingent behavior analysis. *Aquaculture* 437, 182–194.  
502 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.034>

503 Melo, E.P., Oshiro, L.M.Y., Fugimura, M.M.S., da Costa, T.V., Flor, H. dos R., Sant’ana,  
504 N.F., 2016. Monocultivo e policultivo do camarão *Litopenaeus schmitti* e do parati  
505 *Mugil curema* em sistema de bioflocos e água clara. *Bol. do Inst. Pesca* 42, 532–  
506 547. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2016v42n3p532>

507 Muller, I.C., Andrade, T.P.D., Tang-Nelson, K.F.J., Marques, M.R.F., Lightner, D. V.,  
508 2010. Genotyping of White spot syndrome virus (WSSV) geographical isolates from  
509 Brazil and comparison to other isolates from the Americas. *Dis. Aquat. Organ.* 88,  
510 91–98. <https://doi.org/10.3354/dao02142>

511 Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A.P., Forster, I.,  
512 Gatlin, D.M., Goldburg, R.J., Hua, K., Nichols, P.D., 2009. Feeding aquaculture in  
513 an era of finite resources. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106, 15103–15110.  
514 <https://doi.org/10.1073/pnas.0905235106>

515 Neori, A., Troell, M., Chopin, T., Yarish, C., Critchley, A., 2007a. Environment : Science  
516 and Policy for Sustainable Development The Need for a Balanced Ecosystem  
517 Approach to Blue Revolution Aquaculture. *Environment* 49, 37–41.  
518 <https://doi.org/10.3200/ENVT.49.3.36-43>

519 Neori, A., Troell, M., Chopin, T., Yarish, C., Critchley, A., Buschmann, A.H., 2007b.  
520 The need for a balanced ecosystem approach to blue aquaculture. *Environment* 49,  
521 36–43. <https://doi.org/10.3200/ENVT.49.3.36-43>

522 Odum, W.E., 1968. the Ecological Significance of Fine Particle Selection By the Striped  
523 Mullet *Mugil Cephalus*. *Limnol. Oceanogr.* 13, 92–98.  
524 <https://doi.org/10.4319/lo.1968.13.1.0092>

525 Oliveira, I.R., Soares, L.S.H., 1996. Alimentação da tainha *Mugil platanus* Günther, 1880  
526 (Pisces: Mugilidae), da região estuarino-lagunas de Cananéia, São Paulo, Brasil.  
527 *Bol. Inst. Pesca* 23, 95–104

528 Paes Vieira, J., Garcia, A.M., Grimm, A.M., 2008. Evidences of El Niño effects on the  
529 mullet fishery of the Patos Lagoon estuary. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 51, 433–  
530 440. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132008000200025>

531 Perschbacher, P.W., 2017. Historical use of tilapia in intensive co-culture. *Tilapia in*  
532 *Intensive Co-culture* 36–49. <https://doi.org/10.1002/9781118970652.ch3>

533 Ribeiro, L.G., Garcia, S., Schwingel, P.R., Amaral Júnior, H., Mello, G.L., 2009.  
534 Dsenvolvimento da tilápia *GIFT Oreochromis niloticus* em diferentes densidades  
535 de cultivo no litoral norte do estado de Santa Catarina. *Epagri-*  
536 *producao\_tecnico\_cientifica* 20–22.

537 Ridler, N., Wowchuk, M., Robinson, B., Barrington, K., Chopin, T., Robinson, S., Page,  
538 F., Reid, G., Szemerda, M., Sewuster, J., Boyne-Travis, S., 2007. Integrated multi-

539 trophic aquaculture (IMTA): A potential strategic choice for farmers. *Aquac. Econ.*  
540 *Manag.* 11, 99–110. <https://doi.org/10.1080/13657300701202767>

541 Robinson, S.M.C., Broch, O.J., Reid, G.K., Dumas, A., Chopin, T.B.R., 2018.  
542 Performance measures and models for open-water integrated multi-trophic  
543 aquaculture 1–29. <https://doi.org/10.1111/raq.12304>

544 Rocha, A.F. da, Abreu, P.C., Wasielesky, W., Tesser, M.B., 2012. Avaliação Da  
545 Formação De Bioflocos Na Criação De Juvenis De Tainha Mugil Cf. Hospes Sem  
546 Renovação De Água. *Atlântica* 34, 63–74. <https://doi.org/10.5088/atl.2012.34.1.63>

547 Nash, C.E., Shehadeh, Z.H., 1980. Review of breeding and propagation techniques for  
548 grey mullet, *Mugil cephalus* L. *ICLARM Studies and Reviews* 3.87 p. International  
549 cent.erm for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.

550 Shpigel, M., Ari, T. Ben, Shauli, L., Odintsov, V., Ben-Ezra, D., 2016. Nutrient recovery  
551 and sludge management in seabream and grey mullet co-culture in Integrated Multi-  
552 Trophic Aquaculture (IMTA). *Aquaculture* 464, 316–322.  
553 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.07.007>

554 Siccha-Ramirez, R., Menezes, N.A., Nirchio, M., Foresti, F., Oliveira, C., 2014.  
555 Molecular identification of mullet species of the Atlantic South Caribbean and South  
556 America and the phylogeographic analysis of *Mugil liza*. *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 22,  
557 86–96. <https://doi.org/10.1080/10641262.2013.833583>

558 Souza, J., Cardozo, A., Wasielesky, W., Abreu, P.C., 2018. Does the biofloc size matter  
559 to the nitrification process in Biofloc Technology (BFT) systems? *Aquaculture* 500,  
560 443–450. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.10.051>

561 Tendencia, E.A., Dela Peña, M.R., Choresca, C.H., 2006. Effect of shrimp biomass and  
562 feeding on the anti-*Vibrio harveyi* activity of *Tilapia* sp. in a simulated shrimp-  
563 *tilapia* polyculture system. *Aquaculture* 253, 154–162.  
564 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.004>

565 Tendencia, E.A., Dela Peña, M.R., Fermin, A.C., Lio-Po, G., Choresca, C.H., Inui, Y.,  
566 2004. Antibacterial activity of *tilapia* *Tilapia hornorum* against *Vibrio harveyi*.  
567 *Aquaculture* 232, 145–152. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00531-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00531-3)

568 Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H., Fang, J.G., 2009.  
569 Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic  
570 aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture* 297, 1–9.

571 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.010>  
572 Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006. Effect of natural  
573 production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive  
574 culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396–403.  
575 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>  
576 Yuan, D., Yi, Y., Yakupitiyage, A., Fitzimmons, K., Diana, J.S., 2010. Effects of addition  
577 of red tilapia (*Oreochromis* spp.) at different densities and sizes on production, water  
578 quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus*  
579 *vannamei*) in cement tanks. *Aquaculture* 298, 226–238.  
580 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.011>  
581

## CAPÍTULO I

582

583

584

585 **Cultivo integrado do camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* e da tainha**  
586 ***Mugil liza* em sistema BFT: efeito da disposição espacial da produção no**  
587 **desempenho zootécnico do camarão, manutenção da qualidade da água e níveis de**  
588 **sólidos suspensos totais**

589 Mariana Holanda, Gabriel Santana, Plinio Furtado, Ricardo Vieira Rodrigues, Luis André  
590 Sampaio, Wilson Wasielesky e Luis Henrique Poersch\*.

591 Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Instituto de Oceanografia, Universidade  
592 Federal do Rio Grande - FURG; Rua do Hotel, n°2, Cassino, Rio Grande, RS, Brazil.  
593 CEP: 96210-030

594 \*Corresponding author: Rua do Hotel, n°2, Cassino, Rio Grande, RS, Brazil. CEP:96210-  
595 030 (E-mail: lpoersch@mikrus.com.br).

596

597

598

599

600

601 *Capítulo submetido à revista Aquaculture*

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613 **Resumo**

614 O sistema de cultivo em bioflocos (BFT) permite a produção de camarões *Litopenaeus*  
615 *vannamei* possam ser cultivados em maiores densidades de estocagem com a utilização  
616 de menores volumes de água e em menor área, onde a produtividade natural do sistema  
617 serve como suplementação alimentar aos animais. No sistema BFT as concentrações dos  
618 sólidos suspensos totais (SST) tendem a acumular durante o ciclo de produção podendo  
619 trazer malefícios aos parâmetros de qualidade de água e ao desempenho dos animais  
620 produzidos. O presente estudo teve como objetivo promover o controle dos SST em um  
621 sistema BFT através do consumo desses sólidos por tainhas integradas ao cultivo de  
622 camarões (sistema multitrófico). Testou-se o desempenho zootécnico de *L. vannamei* de  
623 três formas distintas: Monocultivo de camarões, IMTA MT (cultivo integrado de camarão  
624 e tainha no mesmo tanque) e IMTA DT (cultivo integrado de camarão e tainha em  
625 diferentes tanques), para avaliar o consumo de sólidos pelos peixes e sua influência sobre  
626 desempenho dos camarões. A sobrevivência nos tratamentos IMTA MT e IMTA DT  
627 foram superiores ao tratamento Monocultivo. No tratamento IMTA MT as tainhas  
628 influenciaram negativamente no crescimento do *L. vannamei*. O tratamento IMTA DT foi  
629 o mais eficiente na redução dos SST do sistema, influenciou positivamente no  
630 crescimento *L. vannamei* diminuindo sua conversão alimentar com um incremento na  
631 produção de biomassa de camarões produzido. Conclui-se que tainha *Mugil liza* pode ser  
632 utilizada para controlar as concentrações de SST da produção de camarões em sistema  
633 BFT e o modelo de sistema multitrófico em tanques separados intensificou o consumo de  
634 bioflocos pelas tainhas, melhorando a qualidade de água e o desempenho zootécnico do  
635 *L. vannamei* quando comparado ao monocultivo de camarões.

636 **Palavras chave:** Sólidos suspensos, bioflocos, sistema multitrófico, sustentabilidade

637 **Abstract**

638 The biofloc culture system (BFT) allows the production of *Litopenaeus vannamei*  
639 shrimps at higher storage densities with the use of smaller water volume and in a smaller  
640 area, where the natural productivity of the system serves as animal feed supplementation.  
641 In the BFT system, the concentration of total suspended solids (TSS) tends to accumulate  
642 during the production cycle, which can jeopardize water quality and performance of the  
643 animals produced. The present study aimed to promote the control of TSS in a BFT  
644 system through the consumption of these solids by mullets integrated to the shrimp  
645 culture (multitrophic system). In order to evaluate the consumption of solids by the fish  
646 and its influence on shrimp performance, the zootechnical performance of *L. vannamei*  
647 was tested in three different ways: shrimp Monoculture (Monocultivo), IMTA MT  
648 (integrated shrimp and mullet culture in the same tank) and IMTA DT (integrated shrimp  
649 and mullet culture in different tanks). Survival in IMTA MT and IMTA DT treatments  
650 was higher than in the Monocultivo treatment. In the IMTA MT treatment, the mullets  
651 influenced negatively the growth of *L. vanamei*. The IMTA DT treatment was the most  
652 efficient in reducing the SST of the system and has positively influenced *L. vannamei*  
653 growth, decreasing its feed conversion with an increase in the production of shrimp  
654 biomass. The results show that *Mugil liza* mullet can be used to control the SST  
655 concentrations of shrimp production in the BFT system and that the Multitrophic system  
656 model in different tanks adopted intensified the use of bioflocs by the mullets, improving  
657 water quality and the zootechnical performance of *L. vannamei* when compared to shrimp  
658 Monocultivo.

659 **Keywords:** Suspended solids, biofloc, sustainability, multitrophic system

## 660 **1. Introdução**

661 A indústria da aquicultura tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas (FAO,  
662 2018), apresentando grande potencial para suprir a demanda humana por proteína.  
663 Entretanto, esta atividade pode causar significativos impactos sobre o meio ambiente e os  
664 recursos naturais levando a questionamentos sobre a sua sustentabilidade (Naylor et al.,  
665 2009; Olesen et al., 2011; Thu & Lebailly, 2017). No entanto, os impactos ambientais  
666 causados pela aquicultura dependem diretamente do modelo de produção adotado  
667 (Henry-Silva & Camargo, 2006).

668 Dessa forma, o cultivo em sistema de bioflocos (Biofloc Technology System – BFT)  
669 é uma tecnologia que vem sendo adotada por diversos produtores com o objetivo de  
670 aumentar os índices de produção, juntamente com uma maior preocupação com o meio  
671 ambiente (Wasielesky et al., 2006). Essa modalidade de produção preza pela mínima ou  
672 nenhuma renovação de água com a formação de uma comunidade microbiana que  
673 contribui para a manutenção da boa qualidade de água dentro dos tanques, servindo de  
674 alimento suplementar para os animais cultivados (Lara et al., 2017a). Assim, há redução  
675 da emissão de efluentes e, por ser um sistema fechado, redução dos riscos de  
676 contaminação e disseminação de doenças (Ekasari et al., 2014). A formação da  
677 comunidade microbiana dá-se pela alteração da relação carbono:nitrogênio da água  
678 (elevação para 15:1), intensa e constante aeração, bem como pelos nutrientes  
679 provenientes das sobras de ração e excretas dos animais (Ebeling et al., 2006). De tal  
680 modo, a matéria orgânica e os nutrientes que seriam eliminados para o meio ambiente em  
681 cultivos convencionais através de renovações de água, permanecem no sistema e são  
682 reciclados pelos microrganismos (Krummenauer et al., 2014).

683 Apesar dos benefícios do sistema de bioflocos, a pouca ou nula renovação de água  
684 resulta no acúmulo de sólidos suspensos totais (SST) e nutrientes (especialmente nitrato  
685 e fosfato) que podem ser prejudiciais aos animais cultivados quando atingem níveis muito  
686 elevados (Ray et al., 2010; Gaona et al., 2011). O incremento constante dos SST no  
687 sistema BFT é consequência do crescimento da biomassa microbiana, que aproveitam o  
688 carbono e nitrogenados provenientes de fertilizações orgânicas e excretas dos animais.  
689 Recomenda-se que para a produção de camarões, as concentrações de SST se mantenham  
690 entre 100 e 300 mg L<sup>-1</sup> (Gaona et al., 2017), onde geralmente são utilizados os  
691 clarificadores mecânicos, que funcionam como decantadores de partículas (Gaona et al.,



692 2011) e quando não são descartadas de maneira adequada podem se tornar um problema  
693 ambiental. O excesso de material em suspensão deteriora a qualidade da água, pode  
694 ocasionar oclusão das brânquias aumentando a sensibilidade dos animais a hipóxia e  
695 afetando negativamente no crescimento dos camarões, sendo necessário maior custo  
696 energético para manter os níveis de oxigênio dissolvido em limites adequados para a  
697 espécie (Avnimelech, 1999; Gaona et al., 2017).

698 Outra possível forma de controlar os SST é a adoção de sistemas multitróficos  
699 (Integrated Multitrophic Aquaculture - IMTA), já que integram várias espécies de  
700 organismos que se alimentam em diferentes níveis tróficos. A maioria dos sistemas IMTA  
701 combinam duas ou mais espécies que podem utilizar os resíduos sólidos ou dissolvidos  
702 presentes no sistema de produção (Chopin et al., 2001; Martínez-Espiñeira et al., 2015;  
703 Poli et al., 2019; Troell et al., 2009b). Em geral incluem espécies alimentadas, como  
704 peixes ou camarões, espécies extrativistas inorgânicas, tais como macro ou microalgas e  
705 espécies extrativistas orgânicas, como moluscos filtradores e peixes onívoros (David et  
706 al., 2017; Ekasari et al., 2014a; Granada et al., 2016; Neori et al., 2007b). Com a  
707 composição apropriada das espécies que serão cocultivadas, a adoção do sistema IMTA  
708 permite reduzir o excesso de nutrientes e matéria orgânica geradas no cultivo. Entre seus  
709 benefícios pode-se citar: a biorremediação do cultivo e a possibilidade de uma atividade  
710 mais lucrativa pela produção de múltiplas espécies.

711 A Tainha *Mugil liza* é uma espécie promissora para integrar cultivos multitróficos: os  
712 aspectos tróficos das espécies da família Mugilidae revelam que seu hábito alimentar  
713 passa de planctófago, quando jovens, a iliófago na fase adulta, consumindo  
714 principalmente a matéria vegetal retirada do lodo ou areia (Oliveira & Soares, 1996). Esta  
715 característica lhes confere grande importância ecológica pela conversão da energia  
716 potencial dos detritos em energia aproveitável em outros níveis tróficos, podendo ser um  
717 peixe em potencial para consumir o excesso de sólidos do sistema BFT, agindo como um  
718 biofiltro para o sistema. Além disso, a tainha é uma espécie bastante promissora para a  
719 aquicultura (Magnotti et al., 2018), com um protocolo de reprodução induzida e  
720 larvicultura já estabelecido (Cerqueira et al., 2017). Alguns estudos já relatam a produção  
721 de Mugilideos em sistema BFT (Rocha et al., 2012; Da Silva et al., 2013; Khalil et al.,  
722 2016) bem como a utilização destes peixes em produção integrada com outras espécies  
723 de peixes (Melo et al., 2016; Shpigel et al., 2016) ou mesmo com o camarão *L. vannamei*

724 (Hoang et al., 2018) em gaiolas flutuantes (Ghosh et al., 2016). Portanto, o presente  
725 estudo teve como objetivo avaliar a funcionalidade do sistema multitrófico integrado,  
726 composto por *M. liza* e *L. vannamei* criados em sistema de bioflocos. Além disso buscou-  
727 se determinar a melhor disposição espacial para os animais para o melhor rendimento e  
728 aproveitamento do sistema.

729

## 730 **2. Material e Métodos**

### 731 **2.1. Localização do estudo e procedência dos animais**

732 O estudo foi conduzido na Estação Marinha de Aquicultura (EMA), Instituto de  
733 Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), localizada na praia do  
734 Cassino, Rio Grande, RS, Sul do Brasil (32°110S; 52°100W), durante 31 dias. Os juvenis  
735 de *M. liza* utilizados para a realização dos experimentos foram adquiridos do Laboratório  
736 de Piscicultura Marinha da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizado  
737 em Florianópolis, Santa Catarina, Brasil e foram produzidos de acordo com o protocolo  
738 descrito em Cerqueira et al. (2017). Previamente a realização do experimento os juvenis  
739  $8,8 \pm 2,1\text{g}$  foram aclimatados em bioflocos durante duas semanas.

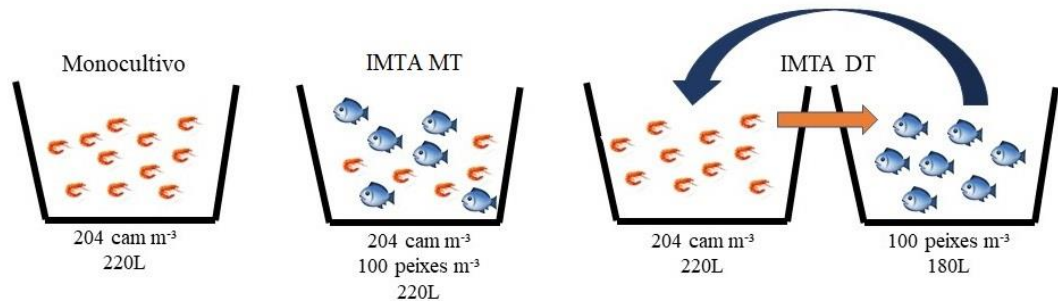
740 Os juvenis de *L. vannamei* de  $1,2 \pm 0,52\text{g}$  foram provenientes de berçário e engorda  
741 em sistema BFT, em estufas, no Laboratório de Carcinocultura (EMA). O experimento  
742 foi aprovado pelo Comitê de Ética e Bem-estar Animal da FURG (Número do processo  
743 23116.005895/2016-42).

744

### 745 **2.2. Sistemas e delineamento experimental**

746 O delineamento experimental contou com três tratamentos em triplicata (3x3):  
747 Monocultura – monocultivo de *L. vannamei* em uma densidade de  $204 \text{ ind m}^{-3}$ ; IMTA MT  
748 (Cultivo multitrófico integrado no mesmo tanque) cultivo integrado de peixes ( $100 \text{ ind}$   
749  $\text{m}^{-3}$ ) e camarões ( $204 \text{ ind m}^{-3}$ ) em um mesmo tanque; IMTA – DT (Cultivo multitrófico  
750 integrado em diferentes tanques): cultivo integrado peixes ( $100 \text{ m}^{-3}$ ) e camarões ( $204 \text{ m}^{-3}$ )  
751  $^3$ ) em tanques separados. Neste tratamento, a água de cada tanque com peixes foi  
752 constantemente circulada para tanques contendo camarões por com o auxílio de uma  
753 bomba (Sarlo Better®, SB 1000C, Brasil, 13W e vazão de  $720\text{L h}^{-1}$ ) e retornava para os  
754 tanques dos peixes por gravidade. Foram utilizados 12 tanques (área de fundo de  $0,36 \text{ m}^2$   
755 e 220L) e a oxigenação da coluna d'água foi feita com a utilização de duas pedras

756 porosas/tanque para auxiliar a suspensão dos bioflocos. A estabilidade da temperatura da  
757 água foi garantida pelo uso de aquecedores com termostatos (Stealth, ETP250, USA,  
758 250W).



759

760 Figura 1. Desenho esquemático da disposição dos tratamentos na sala experimental

### 761 2.3. Manejo dos animais

762 As tainhas e os camarões utilizados foram previamente aclimatados aos bioflocos,  
763 utilizando 20% de inóculo de bioflocos maduros, provenientes de um cultivo de *L.*  
764 *vannamei* que já apresentava o processo de nitrificação bem estabelecido, com presença  
765 de nitrato. Os animais foram alimentados duas vezes ao dia (9:00 e 17:00 horas), a  
766 alimentação dos camarões foi realizada seguindo a metodologia descrita por Jory et al.  
767 (2001), já as tainhas foram subalimentadas com 1% da biomassa do tanque por todo o  
768 período experimental, para a estimulação do consumo dos bioflocos pelos peixes.

769 Na primeira semana a alimentação de todos os animais foi realizada com a utilização  
770 da ração comercial Potimar 40J – Guabi, e a partir do começo da segunda semana até o  
771 fim do experimento, se utilizou a ração Potimar 38 Active – Guabi (pellet 1,6mm). O  
772 arraçoamento dos camarões foi realizado em bandejas e das tainhas a lanço e no  
773 tratamento IMTA MT os peixes foram alimentados antes dos camarões na tentativa de  
774 minimizar o consumo da ração dos camarões pelos peixes.

775

### 776 2.4. Análises de qualidade da água

777 O oxigênio dissolvido, temperatura e pH foram monitorados 2 vezes ao dia  
778 previamente a alimentação dos organismos. A temperatura e o oxigênio dissolvido foram  
779 mensurados com a utilização de uma sonda multiparâmetros (YSI, modelo Pro-20, EUA)  
780 e o pH com o auxílio de um pHmetro de bancada (Mettler Toledo, FEP20, Brasil). A

781 salinidade foi verificada com o auxílio de um refratômetro óptico (ATC, RTP-20ATC,  
782 Brasil).

783 O nitrogênio amoniacal total e nitrito foram mensurados diariamente conforme a  
784 metodologia descrita por UNESCO (1983) e Bendschneider e Robinson (1952),  
785 respectivamente. A turbidez e os sólidos suspensos totais (SST) foram analisados em  
786 intervalos de 4 dias, a turbidez foi mensurada pela leitura em um turbidímetro portátil  
787 (Hach®, 2100P, Portugal). Os SST foram medidos de acordo com a metodologia descrita  
788 por Strickland e Parsons (1972). A alcalinidade foi verificada 2 vezes por semana  
789 seguindo a metodologia proposta por APHA (1998). Nitrato e ostofosfato foram  
790 mensurados 1 vez por semana, seguindo metodologias de Aminot & Chaussepied (1983).  
791 As correções de pH e alcalinidade foram realizadas com a utilização de hidróxido de  
792 cálcio [Ca(OH)<sub>2</sub>] (Furtado et al., 2014). As fertilizações orgânicas com melaço ocorreram  
793 sempre que as concentrações de nitrogênio amoniacal total (NAT) ultrapassaram 1mg L<sup>-1</sup>,  
794 de acordo com Avnimelech (1999) e Ebeling et al. (2006).

795

## 796 2.5.Desempenho zootécnico

797 O crescimento dos camarões foi acompanhado com a realização de biometrias  
798 semanais e dos peixes biometrias quinzenais utilizando uma balança digital com precisão  
799 de 0,01g (Marte Científica, AD 2000, Brasil). Para a realização das biometrias as tainhas  
800 foram anestesiadas com 50 mg L<sup>-1</sup> benzocaína (Braz et al., 2017) e repostas às respectivas  
801 unidades experimentais. Ao final do período experimental, todos os animais vivos foram  
802 contados para a determinação da sobrevivência e crescimento. Os parâmetros analisados  
803 foram: Os parâmetros analisados foram: sobrevivência (%) = (número final de animais /  
804 número inicial de animais) ×100; Peso médio final (g):  $\sum$  peso final dos animais vivos (g)  
805 / n° total de animais; Biomassa final (g):  $\sum$  peso final de todos animais vivos (g); Taxa de  
806 conversão alimentar aparente (FCR) = ração ofertada (g)/(biomassa final (g) - biomassa  
807 inicial (g));Produtividade (kg.m<sup>-3</sup>): [(biomassa final (kg) – biomassa inicial (kg)) x 1000]  
808 / volume útil do tanque (L); Taxa de crescimento específico (g semana<sup>-1</sup>): ganho de peso  
809 (g) / número de semanas.

810 Para os tratamentos IMTA DT e IMTA MT, foram calculados alguns parâmetros  
811 levando em consideração o sistema composto por camarões e peixes. Os parâmetros  
812 analisados foram:

813 1. Produtividade do sistema ( $\text{Kg m}^{-3}$ ) =  $(\text{Bfc} + \text{Bfp}) - (\text{Bic} + \text{Bip}) / \text{Volume útil total (m}^3\text{)}$ ,

814 onde Bfc = biomassa final dos camarões;

815 Bfp = Biomassa final dos peixes;

816 Bic = Biomassa inicial dos camarões;

817 Bip = Biomassa inicial dos peixes;

818 2. A taxa de conversão alimentar (FCR) =  $(\text{Rfc} + \text{Rfp}) / (\text{Bfc} + \text{Bfp}) - (\text{Bic} - \text{Bip})$ ,

819 onde Rfc = Ração ofertada para os camarões

820 Rfp = Ração ofertada para os peixes

821 3. Biomassa final total (g) = biomassa final dos camarões + biomassa final dos peixes.

822

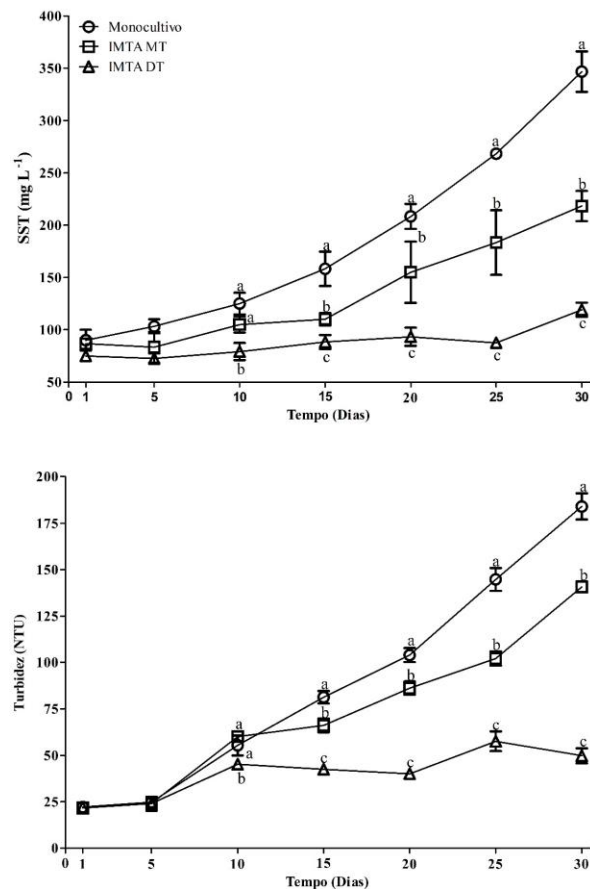
## 823 2.6. Análises estatísticas

824 Os parâmetros de qualidade da água e os desempenhos zootécnicos nos diferentes  
825 tratamentos foram submetidos à análise de variância de uma via (ANOVA- One Way),  
826 levando-se em consideração os pressupostos de homocedasticidade e normalidade  
827 (Levene e Kolmogorov-Smirnov). O teste de Tukey foi aplicado quando diferenças  
828 significativas foram detectadas ( $p < 0,05$ ), os dados de sobrevivência foram transformados  
829 (arcoseno x 0,5) antes da análise (Zar, 2010).

830

## 831 3. Resultados

832 A temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, salinidade, amônia total e  
833 ortofosfato não apresentaram diferenças ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos. Por outro lado, as  
834 concentrações de nitrito foram significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) nos tratamentos IMTA  
835 MT e IMTA DT em comparação ao tratamento Monocultivo. A concentração de nitrato foi  
836 maior ( $p < 0,05$ ) no tratamento com IMTA MT em comparação com o tratamento com  
837 Monocultivo e IMTA DT (Tabela 1). Os valores de SST e turbidez foram maiores no  
838 tratamento, seguido pelo tratamento IMTA MT e IMTA DT, com grande diferença ( $p < 0,05$ )  
839 entre os tratamentos (Figura 1).



840

841 Figura 1. Concentrações médias de SST ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e turbidez (NTU) nos diferentes  
 842 tratamentos ao longo dos 31 dias de período experimental, nos tratamentos Monocultivo  
 843 (Monocultivo de *L. vannamei*), IMTA MT (Cultivo integrado de *L. vannamei* e *M. liza* no  
 844 mesmo tanque) e IMTA DT (Cultivo integrado de *L. vannamei* e *M. liza* em tanques  
 845 diferentes). Os dados estão apresentados em média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ).

846 A sobrevivência dos camarões e peixes não apresentaram diferenças significativas  
 847 ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos. O peso médio final dos camarões, o GP, o TCE e a biomassa  
 848 final dos camarões foram menores no tratamento IMTA MT quando comparado aos  
 849 tratamentos Monocultivo e IMTA DT, porém a biomassa final dos camarões foi  
 850 significativamente maior ( $p<0,05$ ) no tratamento IMTA DT quando comparado ao  
 851 tratamento Monocultivo e IMTA MT. A taxa de conversão alimentar (FCR) dos camarões  
 852 foi significativamente menor no tratamento IMTA DT quando comparado ao Monocultivo  
 853 ( $p<0,05$ ), que apresentou maior produtividade ( $p<0,05$ ), quando comparado aos outros dois  
 854 tratamentos ( $p>0,05$ ). O peso médio final, FCR, Taxa de crescimento específico, biomassa

855 final e produtividade dos peixes do tratamento IMTA MT foram significativamente maiores  
 856 ( $P < 0.05$ ) quando comparado ao tratamento IMTA DT.

857 Tabela 1. Parâmetros de qualidade da água (média  $\pm$  standard desvio padrão) nos  
 858 tratamentos: Monocultivo, IMTA MT e IMTA DT ao longo dos 31 dias de experimento.

	Monocultivo	IMTA DT	IMTA MT
Temperatura °C	28,05 $\pm$ 0,58	28,62 $\pm$ 0,61	27,84 $\pm$ 0,66
OD (mg L <sup>-1</sup> )	6,15 $\pm$ 0,35	6,09 $\pm$ 0,34	6,18 $\pm$ 0,35
pH	8,15 $\pm$ 0,15	8,22 $\pm$ 0,12	8,14 $\pm$ 0,11
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	123,83 $\pm$ 10,74	131 $\pm$ 8,92	120 $\pm$ 9,99
Salinidade	21,5 $\pm$ 1,18	22 $\pm$ 1,77	21,67 $\pm$ 1,41
SST (mg L <sup>-1</sup> )	190,28 $\pm$ 103,32 <sup>a</sup>	89,79 $\pm$ 18,32 <sup>c</sup>	142,11 $\pm$ 63,69 <sup>b</sup>
Turbidez (NTU)	88,04 $\pm$ 60,94 <sup>a</sup>	40,9 $\pm$ 14,14 <sup>c</sup>	71,54 $\pm$ 42,59 <sup>b</sup>
NAT (mg L <sup>-1</sup> )	0,07 $\pm$ 0,06	0,05 $\pm$ 0,03	0,08 $\pm$ 0,13
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (mg L <sup>-1</sup> )	0,07 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	0,48 $\pm$ 0,35 <sup>b</sup>	0,44 $\pm$ 0,23 <sup>b</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg L <sup>-1</sup> )	13,15 $\pm$ 12,22 <sup>a</sup>	12,55 $\pm$ 9,36 <sup>a</sup>	18,27 $\pm$ 14,19 <sup>b</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P (mg L <sup>-1</sup> )	1,34 $\pm$ 0,85	1,94 $\pm$ 1,69	1,75 $\pm$ 1,33

859 Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) entre os tratamentos após ANOVA de uma via seguida do  
 860 Teste de Tukey. OD (oxigênio dissolvido), SST (sólidos suspensos totais), NAT (Nitrogênio amoniacal total).

861 Tabela 2. Desempenho zootécnico (média ± desvio padrão) de *L. vannamei* e *M. liza* durante  
 862 o experimento nos tratamentos: Monocultivo, IMTA MT e IMTA DT ao longo dos 31 dias  
 863 de experimento.

	Monocultivo	IMTA MT	IMTA DT
<b>Camarão</b>			
Sobrevivência (%)	84,44±2,22	95,56±5,88	96,67±4,71
Peso médio final (g)	4,51±0,22 <sup>a</sup>	2,31±0,25 <sup>b</sup>	4,87±0,6 <sup>a</sup>
Taxa de conversão alimentar (FCR)	1,80±0,09 <sup>a</sup>	1,48±0,05 <sup>a</sup>	1,42±0,05 <sup>b</sup>
Taxa de crescimento específico (g semana <sup>-1</sup> )	0,83±0,06 <sup>a</sup>	0,28±0,06 <sup>b</sup>	0,92±0,15 <sup>a</sup>
Biomassa final (kg)	0,170±0,05 <sup>b</sup>	0,098±0,006 <sup>c</sup>	0,210±0,015 <sup>a</sup>
Produtividade (kg m <sup>-3</sup> )	0,77±0,02 <sup>b</sup>	0,44±0,02 <sup>a</sup>	0,52±0,03 <sup>a</sup>
<b>Tainha</b>			
Sobrevivência (%)	-	92,59±3,21	100±0
Peso médio final (g)	-	15,97±0,62 <sup>a</sup>	11,07±0,23 <sup>b</sup>
Taxa de conversão alimentar (FCR)	-	*	1,25±0,12
Taxa de crescimento específico (g semana <sup>-1</sup> )	-	1,79±0,15 <sup>b</sup>	0,57±0,06 <sup>a</sup>
Biomassa final (kg)	-	0,27±0,01 <sup>a</sup>	0,20±0,04 <sup>b</sup>
Produtividade (kg m <sup>-3</sup> )	-	1,2±0,05 <sup>a</sup>	0,5±0,01 <sup>b</sup>
<b>Camarão x Tainha</b>			
Biomassa final total (kg)	0,17±0,05 <sup>c</sup>	0,36±0,05 <sup>b</sup>	0,41±0,01 <sup>a</sup>
Produtividade total (kg m <sup>-3</sup> )	0,77±0,02 <sup>c</sup>	1,65±0,02 <sup>a</sup>	1,03±0,02 <sup>b</sup>
FCR	1,8±0,09 <sup>b</sup>	1,48±0,05 <sup>a</sup>	1,37±0,03 <sup>a</sup>

864 Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas (p <0,05) entre os tratamentos após ANOVA de uma  
 865 via seguida do Teste de Tukey. FCR= Taxa de conversão alimentar, TCE= Taxa de crescimento específico. \* Não foi  
 866 calculado a FCR das tainhas no tratamento IMTA MT  
 867

#### 868 4. Discussão

869 Sistemas multitróficos integrados em terra são em sua maioria sistemas fechados,  
 870 como o sistema proposto neste estudo, permitindo o controle de resíduos ricos em  
 871 nutrientes (Kerrigan & Suckling 2018). Aliar o sistema BFT que já tem mínima ou nula



872 renovação de água e conseqüente descarga de efluentes no meio ambiente com o IMTA  
873 torna a aquicultura mais amigável ambientalmente. O IMTA é uma boa solução para  
874 mitigar os impactos ambientais negativos da aquicultura (Troell et al., 2009), desta forma  
875 a tainha consome o excesso de SST proveniente do cultivo de camarões em sistema BFT,  
876 transformando esse resíduo em proteína animal com baixo custo com alimentação e ainda  
877 fornece um produto secundário comercializável para o produtor.

878 No presente estudo, as concentrações médias de SST se mantiveram baixas ao longo  
879 dos 31 dias de experimento, comprovando assim, a eficiência de *M. liza* em consumir os  
880 SST do sistema BFT, atuando como um biofiltro para o sistema integrado com *L.*  
881 *vannamei*. A pouca quantidade de ração fornecida (1% da biomassa das tainhas/dia) aos  
882 peixes favoreceu o consumo dos bioflocos em ambos tratamentos, principalmente no  
883 tratamento IMTA DT onde os peixes permaneceram em tanques separados dos camarões.  
884 Um estudo realizado por Larson & Shanks (1996) corrobora os dados encontrados no  
885 presente estudo, onde os autores atestam o consumo de bioflocos ou marine snow por *M.*  
886 *liza* e *M. curema*. Já no tratamento IMTA MT, além de consumir a ração ofertada, as  
887 tainhas competiam pela ração fornecida aos camarões, diminuindo o consumo de  
888 bioflocos deste sistema e prejudicando o desempenho zootécnico do crustáceo.

889 Segundo Gaona et al. (2017) as concentrações de SST em cultivos de *L. vannamei* em  
890 sistema BFT devem ser mantidas numa faixa entre 100 e 300 mg L<sup>-1</sup>. No presente estudo  
891 as concentrações máximas de SST permaneceram abaixo de 300 mg L<sup>-1</sup> nos tratamentos  
892 com a utilização das tainhas, como recomendado por Gaona et al. (2017). Esses resultados  
893 comprovam o consumo dos bioflocos pelas tainhas, assim como observado por Ekasari  
894 et al. (2014) que constatou o consumo de bioflocos pelos animais cultivados num sistema  
895 integrado composto por *L. vannamei*, *O. niloticus* e *Perna viridis*, onde as três espécies  
896 consomem bioflocos de maneiras e tamanhos diferentes, contribuindo para a redução dos  
897 SST no sistema BFT. Um estudo realizado por Shpigel et al. (2016) utilizou a tainha *M.*  
898 *cephalus* em um cultivo integrado com *Sparus aurata*, onde as tainhas permaneceram 284  
899 dias se alimentando somente do lodo gerado pelo cultivo de *S. aurata*, reduzindo a  
900 quantidade de lodo em 98% e obtendo valores de sobrevivência de 82%. O presente  
901 estudo demonstrou que a tainha *M. liza* tem a capacidade de consumir os bioflocos em  
902 uma situação de pouca oferta de alimento inerte e podem ser utilizadas em sistemas  
903 integrados.

904 O crescimento e peso final dos camarões no tratamento IMTA DT foi igual ao do  
905 tratamento Monocultivo, porém o desempenho zootécnico do *L. vannamei* foi  
906 prejudicado no IMTA MT, que apresentou peso final duas vezes menor. A relação de  
907 camarão e tainha, na proporção de 2:1, no tratamento IMTA MT não afetou a  
908 sobrevivência do *L. vannamei*, porém as tainhas consumiram grande parte da ração  
909 direcionada aos camarões, inibindo indiretamente o crescimento dos crustáceos. Este  
910 mesmo padrão foi observado por Hoang et al. (2018), que observaram um aumento na  
911 FCR dos camarões, em comparação ao monocultivo de camarão, sugerindo uma  
912 competição por alimento que culminou num pior desempenho dos camarões nos  
913 tratamentos onde também tinham tainhas (*Mugil cephalus*). Em policultivo de  
914 *Litopenaeus schmitti* e *Mugil curema*, em sistema BFT, realizado por Melo et al. (2016),  
915 utilizaram relações de camarão e tainha de 10:1 e 5:1 identificando prejuízos sobre o  
916 crescimento dos camarões quando comparado ao tratamento de monocultivo de *L.*  
917 *schmitti*. Os autores também relatam a competição pelo alimento entre as espécies e  
918 observaram sinais de estresse nos camarões. Resultado semelhante foi observado por  
919 Costa et al. (2013) trabalhando com *L. vannamei* e *M. liza*, onde as tainhas prejudicaram o  
920 crescimento dos camarões devido a competição pelo alimento.

921 A FCR dos camarões foi prejudicada no tratamento IMTA MT, porém ainda estão  
922 dentro do esperado para o cultivo de *L. vannamei*. Não foi possível calcular a FCR no  
923 tratamento IMTA MT, pois não se sabe a quantidade de ração consumida por cada  
924 espécie. Foi possível calcular uma FCR para todos os sistemas, a partir do ganho de peso  
925 de todos os animais do sistema e do total de ração disponibilizada para os animais, sendo  
926 maior no tratamento Monocultivo e menor nos tratamentos IMTA MT e IMTA DT que  
927 não se diferenciaram estatisticamente, porém foi possível observar que o consumo de  
928 ração pelo *L. vannamei* foi superior no tratamento IMTA DT. Assim como observado por  
929 Shpigel et al. (2016), quando compararam a conversão alimentar do *Sparus aurata* no  
930 cultivo integrado com *M. cephalus* em comparação com a FCR do monocultivo de *S.*  
931 *aurata*, os autores verificaram a redução da FCR de 1,85 no monocultivo para 1,63 no  
932 cultivo integrado.

933 O ganho de peso semanal das tainhas do tratamento IMTA MT foi aproximadamente  
934 três vezes maior que das tainhas do tratamento IMTA DT, não sendo possível alcançar  
935 tais valores apenas pelo consumo dos bioflocos. Um estudo realizado por Da Silva et al.

936 (2013) testou o efeito da restrição alimentar sobre o crescimento da tainha *M. platanus*,  
937 observando uma relação inversamente proporcional entre restrição alimentar e  
938 crescimento dos animais. Da mesma maneira, pode-se afirmar que as tainhas do  
939 tratamento IMTA DT foram submetidas a um processo de restrição alimentar muito mais  
940 intenso, uma vez que não possuíam acesso a ração fornecida aos camarões, somente a  
941 ração oferecida, que correspondia a apenas 1% da biomassa de peixes, e a produtividade  
942 natural do sistema.

943 Considerando a produtividade geral dos sistemas de produção empregados, os  
944 maiores valores foram observados nos tratamentos IMTA MT e IMTA DT, sendo maior  
945 no tratamento IMTA MT, devido ao maior crescimento das tainhas e ao menor volume  
946 do sistema, que correspondia à aproximadamente a metade do tratamento IMTA DT,  
947 influenciando no cálculo da produtividade. A elevada produtividade nos tratamentos  
948 IMTA DT e IMTA MT demonstra que a integração de espécies como o camarão branco e  
949 a tainha, é um exemplo de diversificação da produção e possível aumento do lucro para  
950 o produtor, uma vez que foi demonstrado que a produtividade do sistema integrado de  
951 camarões e tainhas foi cerca de 214% mais elevada que no monocultivo de camarões.

952

## 953 **5. Conclusões**

954 Este estudo mostrou que o cultivo integrado do camarão *L. vannamei* e da tainha *M.*  
955 *liza* é tecnicamente viável. A tainha se mostrou eficiente no consumo e manutenção dos  
956 níveis de SST no sistema integrado com os camarões. O desempenho zootécnico do  
957 camarão *L. vannamei* foi prejudicado quando cultivado no mesmo tanque das tainhas.  
958 Portanto o melhor sistema de cultivo integrado do camarão *L. vannamei* e da tainha *M.*  
959 *liza* é aquele realizado em tanques separados, como no tratamento IMTA DT. As tainhas  
960 cresceram mesmo com uma taxa de arraçoamento baixa, utilizando os bioflocos como  
961 suplemento alimentar. As produtividades dos IMTAs foram maiores que a produtividade  
962 do monocultivo de camarões demonstrando a eficiência na adoção de sistemas de cultivos  
963 integrados tanto ambientalmente quanto economicamente.

964 **6. Referências Bibliográficas**

- 965 American Public Health Association (APHA), 1989. Standard Methods for the  
966 Examination of Water and Waste Water, 16th edn. American Public Health  
967 Association, AWWA, WPCF, New York
- 968 Aminot, A., Chaussepied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin.  
969 CNEXO, Brest 395p.
- 970 Avnimelech, Y., 1999. Carbon r nitrogen ratio as a control element in aquaculture  
971 systems. *Aquaculture* 227–235.
- 972 Bendschneider, K., & Robinson, R.,J., 1952. A new spec- trophotometric method for the  
973 determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research* 11, 87–96.
- 974 Braz, R. da S., Silva, I. de O., Tesser, M.B., Sampaio, L.A., Rodrigues, R.V., 2017.  
975 Benzocaína, MS-222, eugenol e mentol como anestésicos para juvenis de tainha  
976 *Mugil liza*. *Bol. do Inst. Pesca* 43, 605–613. [https://doi.org/10.20950/1678-  
977 2305.2017v43n4p605](https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n4p605)
- 978 Cerqueira, V.R., Vaz Avelar De Carvalho, C., Sanches, E.G., Passini, G., Baloi, M.,  
979 Rodrigues, R.V., 2017. Manejo de reprodutores e controle da reprodução de peixes  
980 marinhos da costa brasileira Broodstock management and control of reproduction in  
981 marine fishes of the Brazilian coast 41, 94–102.
- 982 Chopin, T., Buschmann, A.H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer,  
983 G.P., Zertuche-González, J.A., Yarish, C., Neefus, C., 2001. Integrating seaweeds  
984 into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. *J. Phycol.* 37, 975–  
985 986. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.01137.x>
- 986 Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2012. Biofloc technology in  
987 aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356–357, 351–  
988 356. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>
- 989 Da Silva, E.M., Sampaio, L.A., Martins, G.B., Romano, L.A., Tesser, M.B., 2013.  
990 Desempenho zootécnico e custos de alimentação de juvenis de tainha submetidos à  
991 restrição alimentar. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 48, 906–912.  
992 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800014>
- 993 David, F.S., Proença, D.C., Valenti, W.C., 2017. Phosphorus Budget in Integrated  
994 Multitrophic Aquaculture Systems with Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, and

995 Amazon River Prawn, *Macrobrachium amazonicum*. *J. World Aquac. Soc.* 48, 402–  
996 414. <https://doi.org/10.1111/jwas.12404>

997 Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the  
998 stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of  
999 ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257, 346–358.  
1000 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>

1001 Ekasari, J., Angela, D., Hadi, S., Harris, E., Bossier, P., Schryver, P. De, 2014. The size  
1002 of bio flocc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by  
1003 aquaculture animals. *Aquaculture* 426–427, 105–111.  
1004 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.023>

1005 FAO, 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Fao.

1006 Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2014. The effect of different alkalinity  
1007 levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.*  
1008 23, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9819-x>

1009 Gaona, C.A.P., de Almeida, M.S., Viau, V., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2017. Effect  
1010 of different total suspended solids levels on a *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)  
1011 BFT culture system during biofloc formation. *Aquac. Res.* 48, 1070–1079.  
1012 <https://doi.org/10.1111/are.12949>

1013 Gaona, C.A.P., Poersch, L.H., Krummenauer, D., Foes, G.K., Wasielesky, W.J., 2011.  
1014 The Effect of Solids Removal on Water Quality, Growth and Survival of  
1015 *Litopenaeus vannamei* in a Biofloc Technology Culture System. *Int. J. Recirc.*  
1016 *Aquac.* 12, 54–73. <https://doi.org/10.21061/ijra.v12i1.1354>

1017 Ghosh, S., Ranjan, R., Megarajan, S., Pattnaik, P., Dash, B., Edward, L., 2016. Mixed  
1018 culture of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) and flathead  
1019 grey mullet *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) in floating cages. *Indian J. Fish.* 63,  
1020 63–69. <https://doi.org/10.21077/ijf.2016.63.3.56378-08>

1021 Granada, L., Sousa, N., Lopes, S., Lemos, M.F.L., 2016. Is integrated multitrophic  
1022 aquaculture the solution to the sectors' major challenges? – a review. *Rev. Aquac.*  
1023 8, 283–300. <https://doi.org/10.1111/raq.12093>

1024 Henry-Silva, G.G., Camargo, A.F.M., 2006. Efficiency of aquatic macrophytes to treat  
1025 Nile tilapia pond effluents. *Sci. Agric.* 63, 433–438. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000500003>

1026

- 1027 Hoang, M.N., Nguyen, P.N., Le, D.V.B., Nguyen, D. V., Bossier, P., 2018. Effects of  
1028 stocking density of gray mullet *Mugil cephalus* on water quality, growth  
1029 performance, nutrient conversion rate, and microbial community structure in the  
1030 white shrimp *Litopenaeus vannamei* integrated system. *Aquaculture* 496, 123–133.  
1031 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.018>
- 1032 Jory, D.E., Cabrera, T.R., Dugger, D.M., Fegan, D., Lee, P.G., Lawrence, A.L., Jackson,  
1033 C.J., McIntosh, R.P., Castañeda, J., 2001. A global review of shrimp feed manage-  
1034 ment: status and perspectives. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave:*  
1035 *Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture.* The World  
1036 Aquaculture Society, Baton Rouge, pp. 104–152.
- 1037 Kerrigan, D., Suckling, C.C., 2018. A meta-analysis of integrated multitrophic  
1038 aquaculture: extractive species growth is most successful within close proximity to  
1039 open-water fish farms. *Rev. Aquac.* 10, 560–572. <https://doi.org/10.1111/raq.12186>
- 1040 Krummenauer, D., Samocha, T., Poersch, L., Lara, G., Wasielesky, W., 2014. The reuse  
1041 of water on the culture of pacific white shrimp, *litopenaeus vannamei*, in BFT  
1042 system. *J. World Aquac. Soc.* 45, 3–14. <https://doi.org/10.1111/jwas.12093>
- 1043 Lara, G., Honda, M., Poersch, L., Wasielesky, W., 2017. The use of biofilm and different  
1044 feeding rates in biofloc culture system: the effects in shrimp growth parameters.  
1045 *Aquac. Int.* 25, 1959–1970. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0151-0>
- 1046 Larson, E.T., Shanks, A.L., 1996. Consumption of marine snow by two species of  
1047 juvenile mullet and its contribution to their growth. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 130, 19–  
1048 28. <https://doi.org/10.3354/meps130019>
- 1049 Magnotti, C., Figueroa, E., Farias, J.G., Merino, O., Valdebenito, I., Oliveira, R.P.S.,  
1050 Cerqueira, V., 2018. Sperm characteristics of wild and captive lebranche mullet  
1051 *Mugil liza* (Valenciennes, 1836), subjected to sperm activation in different pH and  
1052 salinity conditions. *Anim. Reprod. Sci.* 192, 164–170.  
1053 <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.03.004>
- 1054 Melo, E.P., Oshiro, L.M.Y., Fugimura, M.M.S., da Costa, T.V., Flor, H. dos R., Sant’ana,  
1055 N.F., 2016. Monocultivo e policultivo do camarão *Litopenaeus schmitti* e do parati  
1056 *Mugil curema* em sistema de bioflocos e água clara. *Bol. do Inst. Pesca* 42, 532–  
1057 547. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2016v42n3p532>
- 1058 Martínez-Espiñeira, R., Chopin, T., Robinson, S., Noce, A., Knowler, D., Yip, W., 2015.

- 1059 Estimating the biomitigation benefits of Integrated Multi-Trophic Aquaculture: A  
1060 contingent behavior analysis. *Aquaculture* 437, 182–194.  
1061 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.034>
- 1062 Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A.P., Forster, I.,  
1063 Gatlin, D.M., Goldburg, R.J., Hua, K., Nichols, P.D., 2009. Feeding aquaculture in  
1064 an era of finite resources. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106, 15103–15110.  
1065 <https://doi.org/10.1073/pnas.0905235106>
- 1066 Neori, A., Troell, M., Chopin, T., Yarish, C., Critchley, A., 2007. Environment : Science  
1067 and Policy for Sustainable Development The Need for a Balanced Ecosystem  
1068 Approach to Blue Revolution Aquaculture. *Environment* 49, 37–41.  
1069 <https://doi.org/10.3200/ENVT.49.3.36-43>
- 1070 Oliveira, I.R., L.S.H., Soares., 1996. Alimentação da tainha *Mugil platanus* Günther,  
1071 1880 (Pisces: Mugilidae) da região estuarino-lagunar de Cananéia, São Paulo,  
1072 Brasil. *Bol. Inst. Pesca* 23, 95-104.
- 1073 Poli, M.A., Legarda, E.C., Lorenzo, M.A. De, Martins, M.A., Vieira, N., 2019. Pacifi c  
1074 white shrimp and Nile tilapia integrated in a bio flocculation system under different  
1075 stocking densities 498, 83–89.
- 1076 Ray, A.J., Lewis, B.L., Browdy, C.L., Leffler, J.W., 2010. Suspended solids removal to  
1077 improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-  
1078 based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture* 299,  
1079 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.021>
- 1080 Rocha, A.F., da, Abreu, P.C., Wasielesky, W., Tesser, M.B., 2012. Avaliação Da  
1081 Formação De Bioflocos Na Criação De Juvenis De Tainha *Mugil* Cf. Hospes Sem  
1082 Renovação De Água. *Atlântica* 34, 63–74. <https://doi.org/10.5088/atl.2012.34.1.63>
- 1083 Shpigel, M., Ari, T. Ben, Shauli, L., Odintsov, V., Ben-Ezra, D., 2016. Nutrient recovery  
1084 and sludge management in seabream and grey mullet co-culture in Integrated Multi-  
1085 Trophic Aquaculture (IMTA). *Aquaculture* 464, 316–322.  
1086 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.07.007>
- 1087 Thu, T.T.N., Lebailly, P., 2017. On Sustainable Aquaculture. *Oceanogr. e Fish.* 1, 1–2.
- 1088 Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H., Fang, J.G., 2009.  
1089 Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic

- 1090 aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture* 297, 1–9.  
1091 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.010>
- 1092 UNESCO, 1983. *Chemical Methods for Use in Marine Environmental Monitoring.*  
1093 *Manual and Guides 12*, Intergovernmental Oceanographic Commission, Paris,  
1094 France.
- 1095 Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006. Effect of natural  
1096 production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive  
1097 culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396–403.  
1098 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>
- 1099 Zar, J.H., 2010. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River.



## CAPÍTULO II

1100

1101

1102

1103

1104

1105 **Cultivo integrado do camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* e da tilápia**  
1106 ***Oreochromis niloticus* em sistema BFT: efeito da disposição espacial da produção no**  
1107 **desempenho zootécnico do camarão, manutenção da qualidade da água e níveis de**  
1108 **sólidos suspensos totais**

1109

1110 Mariana Holanda, Wilson Wasielesky e Luis Poersch\*

1111

1112 Laboratório de Carcinocultura, Estação Marinha de Aquacultura, Instituto de  
1113 Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande - FURG; Rua do Hotel, n°2, Cassino,  
1114 Rio Grande, RS, Brazil. CEP: 96210-030

1115

1116 \*Corresponding author: Rua do Hotel, n°2, Cassino, Rio Grande, RS, Brazil. CEP:96210-  
1117 030 (E-mail: lpoersch@mikrus.com.br).

1118

1119

1120

1121

1122

1123

1124 *Capítulo submetido à revista Aquaculture*

1125 **Resumo**

1126 No sistema BFT as concentrações dos sólidos suspensos totais (SST) tendem a acumular  
1127 durante o ciclo de produção podendo trazer malefícios aos parâmetros de qualidade de  
1128 água e ao desempenho dos animais produzidos. Uma forma de retirar este excedente de  
1129 SST é o cultivo integrado com outras espécies de interesse na aquicultura. Desta forma o  
1130 controle do excesso de SST da produção de camarões em sistema BFT pode ser feito pela  
1131 integração de espécies que atuam em diferentes níveis tróficos é chamada de Aquicultura  
1132 Multitrófica Integrada (IMTA). O presente estudo teve como objetivo promover o controle  
1133 dos SST em um sistema BFT através do consumo desses sólidos por tilápias integradas  
1134 ao cultivo de camarões (sistema multitrófico). Testou-se o desempenho zootécnico de *L.*  
1135 *vannamei* de três formas distintas: Monocultivo de camarões, IMTA MT (cultivo  
1136 integrado de camarão e tilápia no mesmo tanque) e IMTA DT (cultivo integrado de  
1137 camarão e tilápia em diferentes tanques), para avaliar o consumo de sólidos pelos peixes  
1138 e sua influência sobre desempenho dos camarões. No tratamento IMTA MT as tilápias  
1139 influenciaram negativamente no crescimento do *L. vannamei*. O tratamento IMTA DT foi  
1140 o mais eficiente na redução dos SST do sistema, influenciou positivamente no  
1141 crescimento *L. vannamei* diminuindo sua conversão alimentar com um incremento na  
1142 produção de biomassa de camarões produzido. Conclui-se que tilápias podem ser  
1143 utilizadas para controlar as concentrações de SST da produção de camarões em sistema  
1144 BFT e o modelo de sistema Multitrófico em tanques separados intensificou o consumo  
1145 de bioflocos pelas tilápias, melhorando a qualidade de água e o desempenho zootécnico  
1146 do *L. vannamei* quando comparado ao monocultivo de camarões.

1147 **Palavras chave:** Sólidos suspensos, bioflocos, sustentabilidade, IMTA

1148 **Abstract**

1149 In the BFT system, concentrations of total suspended solids (TSS) tend to accumulate  
1150 during the production cycle and can lead to water quality and performance of the animals  
1151 produced. One way to remove this surplus of TSS is to grow integrated with other species  
1152 of interest in aquaculture. In this way the control of the total suspended solids excess of  
1153 shrimp production in the BFT system can be done by the integration of species that act in  
1154 different trophic levels is called Integrated Multitrophic Aquaculture (IMTA). The  
1155 present study aimed to promote the control of SST in a BFT system through the  
1156 consumption of these solids by tilapia integrated into the shrimp culture (multitrophic  
1157 system). The performance of *L. vannamei* was tested in three different ways: Shrimp  
1158 monoculture, IMTA MT (integrated shrimp and tilapia culture in the same tank) and  
1159 IMTA DT (integrated shrimp and tilapia culture in different tanks) to evaluate the fish  
1160 consumption and their influence on shrimp performance. In the IMTA MT treatment the  
1161 tilapias negatively influenced *L. vannamei* growth. The treatment IMTA DT was the most  
1162 efficient in reducing the SST of the system, positively influenced *L. vannamei* growth,  
1163 decreasing its feed conversion with an increase in the production of shrimp biomass  
1164 produced. It is concluded that tilapia can be used to control the TSS concentrations of the  
1165 shrimp production in the BFT system and the multitrophic system model in separate tanks  
1166 intensified the consumption of bioflocos by tilapia, improving the water quality and the  
1167 zootechnical performance of *L. vannamei* when compared to monoculture shrimp.

1168 **Keywords:** Suspended solids, biofloc, sustainability, IMTA

## 1169 **1. Introdução**

1170 A produção de camarões marinhos está cada vez mais intensificada e o camarão branco  
1171 *Litopenaeus vannamei* continua sendo a espécie mais produzida no mundo, totalizando 4,1  
1172 milhões de toneladas em 2016 (FAO, 2018). A tendência da atividade é se tornar cada vez  
1173 mais intensiva, contando com tecnologias que permitam a produção em elevadas densidades  
1174 de estocagem, como é o caso do sistema BFT.

1175 A tecnologia de bioflocos é caracterizada pela produção superintensiva de organismos  
1176 aquáticos, baixa ou nenhuma renovação de água e ciclagem dos nutrientes no próprio tanque,  
1177 através do estímulo de uma microbiota que formam os agregados microbianos (Wasielesky  
1178 et al., 2006). Esses agregados além de servirem para manutenção da qualidade da água no  
1179 sistema, através da remoção de amônia por bactérias heterotróficas (Ebeling et al., 2006)  
1180 ainda servem como alimento para os animais cultivados. A remoção de compostos  
1181 nitrogenados tóxicos no sistema BFT é a chave para o sucesso desta tecnologia na  
1182 aquicultura. A amônia é consumida por bactérias heterotróficas, que assimilam esse  
1183 composto nitrogenado após a adição de uma fonte de carbono orgânico, elevando a  
1184 concentração C:N no sistema (Avnimelech, 1999). A amônia é constantemente produzida  
1185 no sistema e consumida simultaneamente pelas bactérias heterotróficas, havendo assim a  
1186 necessidade de fertilizações orgânicas constantes no sistema, porém, a adição constante de  
1187 uma fonte de carbono produz com o passar do tempo uma quantidade significativa de sólidos  
1188 suspensos que podem afetar negativamente os organismos produzidos (Souza et al., 2018).  
1189 Gaona et al. (2017) recomendam que para a produção de camarões, as concentrações de  
1190 SST não ultrapassem 300 mg L<sup>-1</sup>. Para isto, geralmente são utilizados os clarificadores  
1191 mecânicos, que funcionam como decantadores de partículas (Gaona et al., 2011).

1192 Outra forma de retirar este excedente de SST é o cultivo integrado com outras espécies  
1193 de interesse na aquicultura. Desta forma o controle do excesso de sólidos suspensos totais  
1194 (SST) da produção de camarões em sistema BFT pode ser feito pela integração de espécies  
1195 que atuam em diferentes níveis tróficos é chamada de Aquicultura Multitrófica Integrada  
1196 (IMTA), e baseia-se no conceito de que resíduos, como ração não consumida, fezes e  
1197 excreção metabólica de uma espécie são úteis para alimentar outra espécie de um nível  
1198 trófico diferente (Chopin et al., 2012; Troell et al., 2009). Sabe-se que os bioflocos são  
1199 compostos de uma ampla gama de microorganismos, tais como bactérias heterotróficas e  
1200 autotróficas, microalgas, protozoários, rotíferos e nematóides, e essa comunidade

1201 microbiana pode ser aderida, formando agregados, ou estar suspensa na água (Lara et al.,  
1202 2017). Estes bioflocos são uma fonte alimentar suplementar na produção de camarões  
1203 marinhos e tilápias, contribuindo para a diminuição das taxas de conversão alimentar desses  
1204 organismos, por serem ricos em nitrogênio, podendo ter de 12 a 49% de proteína bruta e 13  
1205 a 46% de lipídios (Emerenciano et al., 2012; Monroy-Dosta et al., 2013), como PUFA e  
1206 HUFA (Azim & Little, 2008; Ekasari et al., 2015).

1207 A tilápia *Oreochromis niloticus* é uma forte candidata para compor o sistema  
1208 multitrofico com camarões, por sua rusticidade, tolerância a ampla faixa de salinidade e  
1209 também por apresentar melhores taxas de crescimento quando cultivada em ambientes  
1210 ricos em produtividade natural, a tilápia tem sido considerada uma espécie de grande  
1211 interesse para a produção em sistema de bioflocos (Azim & Little, 2008; Ekasari et al.,  
1212 2015), por ser uma espécie onívora, possui capacidade de consumir os bioflocos do  
1213 sistema, que já vem sendo estudada no sistema integrado com camarões marinhos  
1214 (Hernández-barraza et al., 2013; Muangkeow et al., 2011; Poli et al., 2019).

1215 São várias as vantagens de se fazer um cultivo integrado de camarões e tilápias.  
1216 Tendencia et al. (2004) relataram que a presença de tilápia no cultivo integrado com camarão  
1217 inibiu o crescimento de *Vibrio* sp. Segundo Yuan et al. (2010), a tilápia tem um efeito  
1218 inibidor no desenvolvimento de certos microrganismos patogênicos, melhorando a saúde do  
1219 sistema de produção. Alguns estudos indicam que existe uma competição por alimento  
1220 entre o camarão branco e a tilápia e dependendo da forma de cultivo isso poderia afetar  
1221 negativamente o crescimento do camarão (Hernández-barraza et al., 2013; Muangkeow  
1222 et al., 2007). Considerando o sistema multitrófico, não se sabe ao certo o efeito da tilápia  
1223 sobre o desempenho zootécnico do camarão e qual a melhor conformação espacial para o  
1224 cultivo integrado dessas espécies, para que se tenha um ganho ambiental e um ganho  
1225 econômico. Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a funcionalidade do  
1226 sistema multitrófico integrado composto por *L. vannamei* e *O. niloticus*, além de  
1227 determinar a melhor disposição espacial para os animais para o melhor rendimento e  
1228 aproveitamento do sistema.

## 1229 **2. Material e Métodos**

### 1230 **2.1. Localização do estudo e procedência dos animais**

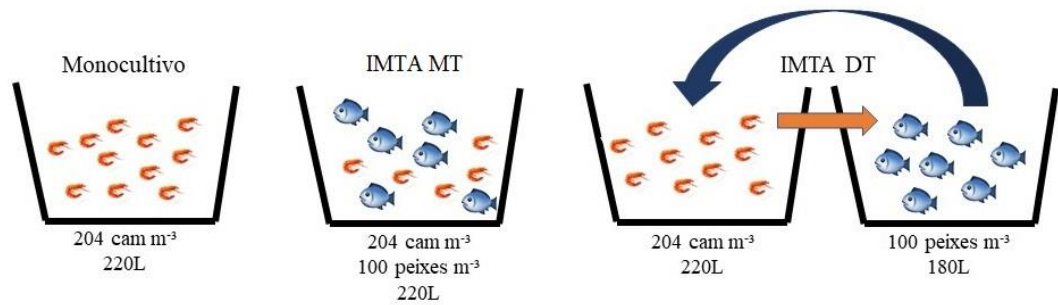
1231 O estudo foi conduzido na Estação Marinha de Aquacultura (EMA), Instituto de  
1232 Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), localizada na praia do

1233 Cassino, Rio Grande, RS, Sul do Brasil (32°110S; 52°100W), durante 30 dias. Os juvenis  
1234 de *O. niloticus* foram adquiridos de uma piscicultura comercial, localizada no estado do  
1235 Rio Grande do Sul, Brasil. Antes da realização do experimento os juvenis de tilápia com  
1236 peso inicial de  $7,44 \pm 1,18$  g foram aclimatados em biofloco durante duas semanas. Os  
1237 juvenis de *L. vannamei* com peso inicial de  $2,67 \pm 0,17$ g foram provenientes de berçário  
1238 e engorda em sistema BFT, em estufas, no Laboratório de Carcinocultura (EMA). O  
1239 experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética e Bem-estar Animal da FURG (Número  
1240 do processo 23116.005895/2016-42).

1241

## 1242 **2.2.Delineamento experimental**

1243 O delineamento experimental contou com três tratamentos em triplicata (3x3):  
1244 Monocultivo – monocultivo de *L. vannamei* em uma densidade de  $204 \text{ ind m}^{-3}$ ; IMTA  
1245 MT (Cultivo integrado de *L. vannamei* e *O. niloticus* no mesmo tanque) cultivo integrado  
1246 de tilápia ( $100 \text{ ind m}^{-3}$ ) e camarões ( $204 \text{ ind m}^{-3}$ ) em um mesmo tanque; IMTA DT  
1247 (Cultivo integrado de *L. vannamei* e *O. niloticus* em diferentes tanques): cultivo integrado  
1248 tilápia ( $100 \text{ ind m}^{-3}$ ) e camarões ( $204 \text{ ind m}^{-3}$ ) em tanques separados (Figura 1). Neste  
1249 tratamento, a água de cada tanque com peixes era constantemente circulada para tanques  
1250 contendo camarões por com o auxílio de uma bomba (Sarlo Better®, SB 1000C, Brasil,  
1251 13W e vazão de  $720 \text{ L h}^{-1}$ ) e retornava para os tanques dos peixes por gravidade. Foram  
1252 utilizados 12 tanques (área de fundo de  $0,36 \text{ m}^2$ ), os tanques que compunham o sistema  
1253 do tratamento IMTA DT eram formados por um tanque de 220 L onde estavam os  
1254 camarões e um tanque de 180 L onde estavam os peixes, nos demais tratamentos todos os  
1255 tanques continham 220 L. A oxigenação da coluna d'água foi feita com a utilização de  
1256 duas pedras porosas para auxiliar a suspensão dos bioflocos. A estabilidade da  
1257 temperatura da água foi garantida pelo uso de aquecedores com termostatos (Stealth,  
1258 ETP250, USA, 250W).



1259

1260 Figura 1. Desenho esquemático da disposição dos tratamentos na sala experimental

1261 Os animais foram alimentados duas vezes ao dia (9:00 e 17:00 horas), a alimentação  
 1262 dos camarões foi realizada seguindo a metodologia descrita por Jory et al. (2001), com  
 1263 ração comercial contendo 38% de proteína bruta (Poty Active 38, 1,6 mm, Guabi Aqua,  
 1264 Guabi Nutrição e Saúde Animal S.A., Campinas, São Paulo, Brasil). As tilápias foram  
 1265 alimentadas com 1% da biomassa do tanque por todo o período experimental, para a  
 1266 estimulação do consumo dos bioflocos pelos peixes. Inicialmente foi ofertada ração  
 1267 comercial para as tilápias com tamanho de 1 mm (Guabitech Mirim QS 2-3 mm, Guabi  
 1268 Aqua, Guabi Nutrição e Saúde Animal S.A., Campinas, São Paulo, Brasil), contendo 36%  
 1269 de proteína bruta.

1270

### 1271 2.3. Análises de qualidade da água

1272 O oxigênio dissolvido, temperatura e pH foram monitorados 2 vezes ao dia após a  
 1273 alimentação dos organismos. A temperatura e o oxigênio dissolvido foram mensurados  
 1274 com a utilização de uma sonda multiparâmetros (YSI, modelo Pro-20, EUA) e o pH com  
 1275 o auxílio de um pHmetro de bancada (Mettler Toledo, FEP20, Brasil). A salinidade foi  
 1276 verificada com o auxílio de um refratômetro óptico (ATC, RTP-20ATC, Brasil).

1277 O nitrogênio amoniacal total e nitrito foram mensurados diariamente conforme a  
 1278 metodologia descrita por UNESCO (1983) e Bendschneider & Robinson (1952),  
 1279 respectivamente. A turbidez e os sólidos suspensos totais (SST) foram analisados em  
 1280 intervalos de 4 dias, a turbidez foi mensurada pela leitura em um turbidímetro portátil  
 1281 (Hach®, 2100P, Portugal). Os SST foram medidos de acordo com a metodologia descrita  
 1282 por Strickland & Parsons (1972). A alcalinidade foi verificada 2 vezes por semana  
 1283 seguindo a metodologia proposta por APHA (1989). Nitrato e ortofosfato foram  
 1284 mensurados 1 vez por semana, seguindo metodologias de Aminot & Chaussepied (1983).  
 1285 As correções de pH e alcalinidade foram realizadas com a utilização de cal hidratada

1286 [Ca(OH)<sub>2</sub>] (Furtado et al., 2014). As fertilizações orgânicas com melão ocorreram  
1287 sempre que as concentrações de nitrogênio amoniacal total (NAT) ultrapassaram 1mg L<sup>-1</sup>  
1288 <sup>1</sup>, de acordo com Avnimelech (1999) e Ebeling et al. (2006).

1289

#### 1290 **2.4.Desempenho zootécnico**

1291 O crescimento dos camarões foi acompanhado por meio de biometrias semanais e  
1292 dos peixes por biometrias quinzenais. Foi utilizando uma balança digital com precisão de  
1293 0,01g (Marte Científica, AD 2000, Brasil). Para a realização das biometrias das tilápias,  
1294 as mesmas foram previamente anestesiadas com 50 mg L<sup>-1</sup> cloridrato de benzocaína. Ao  
1295 final do período experimental, todos os animais vivos foram contabilizados para a  
1296 determinação da sobrevivência e crescimento. Os parâmetros analisados foram:  
1297 Sobrevivência (%) = (número final de camarões/ número inicial de camarões) × 100; Peso  
1298 médio final (g):  $\sum$  peso final dos animais vivos (g) / n° total de animais; Biomassa final  
1299 (g):  $\sum$  peso final de todos animais vivos (g); Taxa de conversão alimentar (FCR) = ração  
1300 oferecida (g)/(biomassa final (g) – biomassa inicial (g));Produtividade (kg m<sup>-3</sup>):  
1301 [(biomassa final (kg) – biomassa inicial (kg)) x 1000] / volume útil do tanque (L); Taxa  
1302 de crescimento específico (g semana<sup>-1</sup>): ganho de peso (g) / número de semanas.

1303 Para os tratamentos IMTA DT e IMTA MT, foram calculados alguns parâmetros  
1304 levando em consideração o sistema composto por camarões e peixes. Os parâmetros  
1305 analisados foram:

1306 1. Produtividade do sistema (Kg m<sup>-3</sup>) = (Bfc + Bfp) – (Bic + Bip) /Volume útil total (m<sup>3</sup>),

1307 onde Bfc = biomassa final dos camarões;

1308 Bfp = Biomassa final dos peixes;

1309 Bic = Biomassa inicial dos camarões;

1310 Bip = Biomassa inicial dos peixes;

1311 2. A taxa de conversão alimentar (FCR) = (Rfc + Rfp) / (Bfc +Bfp) – (Bic – Bip),

1312 onde Rfc = Ração ofertada para os camarões

1313 Rfp = Ração ofertada para os peixes

1314 3.Biomassa final total (g) = biomassa final dos camarões + biomassa final dos peixes

1315



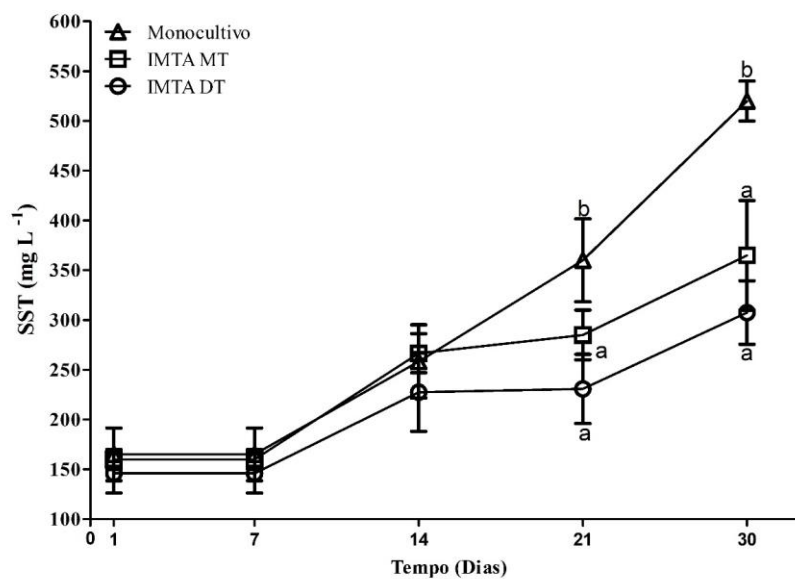
1316 **2.5. Análises estatísticas**

1317 Os parâmetros de qualidade da água e os desempenhos zootécnicos nos diferentes  
1318 tratamentos foram submetidos à análise de variância de uma via (ANOVA- One Way),  
1319 levando-se em consideração os pressupostos de homocedasticidade e normalidade (Levene  
1320 e Kolmogorov-Smirnov). O teste de Tukey foi aplicado quando diferenças significativas  
1321 foram detectadas ( $p < 0,05$ ), os dados de sobrevivência foram transformados (arcoseno  $\times 0,5$ )  
1322 antes da análise (Zar, 2010).

1323

1324 **3. Resultados**

1325 Os parâmetros de qualidade da água como temperatura, oxigênio dissolvido, pH,  
1326 alcalinidade não diferiram entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), assim como o NAT, nitrito, nitrato  
1327 e ortofosfato (Tabela 1). Os valores de SST apresentaram diferença significativa entre os  
1328 tratamentos ( $p < 0,05$ ), com médias mais elevadas no tratamento Monocultivo e IMTA MT  
1329 e menores valores no tratamento IMTA DT (Figura 2).



1330

1331 Figura 2. Concentrações médias de SST ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos diferentes tratamentos ao longo dos 30  
1332 dias de período experimental nos tratamentos: Monocultivo (Monocultivo de *L. vannamei*),  
1333 IMTA DT (Cultivo integrado de *L. vannamei* e *O. niloticus* em diferentes tanques) e IMTA  
1334 MT (Cultivo integrado de *L. vannamei* e *O. niloticus* no mesmo tanque). Os dados estão  
1335 apresentados em média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ).

1336

1337 Tabela 1. Parâmetros de qualidade da água (média  $\pm$  desvio padrão) de *L. vannamei* e *O.*  
 1338 *niloticus* durante o experimento nos tratamentos Monocultivo (Monocultivo de *L. vannamei*),  
 1339 IMTA DT (Cultivo integrado de *L. vannamei* e *O. niloticus* em diferentes tanques) e IMTA  
 1340 MT (Cultivo integrado de *L. vannamei* e *O. niloticus* no mesmo tanque)

	Monocultivo	IMTA DT	IMTA MT
Temperatura °C	28,83 $\pm$ 1,68	28,57 $\pm$ 1,62	28,22 $\pm$ 1,92
OD (mg L <sup>-1</sup> )	6,38 $\pm$ 0,44	6,57 $\pm$ 0,36	6,41 $\pm$ 0,46
pH	7,96 $\pm$ 0,21	7,95 $\pm$ 0,19	7,93 $\pm$ 0,15
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	124,52 $\pm$ 45,19	150,23 $\pm$ 48,70	115,47 $\pm$ 42,86
SST (mg L <sup>-1</sup> )	293,67 $\pm$ 146,21 <sup>a</sup>	211,50 $\pm$ 78,54 <sup>b</sup>	247,33 $\pm$ 106,15 <sup>ab</sup>
NAT (mg L <sup>-1</sup> )	0,18 $\pm$ 0,29	0,13 $\pm$ 0,24	0,29 $\pm$ 0,84
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (mg L <sup>-1</sup> )	0,92 $\pm$ 0,53	1,25 $\pm$ 0,72	1,49 $\pm$ 1,61
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg L <sup>-1</sup> )	31,33 $\pm$ 27,64	32,30 $\pm$ 33,94	31,50 $\pm$ 29,86
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	2,20 $\pm$ 2,11	2,06 $\pm$ 1,92	2,15 $\pm$ 2,10

1341 Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas (p <0,05) entre os tratamentos após ANOVA de uma  
 1342 via seguida do Teste de Tukey. OD (oxigênio dissolvido), SST (sólidos suspensos totais), NAT (amônia total).

1343

1344 O tratamento IMTA MT apresentou o pior desempenho zootécnico dos camarões,  
 1345 com sobrevivência, peso médio final, taxa de crescimento específico, biomassa final e  
 1346 produtividade menores e FCR maior, quando comparado aos tratamentos Monocultivo e  
 1347 IMTA DT que não apresentaram diferença significativa entre si. Ao passo que o  
 1348 desempenho zootécnico dos peixes foi melhor no tratamento IMTA MT, com peso médio  
 1349 final, taxa de crescimento específico, biomassa final e produtividade menores e FCR menor  
 1350 quando comparado ao tratamento IMTA DT. Quanto ao desempenho do sistema, os sistemas  
 1351 multitróficos tiveram melhor desempenho, com FCR menores, biomassa total e  
 1352 produtividade total mais elevadas quando comparado ao monocultivo de camarão.  
 1353 Destacando-se a produtividade total do tratamento IMTA MT que foi significativamente  
 1354 maior (p<0,05) que os demais tratamentos (Tabela 2).

1355

1356 Tabela 2. Desempenho zootécnico (média  $\pm$  desvio padrão) de *L. vannamei* e *O. niloticus*  
 1357 durante o experimento nos tratamentos Monocultivo, IMTA DT e IMTA MT

	Monocultivo	IMTA DT	IMTA MT
<b>Camarão</b>			
Sobrevivência (%)	97,78 $\pm$ 2,22 <sup>a</sup>	96,00 $\pm$ 6,92 <sup>a</sup>	78,96 $\pm$ 16,42 <sup>b</sup>
Peso médio final (g)	8,10 $\pm$ 0,51 <sup>a</sup>	8,08 $\pm$ 0,34 <sup>a</sup>	5,14 $\pm$ 0,87 <sup>b</sup>
FCR	1,47 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	1,44 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>	3,13 $\pm$ 1,39 <sup>b</sup>
TCE (g semana <sup>-1</sup> )	1,35 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup>	1,33 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup>	0,61 $\pm$ 0,24 <sup>b</sup>
Biomassa final (g)	356,47 $\pm$ 22,70 <sup>a</sup>	352,80 $\pm$ 15,25 <sup>a</sup>	226,02 $\pm$ 38,49 <sup>b</sup>
Produtividade (kg m <sup>-3</sup> )	1,74 $\pm$ 0,28 <sup>a</sup>	1,60 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	1,11 $\pm$ 0,27 <sup>b</sup>
<b>Tilápia</b>			
Sobrevivência (%)	-	92,29 $\pm$ 6,68	88,59 $\pm$ 0,5
Peso médio final (g)	-	15,24 $\pm$ 1,23 <sup>b</sup>	27,22 $\pm$ 2,45 <sup>a</sup>
FCR	-	0,61 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	0,3 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
TCE (g semana <sup>-1</sup> )	-	2,13 $\pm$ 0,37 <sup>b</sup>	4,76 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup>
Biomassa final (g)	-	274,31 $\pm$ 22,2 <sup>a</sup>	490,08 $\pm$ 44,15 <sup>b</sup>
Produtividade (kg m <sup>-3</sup> )	-	1,43 $\pm$ 0,24 <sup>b</sup>	2,57 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup>
<b>Camarão x Tilápia</b>			
Biomassa final total (g)	356,44 $\pm$ 22,69 <sup>b</sup>	771,8 $\pm$ 46,59 <sup>a</sup>	646,86 $\pm$ 37,49 <sup>a</sup>
Produtividade total (kg m <sup>-3</sup> )	1,08 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>	1,12 $\pm$ 0,24 <sup>b</sup>	2,04 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>
FCR	1,47 $\pm$ 0,18 <sup>b</sup>	1,02 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	0,88 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>

1358 Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas (p < 0,05) entre os tratamentos após ANOVA de  
 1359 uma via seguida do Teste de Tukey. FCR= Taxa de conversão alimentar, TCE= Taxa de crescimento específico. \* Não  
 1360 foi calculado a FCR das tainhas no tratamento IMTA MT.

1361

#### 1362 4. Discussão

1363 Os parâmetros de qualidade da água do experimento estavam dentro do recomendado  
 1364 para um bom crescimento de *L. vannamei* (Ponce-Pelafox et al., 1997; Van Wyk & Scarpa  
 1365 1999; Lin & Chen 2001; Lin & Chen 2003; Furtado et al., 2011; Furtado et al., 2014;  
 1366 Gaona et al., 2017). A presença das tilápias tanto no mesmo tanque quanto em tanques  
 1367 separados não afetou os níveis de oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade. Os compostos

1368 nitrogenados (amônia, nitrito, nitrato) também não sofreram nenhuma variação  
1369 significativa ao longo do experimento, reflexo da utilização do inóculo de bioflocos.  
1370 Krummenauer et al. (2014) verificaram que a utilização de inóculos de bioflocos tornam  
1371 o ambiente de cultivo mais estável e controlam as concentrações de amônia e nitrito.  
1372 Apesar de um maior *input* de ração nos tratamentos IMTA DT e IMTA MT em ralação  
1373 ao tratamento monocultivo, os níveis de ortofosfato não foram afetados pela presença dos  
1374 peixes. Segundo Poli et al. (2019), a tilápia pode reter até 223% do fósforo num sistema  
1375 de cultivo integrado com camarões, em relação ao monocultivo de camarão. Sabe-se que  
1376 o nitrogênio dissolvido, especialmente a amônia, e o fósforo são fortemente afetados em  
1377 cultivos intensivos de camarão devido à excreção dos animais e a decomposição de ração  
1378 não consumida (Da Silva et al., 2013).

1379 O único parâmetro de qualidade da água que apresentou diferenças significativas foi  
1380 o de sólidos suspensos totais (SST). Os menores valores medios do SST no tratamento  
1381 IMTA DT demonstra a eficiência da tilápia em consumir os sólidos do sistema, mostrando-  
1382 se uma eficaz escolha para resolver e/ou minimizar alguns dos problemas atuais  
1383 associados à produção do camarão em sistema BFT, como o excesso de SST oriundo do  
1384 metabolismo endógeno das bactérias heterotróficas (Ebeling et al., 2006). Resultados  
1385 semelhantes de consumo de biofloco por tilápias foram observados por Monroy-Dosta et  
1386 al. (2013), Ekasari et al. (2014 e 2015) e Bossier & Ekasari (2017), quando produzidas  
1387 em cultivo integrado com camarões.

1388 No tratamento em que as tilápias foram mantidas no mesmo tanque que os camarões,  
1389 observou-se uma diminuição de 80% na sobrevivência dos camarões e 63% no peso  
1390 médio final em relação aos tratamentos monocultivo e multitrófico. Resultados diferentes  
1391 do presente estudo foram encontrados por Yuan et al. (2010), onde a presença da tilápia  
1392 melhorou a sobrevivência do camarão. Da mesma forma Muangkeow et al. (2007)  
1393 afirmaram que o desempenho zootécnico dos camarões não foi afetado pela presença de  
1394 tilápia em uma proporção de tilápia:camarão de 0,025. Certamente a elevada densidade  
1395 de estocagem da tilápia (100 peixes m<sup>-3</sup>) e consequentemente elevada relação  
1396 tilápia:camarão de 0,49 no presente estudo afetou negativamente a sobrevivência dos  
1397 camarões quando mantidos em um mesmo tanque.

1398 A taxa de conversão alimentar (FCR) dos camarões quando cultivados no mesmo  
1399 tanque que as tilápias foi mais elevada, quando comparado a FCR dos camarões

1400 cultivados em tanques separados das tilápias. Simão et al. (2013) apontaram que houve  
1401 um aumento no FCR dos camarões quando cocultivados com tilápia em comparação com  
1402 o monocultivo, justificando esse resultado com o fato das tilápias serem mais ágeis na  
1403 captura do alimento e deixando menos ração disponível para os camarões. Pode-se  
1404 considerar que tanto a FCR dos camarões quanto das tilápias no tratamento IMTA MT  
1405 não é real, portanto seria mais adequado levar em consideração o FCR do sistema como  
1406 um todo. Poli et al. (2019) observaram conversões alimentares baixas para tilápia (de 0,21  
1407 a 0,24) quando alimentados também com 1% da biomassa, e valores de FCR dos  
1408 camarões próximos aos encontrados neste estudo.

1409 Segundo Troell et al. (2009), o IMTA é a única abordagem prática de remediação com  
1410 uma perspectiva de gerar receitas por diversificação da produção, enquanto todas as  
1411 outras abordagens de biomitigação geralmente envolvem apenas custos adicionais para o  
1412 produtor. O objetivo é aumentar a sustentabilidade a longo prazo e a rentabilidade por  
1413 unidade de cultivo (não por espécie, como é praticado em monoculturas), recuperando  
1414 alguns dos nutrientes e energia que são perdidos em monoculturas, transformando-os em  
1415 cultivos adicionais com valor comercial. O cultivo integrado do camarão branco e da  
1416 tilápia é uma forma de diversificar a produção e melhorar a lucratividade da aquicultura.  
1417 A biomassa final dos tratamentos IMTA DT e IMTA MT sendo o dobro da biomassa final  
1418 do monocultivo de camarão justifica o emprego do IMTA, mostrando-se uma alternativa  
1419 ecológica e economicamente viável. É importante ressaltar que foi possível aumentar em  
1420 211% a biomassa produzida no tratamento IMTA DT, sem comprometer a taxa de  
1421 crescimento específica e a conversão alimentar do camarão.

1422

## 1423 **5. Conclusões**

1424 A tilápia se mostrou eficiente no consumo e manutenção dos níveis de SST no sistema  
1425 integrado com os camarões e não afetou a qualidade da água. O desempenho zootécnico  
1426 do camarão *L. vannamei* foi prejudicado quando cultivado no mesmo tanque das tilápias.  
1427 Portanto o melhor sistema de cultivo superintensivo integrado do camarão *L. vannamei* e  
1428 da tilápia *O. niloticus* na relação tilápia:camarão de 0,49 é em tanques separados, como  
1429 no tratamento IMTA DT.

1430

1431 **6. Referências bibliográficas**

- 1432 American Public Health Association (APHA), 1989. Standard Methods for the  
1433 Examination of Water and Waste Water, 16th edn. American Public Health  
1434 Association, AWWA, WPCF, New York
- 1435 Aminot, A., Chaussepied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin.  
1436 CNEXO, Brest 395p.
- 1437 Avnimelech, Y., 1999. Carbon r nitrogen ratio as a control element in aquaculture  
1438 systems. *Aquaculture* 227–235.
- 1439 Azim, M.E., Little, D.C., 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water  
1440 quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis*  
1441 *niloticus*). *Aquaculture* 283, 29–35.  
1442 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
- 1443 Bendschneider, K., & Robinson, R.,J., 1952. A new spec- trophotometric method for the  
1444 determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research* 11, 87–96.
- 1445 Bossier, P., Ekasari, J., 2017. Biofloc technology application in aquaculture to support  
1446 sustainable development goals. *Microb. Biotechnol.* 10, 1012–1016.  
1447 <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12836>
- 1448 Chopin, T., Cooper, J.A., Reid, G., Cross, S., Moore, C., 2012. Open-water integrated  
1449 multi-trophic aquaculture: Environmental biomitigation and economic  
1450 diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Rev. Aquac.* 4, 209–  
1451 220. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01074.x>
- 1452 Da Silva, K.R., Wasielesky, W., Abreu, P.C., 2013. Nitrogen and Phosphorus Dynamics  
1453 in the Biofloc Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *J.*  
1454 *World Aquac. Soc.* 44, 30–41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12009>
- 1455 Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the  
1456 stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of  
1457 ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257, 346–358.  
1458 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>
- 1459 Ekasari, J., Angela, D., Hadi, S., Harris, E., Bossier, P., Schryver, P. De, 2014. The size  
1460 of bio fl oc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by  
1461 aquaculture animals. *Aquaculture* 426–427, 105–111.  
1462 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.023>

- 1463 Ekasari, J., Rivandi, D.R., Firdausi, A.P., Surawidjaja, E.H., Zairin, M., Bossier, P., De  
1464 Schryver, P., 2015. Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis*  
1465 *niloticus*) larvae performance. *Aquaculture* 441, 72–77.  
1466 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.019>
- 1467 Emerenciano, M., Ballester, E.L.C., Cavalli, R.O., Wasielesky, W., 2012. Biofloc  
1468 technology application as a food source in a limited water exchange nursery system  
1469 for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquac. Res.* 43, 447–  
1470 457. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02848.x>
- 1471 FAO, 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Fao.
- 1472 Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2014. The effect of different alkalinity  
1473 levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.*  
1474 23, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9819-x>
- 1475 Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2011. Effect of calcium hydroxide,  
1476 carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance  
1477 of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems.  
1478 *Aquaculture* 321, 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.034>
- 1479 Gaona, C.A.P., de Almeida, M.S., Viau, V., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2017. Effect  
1480 of different total suspended solids levels on a *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)  
1481 BFT culture system during biofloc formation. *Aquac. Res.* 48, 1070–1079.
- 1482 Gaona, C.A.P., Poersch, L.H., Krummenauer, D., Foes, G.K., Wasielesky, W.J., 2011.  
1483 The Effect of Solids Removal on Water Quality, Growth and Survival of  
1484 *Litopenaeus vannamei* in a Biofloc Technology Culture System. *Int. J. Recirc.*  
1485 *Aquac.* 12, 54–73. <https://doi.org/10.21061/ijra.v12i1.1354>
- 1486 Hernández-barraza, C., Cantú, D.L., Osti, J.L., Fitzsimmons, K., Nelson, S., Autónoma,  
1487 U., Matamoros, D.T., Cd, C.C.P., Tamaulipas, V., 2013. Productivity of  
1488 Polycultured Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Pacific White Shrimp (  
1489 *Litopenaeus vannamei*) in a Recirculating System.
- 1490 Jory, D.E., Cabrera, T.R., Dugger, D.M., Fegan, D., Lee, P.G., Lawrence, A.L., Jackson,  
1491 C.J., McIntosh, R.P., Castañeda, J., 2001. A global review of shrimp feed manage-  
1492 ment: status and perspectives. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave:*  
1493 *Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture.* The World  
1494 *Aquaculture Society, Baton Rouge*, pp. 104–152.

- 1495 Krummenauer, D., Samocha, T., Poersch, L., Lara, G., Wasielesky, W., 2014. The reuse  
1496 of water on the culture of pacific white shrimp, *litopenaeus vannamei*, in BFT  
1497 system. *J. World Aquac. Soc.* 45, 3–14. <https://doi.org/10.1111/jwas.12093>
- 1498 Lara, G., Krummenauer, D., Abreu, P.C., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2017. The use  
1499 of different aerators on *Litopenaeus vannamei* biofloc culture system: effects on  
1500 water quality, shrimp growth and biofloc composition. *Aquac. Int.* 25, 147–162.  
1501 <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0019-8>
- 1502 Lin, Y.C., Chen, J.C., 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone  
1503 juveniles at different salinity levels. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 259, 109–119.
- 1504 Lin, Y.C., Chen, J.C., 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone)  
1505 juveniles at different salinity levels. *Aquaculture* 224, 193–201.  
1506 [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00220-5)
- 1507 Monroy-Dosta, M. del C., de Lara, R.A., Castro-Mejía, J., Castro-Mejía, G., Coelho-  
1508 Emerenciano, M.G., 2013. Composición y abundancia de comunidades microbianas  
1509 asociados al biofloc en un cultivo de tilapia. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 48, 511–520.  
1510 <https://doi.org/10.4067/S0718-19572013000300009>
- 1511 Muangkeow, B., Ikejima, K., Powtongsook, S., Gallardo, W., 2011. Growth and nutrient  
1512 conversion of white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) and Nile tilapia  
1513 *Oreochromis niloticus* L. in an integrated closed recirculating system. *Aquac. Res.*  
1514 42, 1246–1260. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02713.x>
- 1515 Muangkeow, B., Ikejima, K., Powtongsook, S., Yi, Y., 2007. Effects of white shrimp,  
1516 *Litopenaeus vannamei* (Boone), and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., stocking  
1517 density on growth, nutrient conversion rate and economic return in integrated closed  
1518 recirculation system. *Aquaculture* 269, 363–376.  
1519 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.002>
- 1520 Poli, M.A., Legarda, E.C., Lorenzo, M.A. De, Martins, M.A., Vieira, N., 2019. Paci fi c  
1521 white shrimp and Nile tilapia integrated in a bio fl oc system under di ff erent fi sh-  
1522 stocking densities 498, 83–89.
- 1523 Ponce-Palafox, J.,T., C.,A., Martínez-Palacios, L.,G., Ross., 1997. The effects of salinity  
1524 and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus*  
1525 *vannamei* Boone, 1931. *Aquaculture*, 157(1): 107-115.
- 1526 Simão, B.R., Brito, L.O., Campos Maia, A.S., Miranda, L.C., da Silveira Borges



- 1527 Azevedo, C.M., 2013. Stocking densities and feeding strategies in shrimp and tilapia  
1528 polyculture in tanks. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 48, 1088–1095.  
1529 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800039>
- 1530 Souza, J., Cardozo, A., Wasielesky, W., Abreu, P.C., 2019. Does the biofloc size matter  
1531 to the nitrification process in Biofloc Technology (BFT) systems? *Aquaculture* 500,  
1532 443–450. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.10.051>
- 1533 Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, 2nd  
1534 edn. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- 1535 Tendencia, E.A., Dela Peña, M.R., Fermin, A.C., Lio-Po, G., Choresca, C.H., Inui, Y.,  
1536 2004. Antibacterial activity of tilapia *Tilapia hornorum* against *Vibrio harveyi*.  
1537 *Aquaculture* 232, 145–152. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00531-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00531-3)
- 1538 Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H., Fang, J.G., 2009.  
1539 Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic  
1540 aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture* 297, 1–9.  
1541 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.010>
- 1542 UNESCO, 1983. *Chemical Methods for Use in Marine Environmental Monitoring*.  
1543 *Manual and Guides 12*, Intergovernmental Oceanographic Commission, Paris,  
1544 France.
- 1545 Van Wyk, P., Scarpa, J., 1999. Water quality requirements and management. In: Van  
1546 Wyk, P., Davis-Hodgkins, M., Laramore, R., Main, K., Mountain, J., Scarpa, J.  
1547 (Eds.), *Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems*. Florida  
1548 Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee 128p.
- 1549 Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006. Effect of natural  
1550 production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive  
1551 culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396–403.  
1552 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>
- 1553 Yuan, D., Yi, Y., Yakupitiyage, A., Fitzimmons, K., Diana, J.S., 2010. Effects of addition  
1554 of red tilapia (*Oreochromis* spp.) at different densities and sizes on production, water  
1555 quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus*  
1556 *vannamei*) in cement tanks. *Aquaculture* 298, 226–238.  
1557 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.011>
- 1558 Zar, J.H., 2010. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River

### CAPÍTULO III

1559

1560

1561

1562

1563 **Efeito da densidade de estocagem da tilápia do nilo *Oreochromis niloticus* na**  
1564 **qualidade da água, desempenho zootécnico e estrutura da comunidade microbiana**  
1565 **no cultivo integrado com o camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei***  
1566 **utilizando a tecnologia de bioflocos**

1567

1568 Mariana Holanda, Débora Peirão, Wellica Reis, Fabiane Serra, Hellyjúnyor Brandão,  
1569 Dariano Krummenauer, Paulo Abreu, Wilson Wasielesky e Luis Poersch\*

1570

1571 Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Instituto de Oceanografia, Universidade  
1572 Federal do Rio Grande - FURG; Rua do Hotel, nº2, Cassino, Rio Grande, RS, Brazil.  
1573 CEP: 96210-030

1574 \*Corresponding author: Rua do Hotel, nº2, Cassino, Rio Grande, RS, Brazil. CEP:96210-  
1575 030 (E-mail: [lpoersch@mikrus.com.br](mailto:lpoersch@mikrus.com.br)).

1576

1577

1578

1579 *Este capítulo será submetido à revista Aquaculture*

1580 **Resumo**

1581 Os sistemas bioflocos (BFT) e multitrófico integrado (IMTA) quando unificados podem  
1582 acarretar em uma produção mais sustentável e lucrativa. O estudo teve como objetivo  
1583 avaliar a densidade de estocagem das tilápias no controle dos níveis de sólidos suspensos  
1584 totais (SST) do sistema BFT, integrado com camarões, e se as mesmas afetariam os  
1585 processos de nitrificação do sistema. Os tratamentos foram: 1) Mono Peixe: monocultivo  
1586 de tilápias, da espécie *O. niloticus* (200 ind m<sup>-3</sup>) 2) Mono Camarão: monocultivo de  
1587 camarões (400 ind m<sup>-3</sup>) 3) IMTA 100: cultivo integrado de camarões (400 ind m<sup>-3</sup>) e  
1588 tilápias (100 ind m<sup>-3</sup>). 4) IMTA 200: cultivo integrado de camarões (400 ind m<sup>-3</sup>) e  
1589 tilápias (200 ind m<sup>-3</sup>). Não houve diferença significativa no ganho de peso, sobrevivência,  
1590 peso final ou taxa de conversão alimentar dos camarões nos tratamentos com cultivo  
1591 integrado, em relação ao controle. Houve diferença significativa nos valores de SST e no  
1592 tempo de clarificação entre os tratamentos com cultivo integrado de camarões e peixes.  
1593 Os melhores resultados foram apresentados no tratamento IMTA 100, onde houve maior  
1594 consumo de bioflocos microbianos pelos peixes, manutenção dos níveis de SST  
1595 adequados para o sistema e demonstrou uma taxa de clarificação muito reduzida. Conclui-  
1596 se que o sistema multitrófico integrando de camarões e tilápia apresenta-se como uma  
1597 alternativa viável e ambientalmente amigável para controle dos SST no cultivo de  
1598 camarão em sistema BFT.

1599 **Palavras-chave:** sólidos suspensos totais; nitrificação, bioflocos microbianos, IMTA.

1600 **Abstract**

1601 The use of sustainable farming systems has been increasingly used by farmers. Integrated  
1602 biofloc (BFT) and integrated multitrophic (IMTA) systems, when unified, can lead to  
1603 more sustainable and profitable production. The objective of this study was to evaluate  
1604 the maintenance of the total suspended solids (TSS) levels of the BFT system, the tilapia  
1605 in the integrated culture with shrimp and if the tilapia would affect the nitrification  
1606 processes. The treatments were: 1) Mono peixe: tilapia monoculture of the species *O.*  
1607 *niloticus* (200 ind m<sup>-3</sup>) 2) Mono cam: monoculture of shrimps (400 ind m<sup>-3</sup>) 3) IMTA 100:  
1608 integrated shrimp farming (400 ind m<sup>-3</sup>) and tilapia (100 ind m<sup>-3</sup>). 4) IMTA 200: integrated  
1609 shrimp culture (400 ind m<sup>-3</sup>) and tilapia (200 ind m<sup>-3</sup>). There was no statistical difference  
1610 in the weight gain, survival, final weight or feed conversion rate of the shrimp in the  
1611 treatments with integrated culture, in relation to the control. There was a statistical  
1612 difference in TSS values and clarification time between treatments with integrated shrimp  
1613 and fish culture. The best results were presented in the IMTA 100 treatment, where there  
1614 was a greater consumption of microbial flakes by the fish, maintenance of the adequate  
1615 levels of SST for the system and had a very low clarification rate. It is concluded that the  
1616 integrated multitrophic system of shrimp and tilapia is presented as a viable and  
1617 environmentally friendly alternative for the control of TSS in shrimp culture in BFT  
1618 system.

1619 **Keywords:** total suspended solids; nitrification, microbial flakes, IMTA.

## 1620 **1. Introdução**

1621 A produção de organismos aquáticos no sistema de bioflocos, ou sistema BFT, preza  
1622 pela mínima ou nenhuma renovação de água através da formação de uma comunidade  
1623 microbiana que contribui para a manutenção da boa qualidade de água dentro dos tanques,  
1624 também servindo de alimento suplementar para os animais cultivados (Krummenauer et  
1625 al., 2014).

1626 O princípio básico de um sistema de bioflocos é reciclar a amônia, principal composto  
1627 nitrogenado excretado pelos peixes e camarões, que se dá prioritariamente de duas  
1628 maneiras: através do estímulo à comunidade heterotrófica com a elevação da relação  
1629 carbono:nitrogênio nos tanques de produção, com a adição de alguma fonte de carbono  
1630 orgânico (como o melaço, por exemplo); ou ainda mediante a transformação da amônia  
1631 em um composto nitrogenado menos tóxico pela ação de microrganismos  
1632 quimioautotróficos (De Schryver et al., 2008).

1633 Essas bactérias assimilam a amônia (neste caso as bactérias do grupo AOB – amônia-  
1634 oxidantes), transformando-a em nitrito, sendo ainda um composto nitrogenado altamente  
1635 tóxico para os animais cultivados; o nitrito então vai ser utilizado pelas bactérias (neste  
1636 caso as bactérias do grupo NOB – nitrito-oxidantes), que transformarão este composto  
1637 em nitrato, produto final da nitrificação, e, por sua vez, composto nitrogenado com baixa  
1638 toxicidade para os animais cultivados.

1639 A escolha da via de remoção de amônia nos tanques de cultivo vai depender de forma  
1640 preponderante das características do sistema. Assim, tem-se que alguns sistemas de  
1641 cultivos são dominados pela via heterotrófica, outros pela via quimioautotrófica e outros,  
1642 ainda, pela mistura daquelas.

1643 A grande vantagem das bactérias heterotróficas no sistema BFT é a rápida assimilação  
1644 da amônia, e transformação deste composto em biomassa bacteriana. Porém esse estímulo  
1645 é quase manente, visto que os animais mantêm excreção constantemente dentro do tanque  
1646 de cultivo. Esta formação de biomassa bacteriana, que também compõe os sólidos  
1647 suspensos totais (SST) do sistema BFT, tem um limite, sendo ideal manter os níveis destes  
1648 sólidos de 100 a 300 mg L<sup>-1</sup> (Gaona et al., 2017) para o funcionamento adequado do  
1649 sistema. A cada grama de nitrogênio, na forma de amônia, transformada em biomassa de  
1650 bactérias heterotróficas, se consome 4,71g de oxigênio dissolvido, 3,57g de alcalinidade

1651 e 15,17g de carboidratos, para a formação de 8,07g de biomassa bacteriana e 9,65g de  
1652 dióxido de carbono (Ebeling et al., 2006).

1653 A nitrificação se torna um processo extremamente atrativo para o cultivo de  
1654 organismos aquáticos em sistema BFT, pois para as bactérias AOB e NOB assimilarem a  
1655 mesma quantidade de nitrogênio das bactérias heterotróficas elas utilizam 4,18 g de  
1656 oxigênio dissolvido, 7,05 g de alcalinidade e formam 0,20 g de biomassa bacteriana e  
1657 5,85 g de dióxido de carbono. É interessante observar que a demanda de oxigênio pelas  
1658 bactérias heterotróficas é um pouco maior quando comparado às bactérias  
1659 quimioautotróficas nitrificantes, o requisito de alcalinidade em torno da metade e a  
1660 produção de biomassa microbiana é 40 vezes maior do que a biomassa gerada a partir do  
1661 processo de nitrificação (Ebeling et al., 2006).

1662 Então, se um sistema é dominado pela via heterotrófica as concentrações de SST  
1663 devem ser respeitadas, e se ultrapassarem os valores limites, o excesso de SST deve ser  
1664 removido do sistema, algo normalmente realizado por clarificadores (Gaona et al., 2011).  
1665 A clarificação é um processo simples e eficaz, porém gera um efluente com elevada carga  
1666 poluidora, rica em matéria orgânica, nitrogênio e fósforo. Enxergar os resíduos da  
1667 aquicultura como nutrientes e coprodutos úteis para o cocultivo de outras espécies é uma  
1668 visão já conhecida como IMTA (*Integrated Multitrophic Aquaculture*) ou aquicultura  
1669 multitrófica integrada (Chopin et al., 2018).

1670 A aquicultura multitrófica integrada caracteriza-se pelo cultivo de espécies  
1671 alimentadas (por exemplo, peixes e camarões alimentados com dietas comerciais) com  
1672 espécies extrativas, que consomem compostos inorgânicos (por exemplo, algas e  
1673 microalgas) e orgânicos (por exemplo, bivalves e peixes que se alimentam de depósitos),  
1674 a utilizar o excesso de nutrientes da aquicultura para o seu crescimento (Kerrigan &  
1675 Suckling, 2018). Unificar o sistema de bioflocos com o IMTA pode gerar benefícios para  
1676 o ecossistema natural e para produtor, pois além das vantagens do cultivo em bioflocos o  
1677 IMTA tende a uma gestão que foca na estabilidade ambiental e econômica para o sistema.

1678 A chave do IMTA é a composição adequada de espécies para que os resíduos da  
1679 espécie alimentada possam ser aproveitados pela espécie “extrativista”. Além disso, o  
1680 cultivo integrado de diferentes espécies e diferentes níveis tróficos não pode ser  
1681 prejudicial para o sistema como um todo, especialmente em termos de densidade de  
1682 estocagem dos animais produzidos e disposição espacial do sistema. A incorporação de

1683 diferentes animais, de diferentes níveis tróficos no sistema integrado pode alterar de  
1684 algumas formas a comunidade microbiana do sistema BFT, comprometendo o  
1685 funcionamento do sistema. Um exemplo é a natação dos animais cultivados que pode  
1686 quebrar os bioflocos, modificando a sua estrutura e conseqüentemente a disposição das  
1687 bactérias nos bioflocos (Carvalho et al., 2006; Delatolla et al., 2009). Da mesma forma, a  
1688 composição dos microrganismos também pode ser alterada de acordo com o hábito  
1689 alimentar da espécie cultivada (Dilling & Alldredge, 2000; Avnimelech, 1999).

1690 Seguindo esse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de duas densidades  
1691 de estocagem da tilápia *O. niloticus* integrado em cultivo superintensivo de *L. vannamei*  
1692 no sistema de bioflocos, avaliando a qualidade de água, desempenho zootécnico e  
1693 comunidade microbiana.

1694

## 1695 **2. Materiais e métodos**

### 1696 **2.1. Delineamento Experimental**

1697 O estudo foi realizado na Estação Marinha de Aquicultura (EMA), Instituto de  
1698 Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, localizada na praia do  
1699 Cassino, Rio Grande, RS, Sul do Brasil (32°110S; 52°100W), durante 61 dias. Os juvenis  
1700 de *O. niloticus* foram adquiridos de uma piscicultura comercial, localizada no estado do  
1701 Rio Grande do Sul, Brasil. Antes da realização do experimento os juvenis de tilápia com  
1702 peso inicial de  $18,15 \pm 6,09$  g foram aclimatados em bioflocos durante duas semanas. Os  
1703 juvenis de *L. vannamei* com peso inicial de  $0,80 \pm 0,29$ g foram provenientes de berçário  
1704 e crescimento no sistema BFT em estufa no Laboratório de Carcinocultura da FURG.  
1705 Este experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética e Bem-Estar Animal da FURG  
1706 (Número do processo 23116.005895/2016-42).

1707 O delineamento experimental contou com 4 tratamentos, em triplicata, sendo estes:  
1708 1) Mono Cam: Monocultivo de camarões, da espécie *L. vannamei*, com densidade de 400  
1709 ind m<sup>-3</sup> e volume de 290 litros; 2) Mono Peixe: Monocultivo de tilápias, da espécie *O.*  
1710 *niloticus*, com densidade de 200 ind m<sup>-3</sup> e volume de 200 litros; 3) IMTA 100: Cultivo  
1711 multitrófico de camarões *L. vannamei* e tilápias *O. niloticus*, com densidade de 400 ind  
1712 m<sup>-3</sup> e volume de 290 L e 100 ind m<sup>-3</sup> e volume de 200 L; 4) IMTA 200: Cultivo  
1713 multitrófico de camarões *L. vannamei* e tilápias *O. niloticus*, com densidade de 400 ind  
1714 m<sup>-3</sup> e volume de 290 L e 200 ind m<sup>-3</sup> e volume de 200 L. Foi utilizado um inóculo de 20%

1715 do volume total dos tanques de bioflocos maduros provenientes de um cultivo BFT em  
1716 andamento de *L. vannamei*.

1717 Nos tratamentos IMTA 100 e IMTA 200, a água de cada tanque com peixes era  
1718 constantemente circulada para tanques contendo camarões por com o auxílio de uma  
1719 bomba (Sarlo Better®, SB 1000C, Brasil, 13W e vazão de 720L h<sup>-1</sup>) e retornava para os  
1720 tanques dos peixes por gravidade. Foram utilizados 18 tanques (área de fundo de 0,36  
1721 m<sup>2</sup>). A oxigenação e movimentação da coluna d'água foi feita com a utilização de duas  
1722 pedras porosas para auxiliar a suspensão dos bioflocos. A estabilidade da temperatura da  
1723 água foi garantida pelo uso de aquecedores com termostatos (Stealth, ETP250, USA,  
1724 250W).

1725 Os animais foram alimentados duas vezes ao dia (9:00 e 17:00 horas) com ração  
1726 comercial contendo 38% de proteína bruta (Poty Active 38, 1,6 mm, Guabi Aqua, Guabi  
1727 Nutrição e Saúde Animal S.A., Campinas, São Paulo, Brasil) seguindo a metodologia  
1728 descrita por de Garza de Yta et al., (2004). As tilápias foram alimentadas com 6% da  
1729 biomassa de acordo com Malpartida Pasco et al. (2018), já as tilápias dos tratamentos  
1730 IMTA 100 e IMTA 200 foram subalimentadas por todo o período experimental, para  
1731 estimular o consumo dos bioflocos do sistema, usando taxa de alimentação de 1% da  
1732 biomassa do tanque e ração comercial para as tilápias com tamanho de 2-3 mm  
1733 (Guabitech Mirim QS 2-3 mm, Guabi Aqua, Guabi Nutrição e Saúde Animal S.A.,  
1734 Campinas, São Paulo, Brasil), contendo 36% de proteína bruta.

1735

## 1736 **2.2. Análises de qualidade da água**

1737 O oxigênio dissolvido, temperatura e pH foram monitorados 2 vezes ao dia. A  
1738 temperatura e o oxigênio dissolvido foram mensurados com a utilização de uma sonda  
1739 multiparâmetros (YSI, modelo Pro-20, EUA) e o pH com o auxílio de um pHmetro de  
1740 bancada (Mettler Toledo, FEP20, Brasil). A salinidade foi verificada semanalmente com  
1741 o auxílio de um refratômetro óptico (ATC, RTP-20ATC, Brasil).

1742 O nitrogênio amoniacal total e nitrito foram mensurados diariamente conforme a  
1743 metodologia descrita por UNESCO (1983) e Bendschneider & Robinson (1952),  
1744 respectivamente. Os SST foram medidos semanalmente, de acordo com a metodologia  
1745 descrita por Strickland & Parsons (1972). A alcalinidade foi verificada 2 vezes por  
1746 semana seguindo a metodologia proposta por APHA (1989). Nitrato e ortofosfato foram



1747 mensurados 1 vez por semana, seguindo metodologias de Aminot & Chaussepied (1983).  
1748 As correções de pH e alcalinidade foram realizadas com a utilização de hidróxido de  
1749 cálcio  $[Ca(OH)_2]$ , de acordo com Furtado et al. (2014). As fertilizações orgânicas com  
1750 melaço ocorreram sempre que as concentrações de nitrogênio amoniacal total (NAT)  
1751 ultrapassaram  $1\text{ mg L}^{-1}$ , de acordo com Avnimelech (1999) e Ebeling et al. (2006).

1752

### 1753 **2.3.Desempenho zootécnico**

1754 O crescimento dos camarões foi acompanhado por meio de biometrias semanais e  
1755 dos peixes por biometrias quinzenais. Foi utilizando uma balança digital com precisão de  
1756  $0,01\text{g}$  (Marte Científica, AD 2000, Brasil) e o comprimento dos peixes foi medido  
1757 utilizando um ictiômetro. Para a realização das biometrias das tilápias, as mesmas foram  
1758 previamente anestesiadas com  $50\text{ mg L}^{-1}$  de cloridrato de benzocaína. Ao final do período  
1759 experimental, todos os animais vivos foram contabilizados para a determinação da  
1760 sobrevivência e crescimento. Os parâmetros analisados foram: sobrevivência (%) =  
1761  $(\text{número final de animais} / \text{número inicial de animais}) \times 100$ ; Peso médio final (g):  $\sum \text{peso}$   
1762  $\text{final dos animais vivos (g)} / \text{n}^\circ \text{ total de animais}$ ; Biomassa final (g):  $\sum \text{peso final de todos}$   
1763  $\text{animais vivos (g)}$ ; Taxa de conversão alimentar aparente (FCR) =  $\text{ração ofertada}$   
1764  $(\text{g}) / (\text{biomassa final (g)} - \text{biomassa inicial (g)})$ ; Produtividade ( $\text{kg m}^{-3}$ ):  $[(\text{biomassa final}$   
1765  $(\text{kg}) - \text{biomassa inicial (kg)}) \times 1000] / \text{volume útil do tanque (L)}$ ; Taxa de crescimento  
1766 específico ( $\text{g semana}^{-1}$ ):  $\text{ganho de peso (g)} / \text{número de semanas}$ .

1767 Para os tratamentos IMTA 100 e IMTA 200, foram calculados alguns parâmetros  
1768 levando em consideração o sistema composto por camarões e peixes. Os parâmetros  
1769 analisados foram:

1770 1. Produtividade do sistema ( $\text{Kg m}^{-3}$ ) =  $(\text{Bfc} + \text{Bfp}) - (\text{Bic} + \text{Bip}) / \text{Volume útil total (m}^3)$ ,

1771 onde Bfc = biomassa final dos camarões;

1772 Bfp = Biomassa final dos peixes;

1773 Bic = Biomassa inicial dos camarões;

1774 Bip = Biomassa inicial dos peixes;

1775 2. A taxa de conversão alimentar (FCR) =  $(\text{Rfc} + \text{Rfp}) / (\text{Bfc} + \text{Bfp}) - (\text{Bic} - \text{Bip})$ ,

1776 onde Rfc = Ração ofertada para os camarões

1777 Rfp = Ração ofertada para os peixes

1778 3. Biomassa final total (g) = biomassa final dos camarões + biomassa final dos peixes.

#### 1779 **2.4.Tamanho dos bioflocos**

1780 Para análise de medida da área do floco microbiano foram coletadas amostras de água  
1781 quinzenalmente e fixadas em formol a 4% (concentração final), armazenadas em frasco  
1782 âmbar para posteriores análises. As amostras foram observadas em um microscópio Zeiss  
1783 Primo Star com uma câmera Zeiss AxioCam ERc 5s com ampliação final de 200x. As  
1784 medições da área da partícula foram feitas através do programa Zen lite, 2011.

1785

#### 1786 **2.5.Caracterização dos microorganismos nos bioflocos**

1787 Amostras de água (50 mL) dos tratamentos foram coletadas no início, no meio e no  
1788 final do experimento e preservadas com formalina (4% v/v) para posterior análise da  
1789 comunidade microbiana (Thompson et al., 2002). A abundância de protozoários foi  
1790 determinada em amostras de 2,1 mL vertidas em câmaras de sedimentação (Utermohl,  
1791 1958) usando um microscópio de luz invertido. Os microorganismos foram classificados  
1792 em diferentes grupos: flagelados autotróficos, flagelados heterotróficos, ciliados,  
1793 rotíferos, nematóides, dinoflagelados e amebas. As contagens foram realizadas no  
1794 Laboratório de Ecologia de Microrganismos Aplicada à Aquicultura localizado na  
1795 Estação Marinha de Aquicultura, da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), no  
1796 Rio Grande do Sul, Brasil.

1797

#### 1798 **2.6.Composição proximal dos bioflocos**

1799 Ao final do estudo, amostras dos bioflocos e do músculo dos animais de cada tanque  
1800 foram coletadas para análise bromatológica (proteína bruta, lipídios, fibra e teor de cinzas  
1801 para os bioflocos). O material em suspensão foi coletado filtrando a água dos tanques  
1802 usando uma bomba submersa (Sarlo Better<sup>®</sup>, SB 1000C, Brasil, 13W e vazão de 720L h<sup>-1</sup>)  
1803 com auxílio de uma malha de 50 µm. As análises foram realizadas no Laboratório de  
1804 Nutrição de Organismos Aquáticos, localizado na Estação Marinha de Aquicultura, da  
1805 Universidade Federal do Rio Grande (FURG), no Rio Grande do Sul, Brasil. A  
1806 metodologia segue os protocolos da AOAC (2000).

1807 **2.7. Análise de Hibridização fluorescente *in situ* (FISH)**

1808 No 14º dia, correspondente ao pico de nitrito nos tratamentos onde haviam peixes,  
1809 foram coletadas amostras de água (dos tanques de monocultivo de camarão que  
1810 representaram o tratamento sem picos de nitrogenados e dos tanques IMTA 200 que  
1811 representaram os tratamentos com picos de nitrogenados) e fixadas em paraformaldeído  
1812 a 2% (concentração final). As amostras foram guardadas para posterior análise por  
1813 Hibridização fluorescente *in situ* (FISH – Fluorescent *in situ* hybridization) para  
1814 identificar e quantificar 5 grupos de microrganismos quimioautotróficos nitrificantes  
1815 (Archaea, AOB, NOB) presentes nos tanques de monocultivo de camarões e no tanque  
1816 de peixes do cultivo integrado com *L. vannamei* (IMTA 200) em sistema BFT.

1817 Antes de submeter ao protocolo de FISH, as amostras foram sonicadas em três pulsos  
1818 por 30 segundos numa amplitude de 50 a 60º (intervalo de 1 minuto entre os pulsos).  
1819 Após sonicação, as amostras foram filtradas (0,5 ml para amostras dos tanques com  
1820 camarão e 1,5 ml para amostras dos tanques de peixes, previamente diluídas em 10x) em  
1821 filtros de policarbonato (Nuclepore® - 0,2 µm) e então submetidas ao protocolo FISH  
1822 descrito por (Cottrell & Kirchman, 2003), utilizando sondas oligonucleotídicas dirigidas  
1823 ao rRNA dos grupos bacterianos correspondentes as sondas EURY 498, NEU, NSV 443,  
1824 NIT 3, NSR 447. Um controle negativo (NON) foi feito com uma sonda sem qualquer  
1825 especificidade por bactérias, para testar a eficiência da hibridização. A abundância de  
1826 bactérias foi determinada por contagem em microscópio de epifluorescência (Zeiss  
1827 axioplan) com ampliação final de 1000x, no Laboratório de fitoplâncton e  
1828 microorganismos marinhos do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio  
1829 Grande – FURG.

1830 Tabela 1. Sondas oligonucleotídicas direcionadas com rRNA de diferentes espécies e  
 1831 grupos bacterianos utilizados neste estudo. Todas as sondas foram rotuladas com  
 1832 fluorocromo Cy3.

Sonda	Sequência da sonda (5'- 3')	Especificidade	*%FA	**NaCl (mM)	Referência
NON	TAGTGACGCCGTCGA	Controle negativo	30	112	Yokokawa & Nagata (2005)
NEU	TTCCATCCCCCTCTGCCG	<i>Nitrosomonas</i> spp. - AOB	40	56	Wagner et al. (1995)
NSV 443	CCGTGACCGTTTCGTTCC	<i>Nitrospira</i> spp. – AOB	30	112	Mobarry et al. (1996)
NIT3	CCTGTGCTCCATGCTCCG	<i>Nitrobacter</i> spp. – NOB	40	56	Wagner et al. (1996)
NSR 447	GGTTTCCCGTTCCATCTT	<i>Nitrospira</i> spp. – NOB	30	112	Schramm et al. (1999)
Eury 498	CTTGCCCRGCCCTT	Euryarchaeota – Archaea	30	112	Burggraf <i>et al.</i> (1994)

1833 \*Concentração de formamida na solução de lavagem.

1834 \*\* Concentração de cloreto de sódio (NaCl) na solução de lavagem.

1835

## 1836 2.8. Análises estatísticas

1837 Os parâmetros de qualidade da água, desempenhos zootécnicos, análise bromatológica  
 1838 do floco, abundância dos microorganismos, densidade total de bactérias e densidade de  
 1839 bactérias por sondas nos diferentes tratamentos foram submetidos à análise de variância  
 1840 one-way, já a área e o diâmetro dos bioflocos foram submetido à análise de variância de  
 1841 duas vias, levando-se em consideração os pressupostos de homocedasticidade e  
 1842 normalidade (Levene e Kolmogorov-Smirnov. O teste de Tukey foi aplicado quando  
 1843 diferenças significativas foram detectadas ( $p < 0,05$ ), os dados de sobrevivência foram  
 1844 transformados (arcoseno x 0,5) antes da análise (Zar, 2010).

1845

## 1846 3. Resultados

1847 Os parâmetros de qualidade da água como temperatura, alcalinidade, salinidade e  
 1848 turbidez não diferiram entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ), diferentemente dos valores de  
 1849 oxigênio dissolvido e pH que apresentaram diferença entre os tratamentos, com menores  
 1850 médias no tratamento Mono peixe e maiores médias nos demais tratamentos (Tabela 1). Os  
 1851 valores de sólidos suspensos totais (SST) foram significativamente maiores no tratamento  
 1852 Mono peixe quando comparado ao tratamento IMTA 100, IMTA 200 e Mono cam, que  
 1853 apresentaram valores médios menores de SST. Já o tempo de clarificação foi menor no  
 1854 tratamento IMTA 100, seguido do tratamento IMTA 200 que foi igual ao tratamento Mono

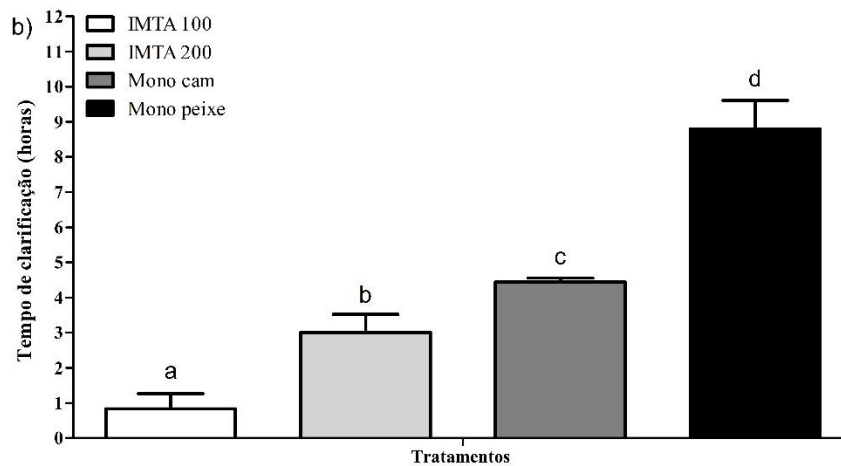
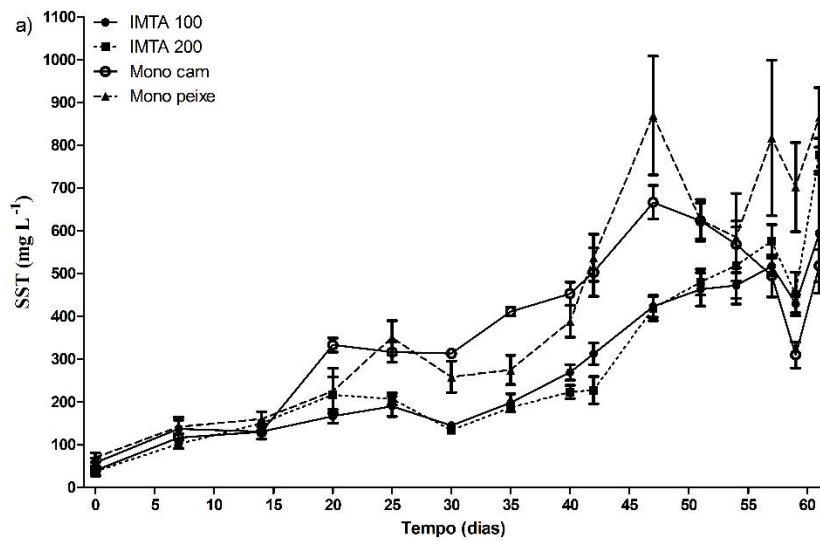
1855 cam, e o tratamento Mono peixe apresentou maior tempo de clarificação (Tabela 1; Figura  
1856 2).

1857 A concentração média do nitrogênio amoniacal total (NAT) foi menor no tratamento  
1858 IMTA 100 e Mono cam, sem diferença entre eles, mas com diferença para os demais  
1859 tratamentos, onde a maior concentração de NAT foi observada no tratamento Mono peixe,  
1860 seguido do tratamento IMTA 200 (Figura 1). Houve um pico de amônia nos tratamentos  
1861 onde as tilápias estavam presentes, que durou 10 dias, com valores médios de TAN de  
1862  $5,03 \pm 4,37$ ,  $2,4 \pm 0,41$  e  $3,9 \pm 1,43$  mg L<sup>-1</sup> nos tratamentos Mono peixe, IMTA 100 e IMTA  
1863 200, respectivamente. A concentração média de nitrito foi menor no tratamento Mono cam,  
1864 onde as concentrações de nitrito permaneceram baixas ao longo de todo período  
1865 experimental, seguido do tratamento IMTA 100. Os tratamentos IMTA 200 e Mono peixe  
1866 apresentaram maiores valores de nitrito. Houve um pico de nitrito que durou 30 dias nos  
1867 tratamentos onde haviam peixes. As concentrações médias de nitrato foram maiores no  
1868 tratamento Mono peixe, diferindo dos demais tratamentos que apresentaram médias de  
1869 nitrato significativamente inferiores e não diferiram entre si (Tabela 1; Figura 2).

1870 Tabela 2: Parâmetros físicos e químicos de qualidade de água (média ± desvio padrão)  
 1871 dos tratamentos MONO Cam e MONO Peixe, IMTA 100, IMTA 200.

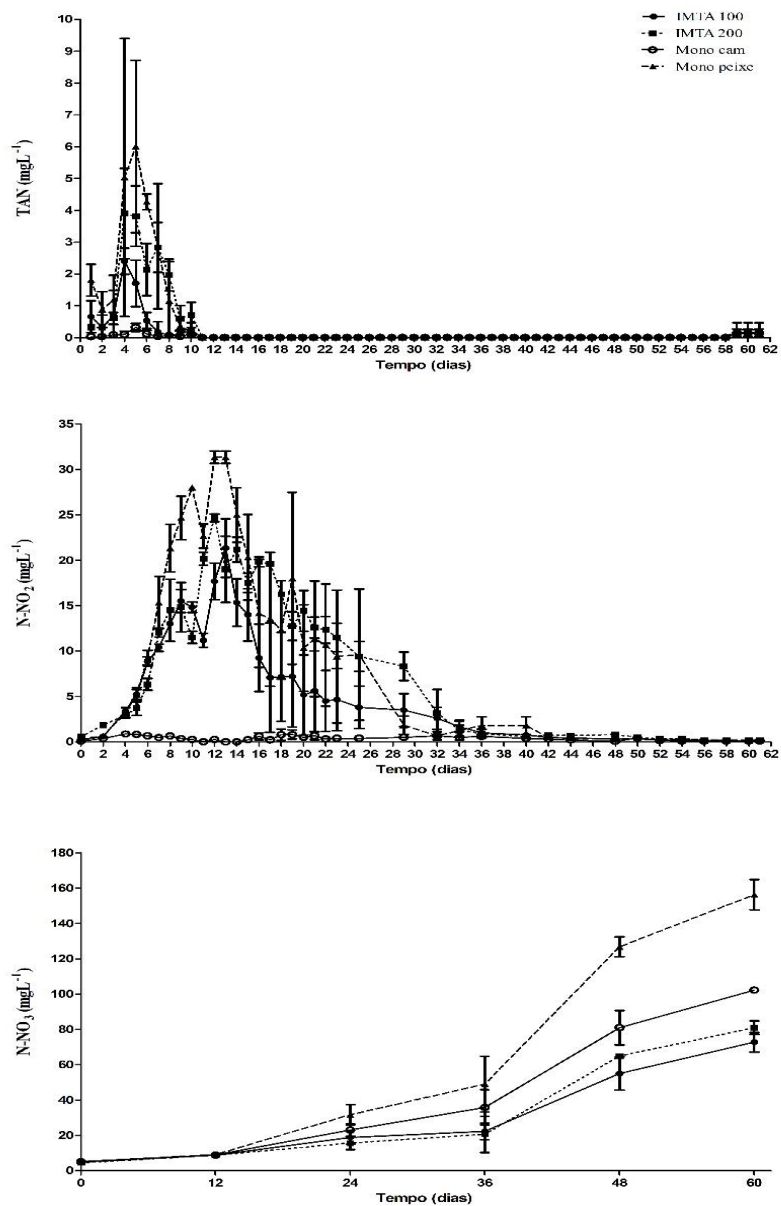
	<b>IMTA 100</b>	<b>IMTA 200</b>	<b>Mono Cam</b>	<b>Mono Peixe</b>
Temperatura (°C)	28,21 ± 0,67	28,25 ± 0,96	28,12 ± 0,85	28,30 ± 0,91
OD (mg L <sup>-1</sup> )	6,18 ± 0,55 <sup>a</sup>	5,79 ± 0,61 <sup>b</sup>	6,23 ± 0,58 <sup>a</sup>	5,97 ± 0,57 <sup>b</sup>
Salinidade	16,62 ± 0,65	16,46 ± 0,74	16,04 ± 0,78	16,90 ± 1,25
pH	8,13 ± 0,25 <sup>a</sup>	8,09 ± 0,22 <sup>ab</sup>	8,06 ± 0,26 <sup>b</sup>	8,04 ± 0,36 <sup>b</sup>
Alcalinidade	152,60 ± 34,30	145,26 ± 26,99	126,46 ± 22,34	133,57 ± 48,10
SST (mg L <sup>-1</sup> )	298,17 ± 176,70 <sup>a</sup>	313,88 ± 211,74 <sup>ab</sup>	386,67 ± 189,26 <sup>ab</sup>	410,79 ± 276,10 <sup>c</sup>
TC (horas)	0,83±0,75 <sup>a</sup>	3,00±0,89 <sup>b</sup>	4,44±0,2 <sup>b</sup>	8,8±1,41 <sup>c</sup>
Turbidez (NTU)	167,11 ± 127,86	156,84 ± 131,90	235,20 ± 177, 58	169,48 ± 135,08
NAT (mg L <sup>-1</sup> )	0,19 ± 0,27 <sup>a</sup>	0,48 ± 0,33 <sup>b</sup>	0,07 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,66 ± 0,92 <sup>c</sup>
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (mg L <sup>-1</sup> )	5,89 ± 6,99 <sup>b</sup>	8,51 ± 8,02 <sup>c</sup>	0,38 ± 0,36 <sup>a</sup>	10,68 ± 11,39 <sup>c</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg L <sup>-1</sup> )	30,42 ± 26,54 <sup>a</sup>	32,55 ± 30,75 <sup>ab</sup>	42,64 ± 38,54 <sup>ab</sup>	62,95 ± 56,73 <sup>c</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	0,42 ± 0,27	0,43 ± 0,24	0,41 ± 0,22	0,44 ± 0,29

1872 Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas (p <0,05) entre os tratamentos após ANOVA  
 1873 ONE-WAY, seguida do Teste de Tukey. OD (oxigênio dissolvido), SST (sólidos suspensos totais), NAT (nitrogênio  
 1874 amoniacal total), Alcalinidade (mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>), TC (tempo de clarificação).



1875

1876 Figura 2: Valores médios de SST (média± erro padrão com n=3) (a) e tempo de  
 1877 clarificação (média ± erro padrão com n=3) (b) nos tratamentos MONO Cam  
 1878 (Monocultivo de camarão na densidade 400 ind m<sup>-3</sup>) e MONO Peixe (Monocultivo de  
 1879 tilápia na densidade 200 ind m<sup>-3</sup>), IMTA 100 (Cultivo integrado de camarão e tilápia na  
 1880 densidade 100 ind m<sup>-3</sup>), IMTA 200 (Cultivo integrado de camarão e tilápia na densidade  
 1881 200 ind m<sup>-3</sup>), ao longo dos 61 dias de experimento.



1882

1883 Figura 1: Média (média  $\pm$  erro padrão com n=3) das concentrações dos compostos  
 1884 nitrogenados: Nitrogênio amoniacal total, nitrito e nitrato, expressos em mg L<sup>-1</sup>, nos  
 1885 tratamentos MONO Cam, MONO Peixe, IMTA 100 e IMTA 200

1886

1887 A sobrevivência, peso médio final, FCR, TCE e biomassa final dos camarões não  
 1888 apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. A produtividade dos camarões  
 1889 foi maior nos tratamentos Mono Cam e IMTA 200, sem diferença significativa entre si,  
 1890 mas diferente do tratamento IMTA 100 que apresentou menor produtividade (Tabela 3).



1891 A sobrevivência, peso médio final e TCE das tilápias não apresentou diferença  
1892 significativa entre os tratamentos. O FCR foi maior no tratamento Mono peixe quando  
1893 comparado aos tratamentos IMTA 100 e IMTA 200 que apresentaram menores valores  
1894 de FCR, inclusive menor que 1 no tratamento IMTA 200. A biomassa final foi maior nos  
1895 tratamentos Mono peixe e IMTA 200, sem diferença significativa entre eles e foi menor  
1896 no tratamento IMTA 100, sem diferença entre este e o IMTA 200. A produtividade foi  
1897 maior no tratamento Mono peixe quando comparado aos demais tratamentos e que não  
1898 diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3).

1899 Quanto ao sistema, nem a biomassa final total nem o FCR apresentou diferença  
1900 significativa entre os tratamentos IMTA 100 e IMTA 200, porém a produtividade foi  
1901 maior que no tratamento IMTA 200 e menor no tratamento IMTA 100 (Tabela 3).

1902 Tabela 3. Desempenho zootécnico (média ± desvio padrão) de *L. vannamei* e *O. niloticus*  
 1903 durante o experimento nos tratamentos MONO Cam, MONO Peixe, IMTA 100 e IMTA  
 1904 200

	<b>Monocultivo</b>	<b>IMTA 100</b>	<b>IMTA 200</b>
<b>Camarão</b>			
Sobrevivência (%)	92,77±4,12	89,09±5,36	90,56±12,23
Peso médio final (g)	5,67±1,35	4,95±1,60	5,13±1,7
FCR	1,94± 0,12	2,41 ± 0,17	2,32 ± 0,12
TCE (g semana <sup>-1</sup> )	0,53±0,07	0,49±0,09	0,49±0,02
Biomassa final (kg)	0,61±0,35	0,52±0,30	0,54±0,24
Produtividade (kg m <sup>-3</sup> )	1,79±0,12 <sup>a</sup>	1,48±0,10 <sup>b</sup>	1,54±0,08 <sup>ab</sup>
<b>Tilápia</b>			
Sobrevivência (%)	100±0,00	100±0,00	100±0,00
Peso médio final (g)	43,09±18,81	33,62±12,00	29,96±10,12
FCR	2,87±0,74 <sup>b</sup>	0,83±0,03 <sup>a</sup>	1,22±0,23 <sup>a</sup>
TCE (g semana <sup>-1</sup> )	2,86±0,91	1,66±0,45	1,35±0,28
Biomassa final (kg)	1,72±0,32 <sup>a</sup>	0,84±0,24 <sup>b</sup>	1,19±0,99 <sup>ab</sup>
Produtividade (kg m <sup>-3</sup> )	4,99±1,60 <sup>a</sup>	1,78±0,21 <sup>b</sup>	2,36±0,49 <sup>b</sup>
<b>Camarão x Tilápia</b>			
Biomassa final totl (kg)	-	0,78±0,032 <sup>b</sup>	0,91±0,12 <sup>b</sup>
Produtividade total (kg m <sup>-3</sup> )	-	1,12±0,24 <sup>c</sup>	2,04±0,1 <sup>b</sup>
FCR	-	1,69±0,08 <sup>a</sup>	1,76±0,21 <sup>a</sup>

1905 Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas (P <0,05) entre os tratamentos após ANOVA  
 1906 ONE-WAY, seguida do Teste de Tukey. FCR (Taxa de conversão alimentar), TCE (Taxa de crescimento específico).

### 1907 **3.1. Análise bromatológica do floco microbiano**

1908 A porcentagem de proteína bruta dos bioflocos apresentou diferença significativa entre  
 1909 os tratamentos, com maior porcentagem no tratamento Mono peixe, seguido do  
 1910 tratamento Mono cam e IMTA 100, que não diferiram significativamente entre si, com  
 1911 menor valor de proteína bruta no tratamento IMTA 200. Os valores de lipídios foram  
 1912 menores nos tratamentos Mono cam e Mono peixe, sem diferença significativa entre si, e  
 1913 maiores nos tratamentos IMTA 100 e IMTA 200 sem diferença significativa entre si. As  
 1914 cinzas foram menores nos tratamentos Mono cam e maiores nos tratamentos Mono peixe,

1915 IMTA 100 e IMTA 200, já os valores de fibras não apresentaram diferença significativa  
1916 entre os tratamentos (Tabela 4).

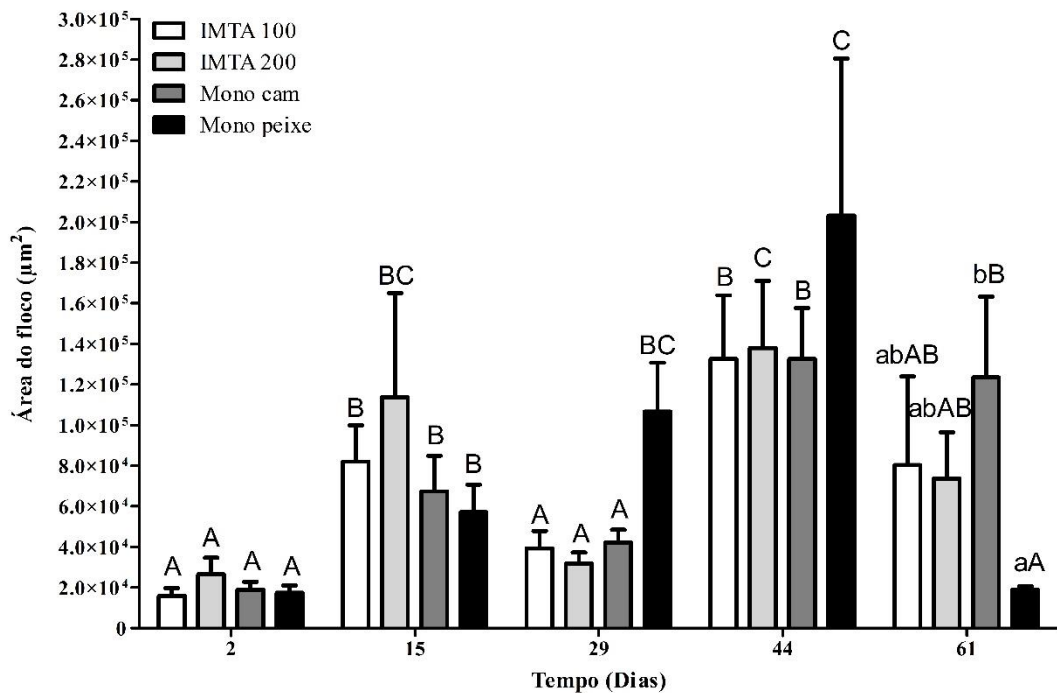
1917 Tabela 4. Composição centesimal dos bioflocos (média  $\pm$  desvio padrão) nos tratamentos  
1918 MONO Cam, MONO Peixe, IMTA 100 e IMTA 200 no final do experimento

	Tratamentos			
	Mono cam	Mono Peixe	IMTA 100	IMTA 200
PB (%)*	25,58 $\pm$ 0,73 <sup>a</sup>	22,13 $\pm$ 0,69 <sup>b</sup>	20,69 $\pm$ 0,4 <sup>b</sup>	17,74 $\pm$ 0,62 <sup>c</sup>
Lipídios (%)*	0,36 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	0,31 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	2,70 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>	1,95 $\pm$ 0,44 <sup>b</sup>
Fibras (%)*	6,81 $\pm$ 0,35	5,21 $\pm$ 0,93	6,32 $\pm$ 0,21	4,57 $\pm$ 1,54
Cinzas (%)*	36,19 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>	54,14 $\pm$ 0,18 <sup>b</sup>	52,24 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	55,16 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>

1919 Diferentes letras na mesma linha indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) \* Base de  
1920 matéria seca. PB (Proteína bruta).

### 1921 **3.2.Estrutura dos bioflocos**

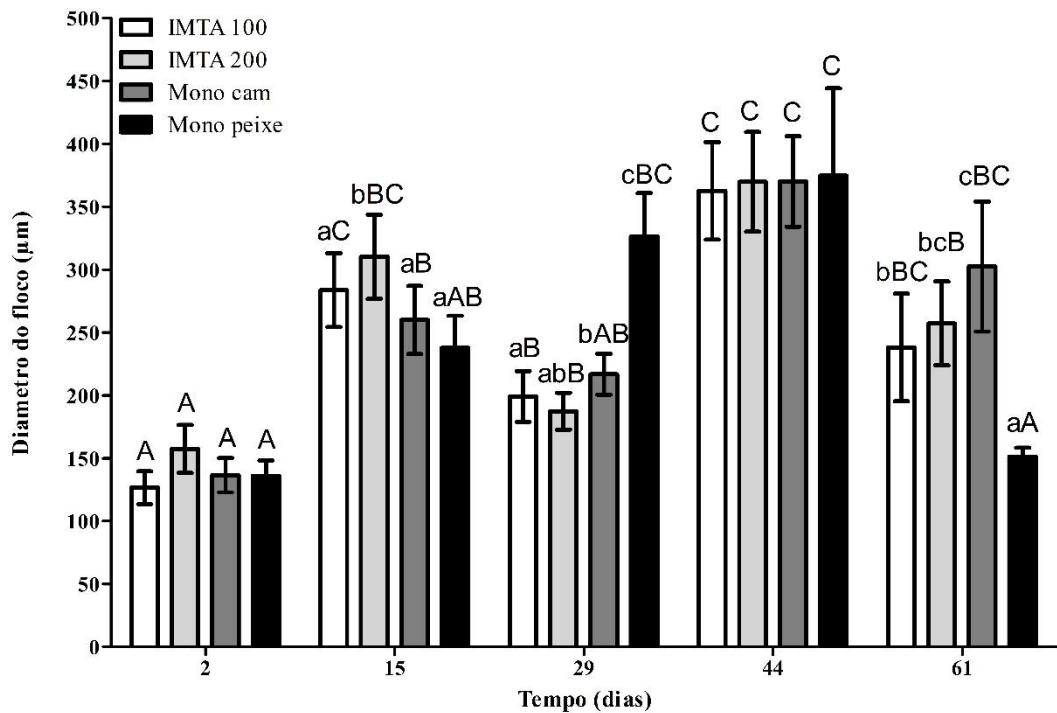
1922 Os tratamentos IMTA 100 e IMTA 200 apresentaram menores áreas do floco nos dias  
1923 2, 29 e 61 e maior área nos dias 15 e 44. O tratamento Mono cam exibiu menor área do  
1924 floco nos dias 2 e 29 e maior área nos dias 15, 44 e 61, já o tratamento Mono peixe contou  
1925 com uma menor área do floco nos dias 2 e 61 e uma área maior nos dias 29 e 44 (Figura  
1926 3).



1927

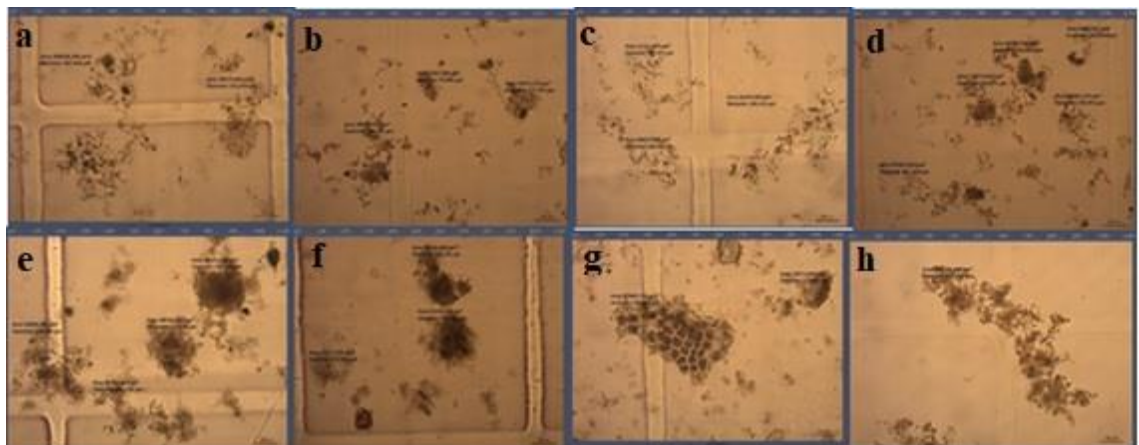
1928 Figura 3. Área ( $\mu\text{m}^2$ ) dos bioflocos (média  $\pm$  desvio padrão) nos tratamentos MONO  
 1929 Cam, MONO Peixe, IMTA 100, IMTA 200 ao longo dos 61 dias de experimento. Letras  
 1930 minúsculas significam diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia e letras  
 1931 maiúsculas significam diferença significativa no mesmo tratamento ao longo dos dias de  
 1932 experimento.

1933 Quanto ao diâmetro dos bioflocos ao longo do período experimental, o tratamento  
 1934 IMTA 100 exibiu uma menor área dos bioflocos no dia 2, seguido do dia 29 e uma maior  
 1935 área nos 15°, 44° e 61° dias (Figura 4). O tratamento IMTA 200 apresentou menor  
 1936 tamanho dos bioflocos também no 2° dia e maior no 15° dia. O tratamento Mono cam  
 1937 contou com uma menor área nos dias 2 e 29, seguido dos dias 15, 44 e 61, onde foi  
 1938 constatada menor área dos bioflocos, já o tratamento Mono peixe contou com menores  
 1939 áreas dos bioflocos nos dias 2, 15 e 61 e maiores nos dias 29 e 44. Quanto a diferença  
 1940 entre os tratamentos, esta só foi observada no 61° com o tratamento Mono peixe  
 1941 apresentando menor área e diâmetro dos bioflocos, diferindo dos demais tratamentos  
 1942 (Figura 5).



1943

1944 Figura 4. Diâmetro (µm) dos bioflocos (média ± desvio padrão) nos tratamentos MONO  
 1945 Cam, MONO Peixe, IMTA 100, IMTA 200 ao longo dos 61 dias de experimento. Letras  
 1946 minúsculas significam diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia e letras  
 1947 maiúsculas significam diferença significativa no mesmo tratamento ao longo dos dias de  
 1948 experimento.



1949

1950

1951 Figura 5. Imagens dos bioflocos nos tratamentos MONO Cam (Monocultivo de camarão na densidade 400 camarões m<sup>-3</sup>) e MONO Peixe (Monocultivo de tilápia na  
 1952 densidade 200 peixes m<sup>-3</sup>), IMTA 100 (Cultivo integrado de camarão e tilápia na densidade  
 1953 100 peixes m<sup>-3</sup>), IMTA 200 (Cultivo integrado de camarão e tilápia na densidade 200 peixes  
 1954 m<sup>-3</sup>).

1955 m<sup>-3</sup>), com ampliação final de 200x. a,b,c,d bioflocos dos tratamentos IMTA com a presença  
1956 de Camarão e Tilápia; e, f) bioflocos do tratamento Mono cam; g, h) bioflocos do tratamento  
1957 Mono Peixe.

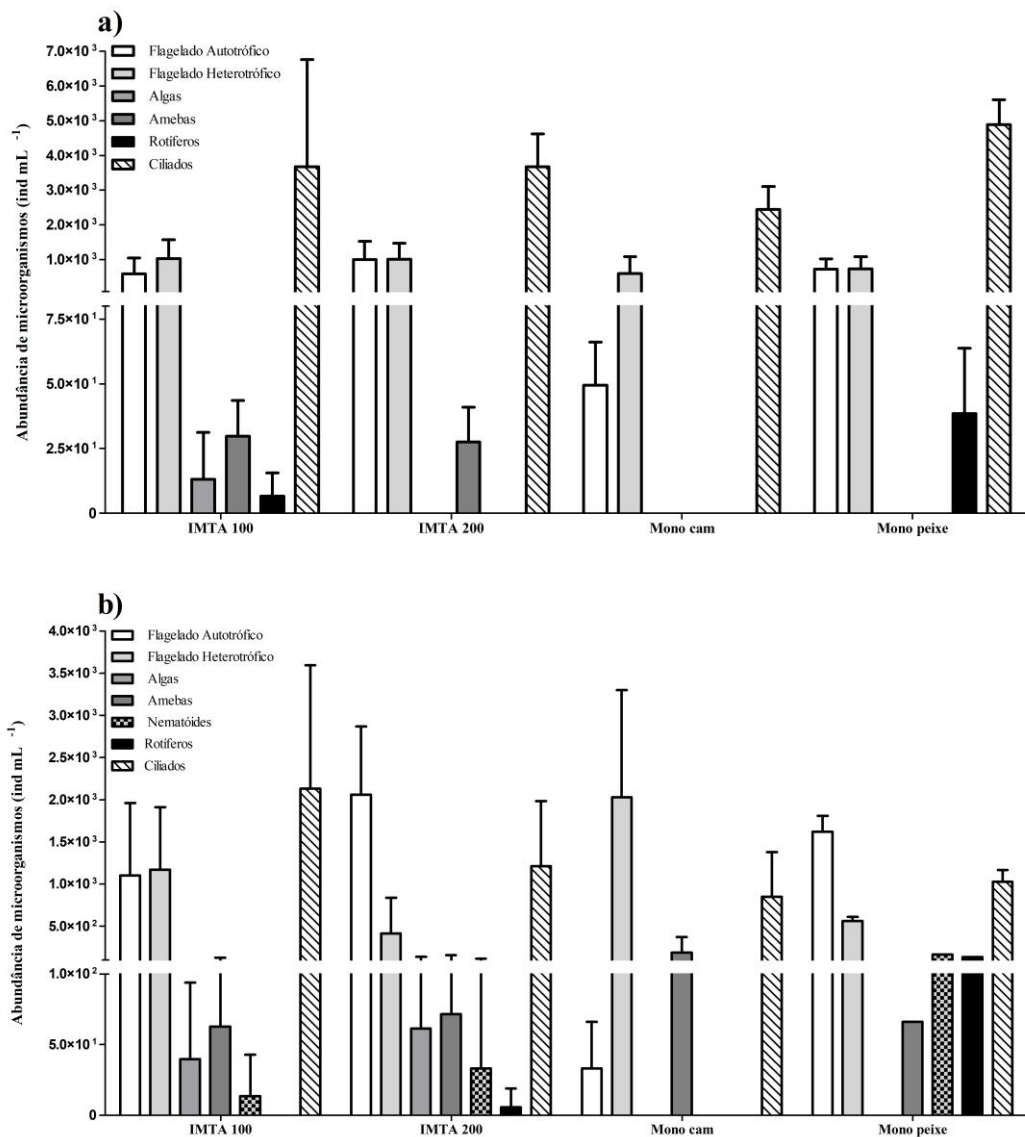
1958

### 1959 **3.3.Caracterização da comunidade microbiana do sistema BFT**

1960 Tanto no início quanto ao final do experimento os ciliados, flagelados autotróficos e  
1961 flagelados heterotróficos apresentaram maior abundância entre os protozoários. Os rotíferos  
1962 só estiveram presentes nos tratamentos IMTA 100 e Mono peixe e as amebas diferiram  
1963 significativamente com maior abundância nos tratamentos IMTA 100 e IMTA 200 (Figura  
1964 6).

1965 Ao final do experimento a abundância de flagelados autotróficos foi estatisticamente  
1966 menor no tratamento Mono cam e IMTA 100, já os flagelados heterotróficos foram mais  
1967 abundantes no tratamento Mono cam (Figura 6).

1968

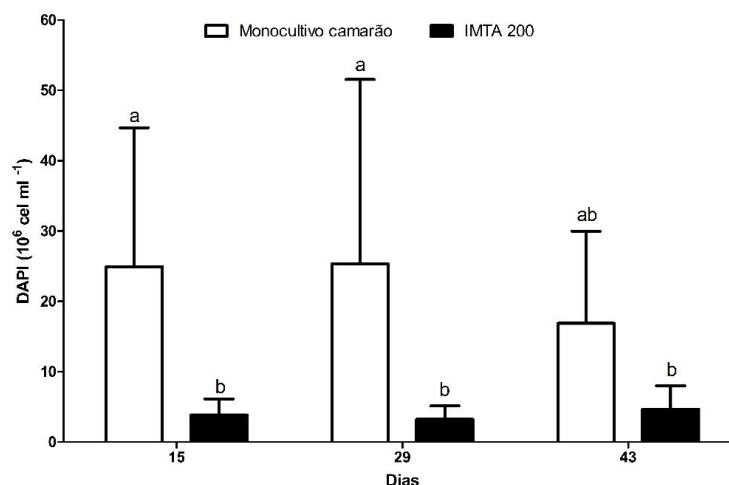


1969

1970 Figura 6. Abundâncias de microorganismos (média ± desvio padrão) presentes nos  
 1971 bioflocos nos tratamentos MONO Cam, MONO Peixe, IMTA 100 e IMTA 200, no início  
 1972 (a) e fim (b) do experimento

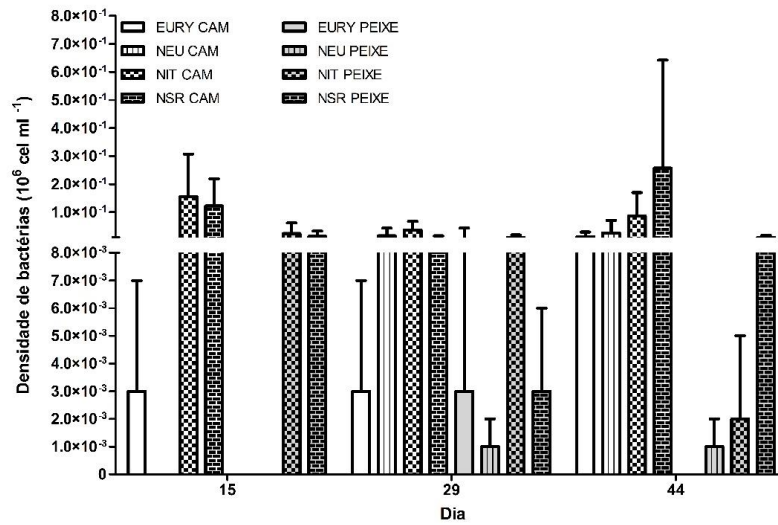
1973 Na Tabela 5 estão apresentados os dados de densidade de bactérias em cada  
 1974 tratamento, juntamente com a porcentagem de cada grupo em relação à densidade total  
 1975 de bactérias (DAPI). A densidade total de bactérias foi significativamente maior no  
 1976 tratamento Mono cam e menor no tratamento IMTA 200, nas três datas amostradas  
 1977 (Figura 7) (Tabela 5). No dia 15º, pico mais elevado de nitrito no experimento, já havia  
 1978 presença de bactérias do grupo das NOB, *Nitrobacter* spp. e *Nitrospira* spp.,  
 1979 correspondentes as sondas NIT e NSR, tanto no Mono cam quanto no IMTA 200. A

1980 presença de Archaea neste dia só foi detectada no tratamento Mono cam. Não foi  
 1981 observada a presença de bactérias *Nitrossomonas* spp. (AOB representada pela sonda  
 1982 NEU). No 29º dia todos os grupos bacterianos estavam presentes, *Nitrossomonas* spp. e  
 1983 *Nitrospira* spp. foram mais abundante no tratamento Mono cam, *Nitrospira* spp. não  
 1984 apresentou diferença entre Mono cam e IMTA 200. Não foi detectada diferença no grupo  
 1985 Archaea entre os tratamentos, neste dia. No 44º o grupo Archaeae foi mais abundante no  
 1986 tratamento Mono cam, inclusive quando comparado aos dias 15 e 29, não foi detectado  
 1987 este grupo no tratamento IMTA 200 neste dia. Seguindo o mesmo padrão para todos os  
 1988 outros dias, as AOB e NOB foram mais abundantes no tratamento Mono cam quando  
 1989 comparado ao IMTA 200 (Figura 8).  
 1990



1991  
 1992 Figura 7. Densidade total de bactérias (10<sup>6</sup> células ml<sup>-1</sup>) (DAPI) nos dias 15 (referente ao  
 1993 pico de nitrito), 29 (dia em que os valores de nitrito começaram a cair) e 43 (período onde  
 1994 a nitrificação já estava estabelecida, com valores indetectáveis de nitrito nos tratamentos),  
 1995 nos tratamentos Mono cam e IMTA 200.





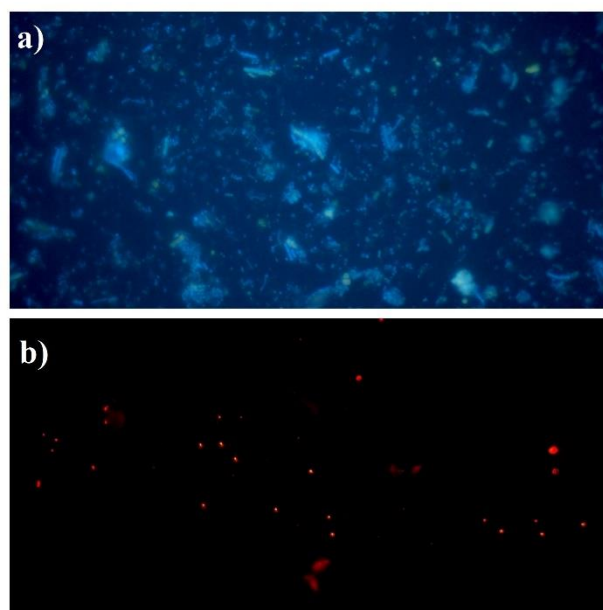
1996

1997 Figura 8. Densidade de bactérias ( $10^6$  células  $\text{ml}^{-1}$ ) por sonda específica obtidas pela  
 1998 técnica FISH nos dias 15 (referente ao pico de nitrito), 29 (dia em que os valores de nitrito  
 1999 começaram a cair) e 43 (período onde a nitrificação já estava estabelecida, com valores  
 2000 indetectáveis de nitrito nos tratamentos), nos tratamentos Mono cam e IMTA 200.

2001 Tabela 5 – Densidade de bactérias ( $10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) em cada tratamento. Os valores  
 2002 entre parênteses são a porcentagem de cada grupo em relação à densidade total de  
 2003 bactérias (DAPI). Nas linhas AOB e NOB, os valores entre parênteses representam a  
 2004 porcentagem de cada grupo em relação ao total de bactérias nitrificantes.

	<b>Dia 15</b>	<b>Dia 29</b>	<b>Dia 44</b>
<b>Camarão</b>			
AOB	0,000 ± 0,000 (0,000 ± 0,000)	0,016 ± 0,027 (25,000 ± 43,301)	0,026 ± 0,045 (2,710 ± 4,694)
NOB	0,277 ± 0,249 (100,000 ± 0,000)	0,044 ± 0,025 (75,000 ± 43,301)	0,342 ± 0,0465 (97,290 ± 4,694)
Nitrificantes totais (AOB + NOB)	0,277 ± 0,249 (1,023 ± 0,965)	0,060 ± 0,004 (0,364 ± 0,058)	0,368 ± 0,051 (1,412 ± 1,777)
Archeae	0,003 ± 0,004	0,003 ± 0,004	0,013 ± 0,016
Bactérias totais (DAPI)	24,914 ± 19,793	25,343 ± 26,207	16,880 ± 13,110
<b>Peixe</b>			
AOB	0,000 ± 0,000 (0,000 ± 0,000)	0,001 ± 0,001 (11,111 ± 19,245)	0,001 ± 0,001 (16,667 ± 28,867)
NOB	0,038 ± 0,030 (100,000 ± 0,000)	0,0130 ± 0,007 (88,889 ± 19,245)	0,012 ± 0,009 (83,333 ± 28,867)
Nitrificantes totais (AOB + NOB)	0,038 ± 0,023 (0,985 ± 0,758)	0,014 ± 0,005 (0,416 ± 0,085)	0,013 ± 0,008 (0,260 ± 0,084)
Archeae	0,000 ± 0,000	0,003 ± 0,004	0,000 ± 0,000
Bactérias totais (DAPI)	3,849 ± 0,101	3,335 ± 1,322	4,653 ± 1,561

2005 AOB = Bactérias amônia-oxidantes; NOB = Bactérias nitrito-oxidantes; DAPI  
 2006 (Densidade total de bactérias).



2007

2008 Figura 9. a) Imagens do DAPI (Abundância total de batérias) e b) bactérias coradas pela  
2009 técnica FISH (abaixo), ambas correspondentes ao tratamento Mono cam, sonda NIT 3.

2010

#### 2011 4. Discussão

2012 Os parâmetros de físicos e químicos qualidade da água como temperatura, oxigênio  
2013 dissolvido, salinidade, pH, alcalinidade, turbidez, amônia, nitrato e ortofosfato se  
2014 mantiveram dentro da faixa ideal para cultivo de *L. vannamei* (Ponce-Pelafox et al., 1997;  
2015 Van Wyk & Scarpa, 1999; Lin & Chen, 2001; Avnimelech, 2009; Furtado et al., 2011;  
2016 Furtado et al., 2014, Maicá et al., 2014).

2017 Neste estudo, foi utilizado 20% de inóculo de bioflocos provenientes de um cultivo  
2018 de camarões em sistema BFT maduro para garantir que a concentração de nitrogenados  
2019 se mantivessem baixas durante o cultivo. Ao reutilizar até 25% da água de um cultivo de  
2020 camarões em sistema BFT, com bioflocos maduro, Krummenauer et al., (2014)  
2021 observaram uma manutenção dos níveis dos compostos nitrogenados baixos; esse mesmo  
2022 padrão foi observado no tratamento Mono cam, porém, as concentrações de NAT  
2023 sofreram um aumento a partir do segundo dia de experimento até o 19º dia, nos  
2024 tratamentos onde havia peixes. Tal comportamento foi observado também para o nitrito,  
2025 a partir do 5º dia de experimento nos tratamentos onde havia peixes o nitrito começou a  
2026 subir, chegando ao valor máximo de  $24,66 \pm 6,28 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrito no tratamento IMTA  
2027 200 e  $21,33 \pm 5,57 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrito no 15º dia de experimento.

2028 Apesar das concentrações médias de NAT se mostrarem baixas, os picos de amônia  
2029 nos tratamentos IMTA 100 e IMTA 200 ultrapassaram o nível de segurança para *L.*  
2030 *vannamei* proposto por Lin & Chen (2001), de 2,44 mg L<sup>-1</sup> (salinidade 15, pH 8,05 e  
2031 temperatura de 23°C) de nitrogênio na forma de amônia total. Lin & Chen (2003) afirmam  
2032 que a CL50 – 24h de nitrito (salinidade 15, pH 8,2 e temperatura de 18°C) para juvenis  
2033 de *L. vannamei*, foi de 187,9 mg L<sup>-1</sup> e nível de segurança de 6,1 mg L<sup>-1</sup> em salinidade 15.  
2034 Os valores médios de nitrito ultrapassaram o nível de segurança no tratamento IMTA 200,  
2035 e no IMTA 100 atingiu valores elevados, chegando a 30 dias de picos de nitrito nestes  
2036 tratamentos, o que não foi observado no tratamento Mono cam.

2037 Há algumas suposições para estes elevados valores de amônia e nitrito nos  
2038 tratamentos onde haviam peixes: 1) a natação dos peixes pode ter rompido os bioflocos,  
2039 expondo seus núcleos a zonas mais oxigenadas, inibindo o metabolismo das NOB 2) a  
2040 passagem dos bioflocos pelo trato intestinal das tilápias pode ter afetado a comunidade  
2041 microbiana, diminuindo assim a abundância das AOB e NOB ou 3) As tilápias se  
2042 alimentaram dos bioflocos de maneira tal que as bactérias nitrificantes foram afetadas  
2043 pela falta de substrato.

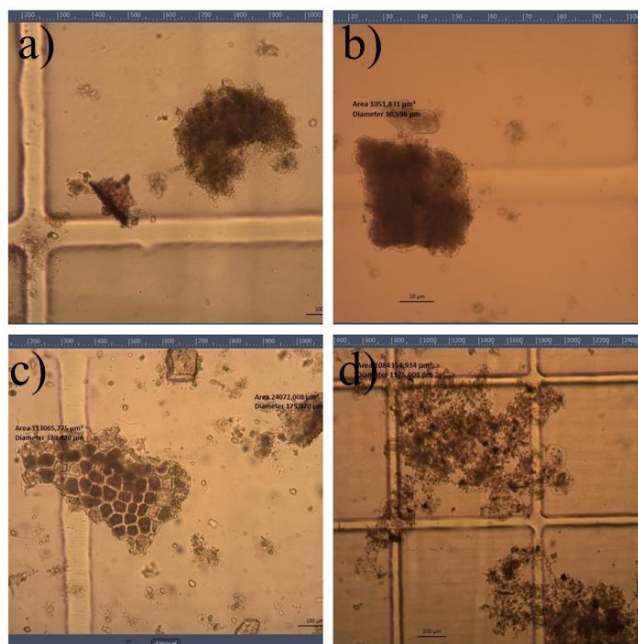
2044 As bactérias nitrificantes se distribuem em bioflocos de acordo com a taxa de  
2045 oxigênio, que é um fator determinante para seu crescimento e funcionamento adequado  
2046 funcionamento. As bactérias nitrito-oxidantes (NOB) são encontradas em maior  
2047 abundância nas áreas internas dos bioflocos, sendo mais sensíveis a concentrações mais  
2048 elevadas de oxigênio e as bactérias amônia-oxidantes (AOB) habitam a camada mais  
2049 externa, por serem mais susceptíveis a níveis mais elevados de oxigênio (Carvalho et al.,  
2050 2006; Figueroa & Silverstein, 1992; Vlaeminck et al., 2010).

2051 O tamanho do agregado microbiano não apenas influencia as propriedades de  
2052 sedimentação, mas também afeta a proporção de produção e consumo de nitrogênio pelas  
2053 bactérias nitrificantes; uma menor atividade de AerAOB (Bactérias amônia-oxidantes  
2054 aeróbicas) foram observadas com agregados maiores (Nielsen et al., 2005; Vlaeminck et  
2055 al., 2009)

2056 Segundo os resultados encontrados no presente estudo parece não haver um padrão  
2057 tão definido quanto ao tamanho dos bioflocos e os picos de nitrito. De maneira geral, os  
2058 bioflocos contendo peixes apresentaram tamanhos maiores no dia correspondente ao pico  
2059 de nitrito (15° dia), sem diferença na área do floco do monocultivo de camarão. É

2060 interessante notar que os bioflocos onde havia a presença dos peixes não tinham uma  
2061 forma bem definida, eram menos densos, com maior espaço no núcleo, então  
2062 possivelmente a medição realizada não foi tão eficiente, pois era difícil saber se aquele  
2063 era um floco único com um núcleo bem espaçado ou se eram vários bioflocos unidos por  
2064 uma mucilagem (Figura 9), provavelmente proveniente do muco produzido pelos peixes.  
2065 Já no tratamento Mono Cam registrou-se um biofloco extremamente denso e concentrado,  
2066 diferenciando-se dos demais tratamentos (Figura 9).

2067 Num biofloco menos denso, como no caso dos tratamentos IMTA 100 e 200, pode  
2068 acontecer das bactérias NOB serem expostas a níveis mais elevados de oxigênio. Essa  
2069 estrutura do biofloco pode ser justificada pela presença da tilápia em elevadas densidades,  
2070 já que os peixes através da sua natação ou até mesmo pela passagem dos bioflocos pelo  
2071 seu trato intestinal, podem causar a desagregação dos bioflocos e a composição das  
2072 bactérias pode ser alterada de acordo com o hábito alimentar da espécie, ou seja, podem  
2073 alterar o processo de nitrificação (Dilling & Alldredge, 2000; Crab et al., 2007).



2074  
2075 Figura 9. Imagens dos bioflocos microbianos no 15º dia de experimento nos tanques  
2076 de monocultivo de camarão (a e b) e tanques onde haviam peixes (c e d)

2077 Analogicamente, esse padrão de quebra dos bioflocos pelos peixes pode ser  
2078 comparado aos resultados do estudo de Lara et al., (2017), onde os autores observaram  
2079 que alguns modelos de aeradores podem romper as partículas de bioflocos, sugerindo que  
2080 a redução do seu tamanho poderia afetar o processo de nitrificação. Ainda de acordo com

2081 esses autores, é bastante provável que a turbulência da água possa causar o rompimento  
2082 dos bioflocos e gerar a diminuição do processo de nitrificação em um sistema BFT.

2083 Souza et al. (2019) avaliaram se o tamanho dos bioflocos realmente afetaria os  
2084 processos de nitrificação prejudicando a formação de colônias de bactérias nitrificantes  
2085 (AOB e NOB). Porém nos resultados obtidos os autores não comprovaram essa hipótese,  
2086 concluindo que não há uma relação entre o tamanho do floco microbiano e o processo de  
2087 nitrificação, mas sim que a ruptura (ocasionada no estudo pelo processo de filtração) ,  
2088 reduziu a quantidade de sólidos em suspensão e, conseqüentemente, o substrato para as  
2089 bactérias nitrificantes, prejudicando a ação desses microrganismos dentro do sistema de  
2090 cultivo.

2091 Os resultados de abundância total de bactérias no tratamento IMTA 200 confirma a  
2092 teoria que as tilápias consumiram os bioflocos de tal maneira que, sem substrato  
2093 suficiente, as bactérias nitrificantes tiveram seu metabolismo comprometido. O inóculo  
2094 utilizado no estudo foi proveniente de um monocultivo de *L. vannamei*, com a nitrificação  
2095 já bem estabelecida, com a presença de nitrato. No momento que o inóculo foi transferido  
2096 para os tanques de cultivo integrado de *L. vannamei* e tilápia, os peixes, subalimentados,  
2097 consumiram os bioflocos, comprovado pelo crescimento dos peixes, FCR menor que 1,  
2098 menor valores de SST, menor tempo de clarificação e menor abundância de flagelados  
2099 heterotróficos neste tratamento. Como a abundância de bactérias foi bem menor,  
2100 conseqüentemente a abundância dos flagelados heterotróficos que pastam as bactérias do  
2101 biofloco, também foi afetada.

2102 Quanto ao resultado da técnica de FISH, foi possível observar que já existiam  
2103 bactérias, tanto AOB quanto NOB, nos tanques de cultivo no 15º dia, equivalente ao pico  
2104 de nitrito, porém não se sabe ao certo se existe uma relação entre abundância de bactérias  
2105 oxidadoras de amônia e nitrito e a eficiência na nitrificação. Carvalho et al. (2006)  
2106 afirmam em seu estudo que uma causa possível para a discrepância na abundância e  
2107 atividade da AOB e NOB pode ser uma subestimação de AOB devido à má cobertura das  
2108 sondas FISH existentes. O mesmo pode ter ocorrido no presente estudo, além disso,  
2109 também é possível que algumas das bactérias detectadas pela FISH, como é o caso das  
2110 *Nitrossomonas* spp. e *Nitrobacter* spp. neste estudo, poderiam estar inativas. Sabe-se que  
2111 as bactérias nitrificantes retêm os seus ribossomos por longos períodos de tempo, mesmo  
2112 após a cessação de sua atividade (Giesek et al., 2003). Dessa forma, métodos baseados

2113 em reação em cadeia da polimerase (PCR) para enumeração de bactérias pela  
2114 quantificação de cópias de genes nos bioflocos, poderiam ser uma técnica mais apropriada  
2115 para caracterização da comunidade bacteriana no sistema BFT.

2116 Quanto aos valores de sólidos suspensos totais, a maior média no tratamento Mono  
2117 peixe indica uma elevada produção de sólidos pelas tilápias, principalmente quando  
2118 alimentadas com uma taxa de arraçoamento ideal para a espécie. Azim & Little, (2008),  
2119 embora utilizando um clarificador em seu experimento com cultivo de tilápias em sistema  
2120 BFT, afirmam que não foi fácil manter o nível de SST em 500 mg L<sup>-1</sup>, e que muitas vezes  
2121 o nível de SST chegou a 1000 mg L<sup>-1</sup>.

2122 O tratamento IMTA 100 se mostrou mais eficiente no consumo e manutenção dos  
2123 níveis de SST no cultivo integrado com *L. vannamei*, com menor média de SST totais e  
2124 menor tempo de clarificação, uma economia de 81%, 73% e 90,5% em horas de  
2125 clarificação que nos tratamentos Mono cam, IMTA 200 e Mono peixe, respectivamente.  
2126 A maior densidade e biomassa de peixes no tratamento IMTA 200 também incrementou  
2127 a concentração de sólidos do sistema integrado, comprovando a importância da  
2128 manutenção da relação camarão:peixe adequada para que se obtenha o melhor  
2129 desempenho das tilápias como espécie extrativista orgânica no sistema integrado. A  
2130 relação de biomassa camarão:peixe inicial foi de 1:1,13 no tratamento IMTA 100 e 1:2,26  
2131 no tratamento IMTA 200 e essa relação se manteve proporcionalmente com 1:1,6 e 1:2,20  
2132 ao final do experimento, para o tratamento IMTA 100 e IMTA 200, respectivamente.

2133 O consumo mais eficiente dos SST pelas tilápias no tratamento IMTA 100 é  
2134 comprovado pelo FCR igual a 0,87. Isso significa que foi necessário 870g de ração para  
2135 produção de 1kg de peixe neste tratamento, sendo os bioflocos um alimento  
2136 complementar para os animais cultivados, e também servindo até como alimento para as  
2137 tilápias que estavam sendo subalimentadas com alimento inerte. O mesmo padrão foi  
2138 observado por Poli et al. (2019) com conversões alimentares baixas para tilápia (de 0,21  
2139 a 0,24) subalimentadas com 1% da biomassa em cultivo integrado com *L. vannamei* em  
2140 sistema BFT.

2141 Sabe-se que a clarificação pode interferir no processo de nitrificação (Ebeling et al.,  
2142 2006) e o que os peixes do tratamento IMTA 200 fizeram uma espécie de clarificação  
2143 biológica que pode ter contribuído, também, para elevados níveis de nitrogenados. A  
2144 elevada densidade de estocagem dos peixes (200 ind m<sup>-3</sup>) e consequentemente a elevada

2145 relação camarão:peixe (relação densidade camarão:peixe de 0,5 e relação biomassa inicial  
2146 e final camarão:peixe de 1:2,2) prejudicou o processo de nitrificação, chave para a  
2147 eficiência do sistema BFT. Novas relações camarão:tilápia devem ser estudadas, bem  
2148 como estratégias de manejo alimentar dos peixes para que o sistema multitrófico  
2149 integrado funcione de maneira adequada.

2150 O desempenho zootécnico dos camarões não foi prejudicado pela introdução das  
2151 tilápias no sistema em nenhuma das densidades testadas, porém a exposição crônica a  
2152 elevados níveis de nitrito pode ter prejudicado o desempenho zootécnico dos animais  
2153 neste estudo. A toxicidade do nitrito em camarões se dá no transporte de oxigênio quando  
2154 o nitrito se liga à hemocianina, molécula responsável pelo transporte de oxigênio no corpo  
2155 dos camarões e outros invertebrados, transformando-a em metahemocianina, tornando-a  
2156 incapaz de ceder o oxigênio para os tecidos causando hipóxia funcional e, por  
2157 conseguinte, a morte dos animais (Gross, 2004; Barbieri et al., 2016; Ramírez-Rochín et  
2158 al., 2017). Já para os peixes é a hemoglobina que através da ligação com o nitrito se  
2159 transforma em metahemoglobina, causando também hipóxia funcional.

2160 Quanto à composição centesimal dos bioflocos, é interessante destacar a menor  
2161 concentração de proteína bruta no floco do tratamento IMTA 200. Esse resultado está  
2162 diretamente ligado ao baixo FCR do tratamento, e ao fato que a tilápia aproveitou melhor  
2163 a proteína do floco microbiano no cultivo integrado com *L. vannamei*. As tilápias são  
2164 conhecidas por utilizar partículas alimentares produzidas *in situ*, incluindo bactérias em  
2165 suspensão (Azim et al., 2003; Azim & Little, 2008; Crab et al., 2007), mostrando ser uma  
2166 espécie interessante para compor o cultivo integrado com camarões marinhos em sistema  
2167 BFT e consumir o excesso de sólidos suspensos totais do sistema. A elevada concentração  
2168 de PB no tratamento Mono peixe indica provavelmente que a proteína contida na ração  
2169 das tilápias não está sendo totalmente aproveitada, aumentando a concentração de  
2170 nitrogênio no floco microbiano e gerando um possível efluente rico em nitrogênio, como  
2171 pôde-se observar pela maior concentração de nitrato ao final do período experimental  
2172 neste tratamento.

2173 No presente estudo os bioflocos apresentaram valores de proteína bruta, lipídios,  
2174 fibras e cinzas semelhantes a outros estudos (Bauer et al., 2012; Emerenciano et al., 2011;  
2175 Ju et al., 2008; Wasielesky et al., 2006) e menores quando comparados aos resultados  
2176 outros estudos como Azim & Little, (2008) com biofloco proveniente do cultivo de



2177 tilápias, Kuhn et al., (2010 e 2016) utilizando bioflocos oriundos do cultivo de tilápia para  
2178 alimentar *L. vannamei*.

2179

## 2180 **5. Conclusões**

2181 Com os resultados obtidos conclui-se que o sistema multitrófico integrado entre  
2182 as espécies *L. vannamei* e *O. niloticus* pode ser utilizado com uma alternativa viável  
2183 ambientalmente para o controle dos SST no cultivo do camarão *L. vannamei* em sistema  
2184 BFT. Com os resultados obtidos no tratamento IMTA 100 observou-se um maior  
2185 consumo de bioflocos pelas tilápias sem que o desempenho zootécnico dos camarões  
2186 fosse prejudicado. Houve o controle dos níveis de SST pelas tilápias, mantendo o nível  
2187 dentro do adequado para a espécie alvo, além de necessitar de uma taxa de clarificação  
2188 muito reduzida. Comprovou-se que o processo de nitrificação não foi interferido pelo  
2189 tamanho dos bioflocos nem pelos níveis de SST, porém conclui-se que os tratamentos  
2190 onde havia a presença das tilápias apresentou os maiores níveis de compostos  
2191 nitrogenados. Sendo assim pode-se afirmar que os bioflocos são modificados de acordo  
2192 com as espécies cultivadas no meio. A espécie cultivada pode afetar o formato e a  
2193 estrutura dos bioflocos prejudicando a colonização de bactérias nitrificantes que, por  
2194 conseguinte afetar o processo de nitrificação.

2195

## 2196 **6. Referências bibliográficas**

2197 American Public Health Association (APHA), 1989. Standard Methods for the  
2198 Examination of Water and Waste Water, 16th edn. American Public Health  
2199 Association, AWWA, WPCF, New York.

2200 Aminot, A., Chaussepied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin.  
2201 CNEXO, Brest 395p.

2202 AOAC - Association of Official Analytical Chemists., 2000. Official methods of analysis  
2203 of the Association of the Analytical Chemists. 17th ed. Virginia.

2204 Avnimelech, Y., 1999. Carbon r nitrogen ratio as a control element in aquaculture  
2205 systems. Aquaculture 227–235.

2206 Azim, M.E., Little, D.C., 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water  
2207 quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis*  
2208 *niloticus*). Aquaculture 283, 29–35.

- 2209 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
- 2210 Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., Mantingh, I., Van Dam, A.A., Beveridge, M.C.M., 2003.  
2211 Ingestion and utilization of periphyton grown on artificial substrates by Nile tilapia,  
2212 *Oreochromis niloticus* L. *Aquac. Res.* 34, 85–92. [https://doi.org/10.1046/j.1365-](https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00802.x)  
2213 [2109.2003.00802.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00802.x)
- 2214 Barbieri, E., Bondioli, A.C.V., de Melo, C.B., Henriques, M.B., 2016. Nitrite toxicity to  
2215 *Litopenaeus schmitti* (Burkenroad, 1936, Crustacea) at different salinity levels.  
2216 *Aquac. Res.* 47, 1260–1268. <https://doi.org/10.1111/are.12583>
- 2217 Barrington, K., Chopin, T., Robinson, S., 2009. Integrated multi-trophic aquaculture  
2218 (IMTA) in marine temperate waters. *Integr. Maric. - A Glob. Rev. - FAO Fish.*  
2219 *Aquac. Tech. Pap.* N0. 529 7–46. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00469-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00469-1)
- 2220 Bauer, W., Prentice-Hernandez, C., Tesser, M.B., Wasielesky, W., Poersch, L.H.S., 2012.  
2221 Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets  
2222 for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 342–343, 112–116.  
2223 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.02.023>
- 2224 Bendschneider, K., & Robinson, R.,J., 1952. A new spec- trophotometric method for the  
2225 determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research* 11, 87–96.
- 2226 Burggraf, S., Mayer, T., Amann, R., Schadhauer, S., Woese, C., R., Stetier, K., 1994.  
2227 Identifying Members of the Domain Archaea with rRNA-Targeted Oligonucleotide  
2228 Probes. *Appl. Environ. Microbiol.* 60(9), 3112-3119.
- 2229 Carvalho, G., Meyer, R.L., Yuan, Z., Keller, J., 2006. Differential distribution of  
2230 ammonia- and nitrite-oxidising bacteria in flocs and granules from a  
2231 nitrifying/denitrifying sequencing batch reactor. *Enzyme Microb. Technol.* 39,  
2232 1392–1398. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.03.024>
- 2233 Chopin, T., 2018. Why is Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) developing  
2234 more easily, and at a larger scale, in China than in the western world? *Int. Aquafeed*  
2235 5–7.
- 2236 Cottrell, M.T., Kirchman, D.L., 2003. Contribution of major bacterial groups to bacterial  
2237 biomass production (thymidine and leucine incorporation) in the Delaware estuary.  
2238 *Limnol. Oceanogr.* 48, 168–178. <https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1.0168>
- 2239 Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2007. Nitrogen  
2240 removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 270, 1–

- 2241 14. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.006>
- 2242 De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W., 2008. The basics of bio-  
2243 flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277, 125–137.  
2244 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019>
- 2245 de Yta, A.G., Rouse, D.B., Davis, Da., 2004. Influence of Nursery Period on the Growth  
2246 and Survival of *Litopenaeus vannamei* Under Pond Production Conditions. *J. World*  
2247 *Aquac. Soc.* 35, 357–365. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2004.tb00099.x>
- 2248 Delatolla, R., Tufenkji, N., Comeau, Y., Lamarre, D., Gadbois, A., Berk, D., 2009. In situ  
2249 characterization of nitrifying biofilm: Minimizing biomass loss and preserving  
2250 perspective. *Water Res.* 43, 1775–1787.  
2251 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.01.009>
- 2252 Dilling, L., Alldredge, A.L., 2000. Fragmentation of marine snow by swimming  
2253 macrozooplankton: A new process impacting carbon cycling in the sea. *Deep. Res.*  
2254 *Part I Oceanogr. Res. Pap.* 47, 1227–1245. [https://doi.org/10.1016/S0967-](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(99)00105-3)  
2255 [0637\(99\)00105-3](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(99)00105-3)
- 2256 Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the  
2257 stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of  
2258 ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257, 346–358.  
2259 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>
- 2260 Emerenciano, M., Ballester, E.L.C., Cavalli, R.O., Wasielesky, W., 2011. Effect of  
2261 biofloc technology (BFT) on the early postlarval stage of pink shrimp  
2262 *Farfantepenaeus paulensis*: Growth performance, floc composition and salinity  
2263 stress tolerance. *Aquac. Int.* 19, 891–901. [https://doi.org/10.1007/s10499-010-9408-](https://doi.org/10.1007/s10499-010-9408-6)  
2264 [6](https://doi.org/10.1007/s10499-010-9408-6)
- 2265 Figueroa, L.A., Silverstein, J., 1992. The effect of particulate organic matter on biofilm  
2266 nitrification. *Water Environ. Res.* 64, 728–733.  
2267 <https://doi.org/10.2175/WER.64.5.10>
- 2268 Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2011. Effect of calcium hydroxide,  
2269 carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance  
2270 of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems.  
2271 *Aquaculture* 321, 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.034>
- 2272 Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2014. The effect of different alkalinity

- 2273 levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.*  
2274 23, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9819-x>
- 2275 Gaona, C.A.P., de Almeida, M.S., Viau, V., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2017. Effect  
2276 of different total suspended solids levels on a *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)  
2277 BFT culture system during biofloc formation. *Aquac. Res.* 48, 1070–1079.  
2278 <https://doi.org/10.1111/are.12949>
- 2279 Gaona, C.A.P., Poersch, L.H., Krummenauer, D., Foes, G.K., Wasielesky, W.J., 2011.  
2280 The Effect of Solids Removal on Water Quality, Growth and Survival of  
2281 *Litopenaeus vannamei* in a Biofloc Technology Culture System. *Int. J. Recirc.*  
2282 *Aquac.* 12, 54–73. <https://doi.org/10.21061/ijra.v12i1.1354>
- 2283 Gieseke, A., Bjerrum, L., Wagner, M., Amann, R., 2003. Structure and activity of  
2284 multiple nitrifying bacterial populations co-existing in a biofilm. *Environ.*  
2285 *Microbiol.* 5, 355–369. <https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2003.00423.x>
- 2286 Granada, L., Sousa, N., Lopes, S., Lemos, M.F.L., 2016. Is integrated multitrophic  
2287 aquaculture the solution to the sectors' major challenges? – a review. *Rev. Aquac.*  
2288 8, 283–300. <https://doi.org/10.1111/raq.12093>
- 2289 Gross, A., 2004. Acute and Chronic Effects of Nitrite on White Shrimp. *J. World Aquac.*  
2290 *Soc.* 35.
- 2291 Ju, Z.Y., Forster, I., Conquest, L., Dominy, W., Kuo, W.C., David Horgen, F., 2008.  
2292 Determination of microbial community structures of shrimp floc cultures by  
2293 biomarkers and analysis of floc amino acid profiles. *Aquac. Res.* 39, 118–133.  
2294 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01856.x>
- 2295 Kerrigan, D., Suckling, C.C., 2018. A meta-analysis of integrated multitrophic  
2296 aquaculture: extractive species growth is most successful within close proximity to  
2297 open-water fish farms. *Rev. Aquac.* 10, 560–572. <https://doi.org/10.1111/raq.12186>
- 2298 Krummenauer, D., Samocha, T., Poersch, L., Lara, G., Wasielesky, W., 2014. The reuse  
2299 of water on the culture of pacific white shrimp, *litopenaeus vannamei*, in BFT  
2300 system. *J. World Aquac. Soc.* 45, 3–14. <https://doi.org/10.1111/jwas.12093>
- 2301 Kuhn, D.D., Boardman, G.D., Lawrence, A.L., Marsh, L., Flick, G.J., 2009. Microbial  
2302 floc meal as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp  
2303 feed. *Aquaculture* 296, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.07.025>
- 2304 Kuhn, D.D., Lawrence, A.L., Crockett, J., Taylor, D., 2016. Evaluation of bioflocs

2305 derived from confectionary food effluent water as a replacement feed ingredient for  
 2306 fishmeal or soy meal for shrimp. *Aquaculture* 454, 66–71.  
 2307 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.12.009>  
 2308 Lara, G., Honda, M., Poersch, L., Wasielesky, W., 2017. The use of biofilm and different  
 2309 feeding rates in biofloc culture system: the effects in shrimp growth parameters.  
 2310 *Aquac. Int.* 25, 1959–1970. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0151-0>  
 2311 Lin, Y.C., Chen, J.C., 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone  
 2312 juveniles at different salinity levels. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 259, 109–119.  
 2313 Lin, Y.C., Chen, J.C., 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone)  
 2314 juveniles at different salinity levels. *Aquaculture* 224, 193–201.  
 2315 [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00220-5)  
 2316 Maicá, P.F., de Borba, M.R., Martins, T.G., Wasielesky, W., 2014. Effect of salinity on  
 2317 performance and body composition of Pacific white shrimp juveniles reared in a  
 2318 super-intensive system. *Rev. Bras. Zootec.* 43, 343–350.  
 2319 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000700001>  
 2320 Malpartida Pasco, J.J., Carvalho Filho, J.W., de Espirito Santo, C.M., Vinatea, L., 2018.  
 2321 Production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* grown in BFT using two aeration  
 2322 systems. *Aquac. Res.* 49, 222–231. <https://doi.org/10.1111/are.13451>  
 2323 Mobarry, B.K., Wagner, M., Urbain, V., Rittmann, B.E., Stahl, D.A., 1996. Phylogenetic  
 2324 probes for analyzing abundance and spatial organization of nitrifying bacteria. *Appl.*  
 2325 *Environ. Microbiol.* 62(6), 2156-2162.  
 2326 Nielsen, M., Bollmann, A., Sliemers, O., Jetten, M., Schmid, M., Strous, M., Schmidt, I.,  
 2327 Larsen, L.H., Nielsen, L.P., Revsbech, N.P., 2005. Kinetics, diffusional limitation  
 2328 and microscale distribution of chemistry and organisms in a CANON reactor. *FEMS*  
 2329 *Microbiol. Ecol.* 51, 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.09.003>  
 2330 Poli, M.A., Legarda, E.C., Lorenzo, M.A. De, Martins, M.A., Vieira, N., 2019. Pacific  
 2331 white shrimp and Nile tilapia integrated in a biofloc system under different fish-  
 2332 stocking densities 498, 83–89.  
 2333 Ponce-Palafox, J., T., C., A., Martínez-Palacios, L., G., Ross., 1997. The effects of salinity  
 2334 and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus*  
 2335 *vannamei* Boone, 1931. *Aquaculture*, 157(1): 107-115.  
 2336 Ramírez-Rochín, J., Frías-Espicueeta, M.G., Fierro-Sañudo, J.F., Alarcón-Silvas, S.G.,

2337 Fregoso-López, M.G., Páez-Osuna, F., 2017. Acute toxicity of nitrite on white  
 2338 shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles in low-salinity water. *Aquac. Res.*  
 2339 48, 2337–2343. <https://doi.org/10.1111/are.13069>

2340 Schramm, A., de Beer, D., van den Heuvel, J.C., Ottengraf, S., Amann, R., 1999.  
 2341 Microscale Distribution of Populations and Activities of *Nitrosospira* and *Nitrospira*  
 2342 spp. along a Macroscale Gradient in a Nitrifying Bioreactor: Quantification by In  
 2343 Situ Hybridization and the Use of Microsensors. *Appl. Environ. Microbiol.* 65,  
 2344 3690-3696.

2345 Shuve, H., Caines, E., Ridler, N., Chopin, T., Reid, G.K., Sawhney, M., Lamontagne, J.,  
 2346 Szemerda, M., Marvin, R., Powell, F., Robinson, S., Boyne-Travis, S., 2009. Survey  
 2347 Finds Consumers Support Integrated Multitrophic Aquaculture: Effective Marketing  
 2348 Concept Key. *Glob. Aquac. Advocate* 22–23.

2349 Souza, J., Cardozo, A., Wasielesky, W., Abreu, P.C., 2019. Does the biofloc size matter  
 2350 to the nitrification process in Biofloc Technology (BFT) systems? *Aquaculture* 500,  
 2351 443–450. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.10.051>

2352 Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, 2nd  
 2353 edn. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.

2354 Thompson, F.L., Abreu, P.C., Wasielesky, W., 2002. Importance of biofilm for water  
 2355 quality and nourishment in intensive shrimp culture. *Aquaculture* 203, 263–278.  
 2356 [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00642-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00642-1)

2357 UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization),  
 2358 1983. *Chemical Methods for Use in Marine Environmental Monitoring*.  
 2359 Intergovernmental Oceanographic Commission Manual and Guides, Paris.

2360 Van Wyk, P., Scarpa, J., 1999. Water quality requirements and management. In: Van  
 2361 Wyk, P., Davis-Hodgkins, M., Laramore, R., Main, K., Mountain, J., Scarpa, J.  
 2362 (Eds.), *Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems*. Florida  
 2363 Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee 128p.

2364 Vlaeminck, S.E., Cloetens, L.F., Carballa, M., Boon, N., Verstraete, W., 2009. Granular  
 2365 biomass capable of partial nitritation and anammox. *Water Sci. Technol.* 59, 610–  
 2366 617. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.731>

2367 Vlaeminck, S.E., Terada, A., Smets, B.F., De Clippeleir, H., Schaubroeck, T., Bolea, S.,  
 2368 Demeestere, L., Mast, J., Boon, N., Carballa, M., Verstraete, W., 2010. Aggregate

2369 size and architecture determine microbial activity balance for one-stage partial  
2370 nitrification and anammox. *Appl. Environ. Microbiol.* 76, 900–909.  
2371 <https://doi.org/10.1128/AEM.02337-09>

2372 Wagner, M., Rath, G., Amann, R., Koops, H.P., Schleifer, K.H., 1995. In situ  
2373 identification of ammonia-oxidizing bacteria. *Syst. Appl. Microbiol.* 18, 251–264.  
2374 [https://doi.org/10.1016/S0723-2020\(11\)80396-6](https://doi.org/10.1016/S0723-2020(11)80396-6)

2375 Wagner, M.; Rath, G.; Koops, H.P.; Flood, J.; Amann, R., 1996. In situ analysis of  
2376 nitrifying bacteria in sewage treatment plants. *Water Sci. Technol.* 34, 237-244.  
2377 [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00514-8](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00514-8)

2378 Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006. Effect of natural  
2379 production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive  
2380 culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396–403.  
2381 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>

2382 Yokokawa, T., Nagata, T., 2005. Growth and grazing mortality rates of phylogenetic  
2383 groups of bacterioplankton in coastal marine environments. *Appl. Environ.*  
2384 *Microbiol.* 71, 6799–6807. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.11.6799-6807.2005>

2385 Zar, J.H., 2010. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River.  
2386  
2387

## CAPÍTULO IV

2388

2389

2390

2391 **Cultivo multitrófico integrado do camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei***  
2392 **e da tilápia *Oreochromis niloticus* em sistema superintensivo, utilizando a tecnologia**  
2393 **de bioflocos em escala piloto**

2394

2395 Mariana Holanda<sup>1</sup>, Gabriel Santana<sup>1</sup>, Gabriele Lara<sup>1</sup>, Plinio Furtado<sup>1</sup>, Alessandro  
2396 Cardozo<sup>1,2</sup>, Wilson Wasielesky<sup>1,2</sup> e Luis Henrique Poersch<sup>1,2</sup>.

2397 <sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Instituto de Oceanografia, Universidade  
2398 Federal do Rio Grande - FURG; Rua do Hotel, n°2, Cassino, Rio Grande, RS, Brazil.  
2399 CEP: 96210-030

2400 <sup>2</sup>Laboratório de Carcinocultura, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio  
2401 Grande – FURG

2402

2403

2404

2405 *Capítulo submetido à revista Aquaculture International*



2406 **Resumo**

2407 A produção de camarão no sistema BFT apresenta muitas vantagens, porém o sistema  
2408 fechado gera um excesso de sólidos. Por sua capacidade de consumir a produtividade  
2409 natural, a tilápia pode atuar na redução dos níveis de sólidos suspensos totais (SST) no  
2410 sistema de bioflocos. O objetivo foi determinar a viabilidade do cultivo integrado da  
2411 tilápia com o camarão além de avaliar o potencial da tilápia na redução dos níveis de  
2412 sólidos suspensos totais do cultivo do camarão em sistema de bioflocos. O experimento  
2413 durou 78 dias e contou com 2 tratamentos (2x3): 1) T35 – cultivo integrado de camarão  
2414 (540 ind m<sup>-3</sup>) e tilápia na densidade de 35 ind m<sup>-3</sup>; 2) T65 - cultivo integrado de camarão  
2415 (540 ind m<sup>-3</sup>) e tilápia na densidade de 65 peixes m<sup>-3</sup>. Cada tratamento contava com um  
2416 sistema de recirculação contendo 2 tanques, um para cultivo de camarão (10m<sup>3</sup>) e outro  
2417 de tilápias (4m<sup>3</sup>). Nesse sistema, a água era constantemente circulada por bombeamento  
2418 (fluxo médio: 965,66±92,83 Lh<sup>-1</sup>) e o retorno da água se dava por gravidade. Os peixes  
2419 foram alimentados inicialmente com 2% da biomassa em ração para estimular o consumo  
2420 de SST, sendo esse valor ajustado ao longo do cultivo chegando a 1% ao final do  
2421 experimento. Os dados foram submetidos ao teste T para comparação das médias entre  
2422 os tratamentos. Quanto aos SST, não houve diferença entre os tratamentos, sendo  
2423 457,27±135,56 mgL<sup>-1</sup> para T65 e 436,66±140,51 mgL<sup>-1</sup> para T35. Foi necessário o uso  
2424 de clarificadores para manutenção dos níveis de SST em 500 mgL<sup>-1</sup>, e o tempo de  
2425 clarificação não diferiu entre os tratamentos (T65: 52±18,33h e T35:32±18,33h).  
2426 Conclui-se que é possível o cultivo integrado de *L. vannamei* e tilápias mesmo sendo  
2427 alimentadas com uma baixa quantidade de ração. Não houve uma eficiência completa do  
2428 sistema em relação ao consumo de sólidos pelos peixes. Estudos futuros são necessários  
2429 para avaliar a melhor relação entre a biomassa de camarões e peixes para um equilíbrio  
2430 do sistema.

2431 **Abstract**

2432 Shrimp production in the BFT system has many advantages, but the closed system  
2433 generates an excess of solids. Due to its ability to consume natural productivity, tilapia  
2434 can act to reduce total suspended solids levels in the biofloc system. The objective was to  
2435 determine the viability of integrated shrimp and tilapia culture as well as to evaluate the  
2436 potential of the tilapia in reducing total suspended solids levels of shrimp culture in the  
2437 biofloc system. The experiment lasted 78 days and had two treatments (2x3): 1) T35 -  
2438 integrated shrimp (540 ind m<sup>-3</sup>) and tilapia culture at the density of 35 ind m<sup>-3</sup>; 2) T65 –  
2439 integrated shrimp (540 ind m<sup>-3</sup>) and tilapia culture at the density of 65 ind m<sup>-3</sup>. Each  
2440 treatment had a recirculation system containing 2 tanks, one for shrimp (10m<sup>3</sup>) and one  
2441 for tilapia (4m<sup>3</sup>). In this system, water was constantly circulated by pumping (mean flow:  
2442 965.66 ± 92.83 Lh<sup>-1</sup>) and the water return was by gravity. The fish were initially fed with  
2443 2% of the biomass in feed to stimulate the consumption of SST. This value was adjusted  
2444 throughout the culture and reached 1% by the end of the experiment. The data were  
2445 submitted to the T test to compare the means between treatments. As for TSS, there was  
2446 no difference between treatments, being 457.27 ± 135.56 mg L<sup>-1</sup> for T65 and 436.66 ±  
2447 140.51 mg L<sup>-1</sup> for T35. The use of clarifiers was necessary in order to maintain SST levels  
2448 in 500 mgL<sup>-1</sup>, and clarification time did not differ between treatments (T65: 52 ± 18.33h  
2449 and T35: 32 ± 18.33h). It was concluded that it is possible the integrated culture of *L.*  
2450 *vannamei* and tilapias even when fed with a low amount of feed. There was no complete  
2451 efficiency of the system in relation to fish consumption of solids. Future studies are  
2452 needed to evaluate the best relationship between shrimp biomass and fish for a balanced  
2453 system.

## 2454 1. Introdução

2455 O cultivo em sistema de bioflocos (*Biofloc Technology System* – BFT) é atualmente,  
2456 a tecnologia que mais contribui para a intensificação da produção de *Litopenaeus*  
2457 *vannamei* combinando o aumento dos índices de produção com uma maior preocupação  
2458 com o meio ambiente. Este sistema reduz as trocas de água sem comprometer a qualidade  
2459 da água do sistema de produção (Wasielesky et al., 2006) e ainda permite a produção em  
2460 elevadas densidades de estocagem. Isto ocorre em função do estímulo a produção de  
2461 microrganismos, mediante fertilização orgânica e forte aeração, que consomem os  
2462 compostos nitrogenados e se transformam em biomassa proteica, que ainda serve de  
2463 alimento para algumas das espécies de organismos produzidos (Krummenauer et al.,  
2464 2011).

2465 A produção de camarão no sistema BFT apresenta inúmeras vantagens, mas ainda  
2466 existem algumas limitações. A combinação de sistema fechado e elevada produtividade  
2467 no sistema BFT, favorece o acúmulo de matéria orgânica durante a produção, produzindo  
2468 um excesso de sólidos, que pode aumentar a demanda biológica de oxigênio, pela alta  
2469 concentração de microrganismos presentes nos bioflocos que também estão consumindo  
2470 oxigênio. É recomendado que os sólidos suspensos totais (SST) no sistema BFT estejam  
2471 abaixo de 500 mg L<sup>-1</sup> (Gaona et al., 2011), quando passam desse valor, é necessária a  
2472 remoção dos sólidos em excesso, seja por processos químicos (clarificação química),  
2473 físicos (sedimentação/clarificação) ou biológicos (espécies filtradoras como bivalves e  
2474 alguns peixes).

2475 A Aquicultura Multitrófica Integrada (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture*- IMTA)  
2476 visa a preservação do ecossistema em equilíbrio e rentabilidade econômica (Shuve et al.,  
2477 2009). O conceito IMTA é flexível: pode ser aplicado em águas abertas ou sistemas  
2478 terrestres, sistemas marinhos ou de água doce, sistemas temperados ou tropicais. Em geral  
2479 incluem espécies de alto valor comercial, como peixes ou camarões, espécies  
2480 consumidoras de nutrientes, tais como macro ou microalgas e espécies detritívoras, como  
2481 moluscos filtradores (Chopin et al., 2001; Neori et al., 2004). O mais importante é que os  
2482 organismos a serem cultivados simultaneamente sejam apropriados, em diferentes níveis  
2483 tróficos, com base nas funções complementares no ecossistema, bem como para valorizar  
2484 seu valor econômico (Chopin et al., 2012). A aplicação do IMTA poderia contribuir para  
2485 o crescimento da produtividade com base na diversidade do nível trófico, além disso, a

2486 utilização de diferentes espécies permitiria a utilização máxima de nutrientes presentes  
2487 nos sólidos gerados em um sistema BFT, tornando-o ainda mais sustentável.

2488 A tilápia *O. niloticus* é uma espécie onívora, e atualmente é a terceira espécie de peixe  
2489 mais produzida no mundo (FAO, 2018). Devido a sua rusticidade e também por  
2490 apresentar melhores taxas de crescimento quando cultivada em ambientes ricos em  
2491 produtividade natural, a tilápia tem sido considerada uma espécie de grande interesse para  
2492 a produção em sistema de bioflocos (Azim & Little, 2008; Monroy-Dosta et al., 2013).  
2493 Justamente por sua capacidade de consumir a produtividade natural do sistema, a tilápia  
2494 pode ser utilizada como biorremediadora, atuando na redução dos níveis de sólidos  
2495 suspensos totais no sistema de bioflocos (Azim et al., 2003; Ekasari et al., 2014; Poli et  
2496 al., 2019).

2497 A expansão comercial do IMTA não tem sido fácil: enquanto as vantagens biológicas  
2498 e ambientais dessa prática são geralmente aceitas, as barreiras de adoção tem sido  
2499 principalmente econômicas e regulatórias (Chopin, 2018). Deste modo, estudos em escala  
2500 piloto, que visem a produção superintensiva integrada de *L. vannamei* são  
2501 extremamente necessários para o desenvolvimento dos cultivos multitróficos integrados.

2502 Existem alguns estudos que relatam o cultivo integrado de camarões e tilápias (Cruz  
2503 et al., 2008; Muangkeow et al., 2007, 2011; Simão et al., 2013; Tendencia et al., 2004,  
2504 2006; Yuan et al., 2010), porém em baixas densidades de estocagem. Poli et al. (2019)  
2505 estudaram o cultivo integrado de camarões e tilápias como um primeiro passo em direção  
2506 a um futuro IMTA para criação de camarões em tecnologia de bioflocos, porém não há  
2507 trabalhos com produção superintensiva de camarões e tilápias em sistema BFT, em escala  
2508 piloto, portanto o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do cultivo superintensivo  
2509 integrado do camarão branco *L. vannamei* e tilápia *O. niloticus* em diferentes densidades  
2510 de estocagem cultivados em sistema BFT, em escala piloto, afim de promover a  
2511 manutenção dos níveis de SST nos níveis adequados para o sistema por meio do consumo  
2512 destes pelos peixes.

2513

## 2514 **2. Material e Métodos**

### 2515 **2.1. Condições de cultivo**

2516 O estudo foi conduzido na Estação Marinha de Aquicultura, do Instituto de  
2517 Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), localizada no Sul do

2518 Brasil (32°12'16S, 52°10'38W), na estufa de estudos multitróficos. O experimento durou  
2519 78 dias e contou com 2 tratamentos, em triplicata, sendo eles: 1) T35 – cultivo integrado  
2520 de camarão (550 ind m<sup>-3</sup>) e tilápia na densidade de 35 ind m<sup>-3</sup>; 2) T65 - cultivo integrado  
2521 de camarão (550 ind m<sup>-3</sup>) e tilápia na densidade de 65 ind m<sup>-3</sup>. Utilizou-se água do mar  
2522 previamente diluída com água doce, para formulação de uma água com salinidade de 15  
2523 g L<sup>-1</sup>, utilizada no experimento. Este experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética e  
2524 Bem estar animal da Universidade Federal do Rio Grande- FURG (Número do processo  
2525 23116.005895/2016-42).

2526 Náuplios de *L. vannamei* foram adquiridos da empresa Aquatec (Aquatec®,  
2527 Canguaretama; Rio Grande do Norte, Brasil), o desenvolvimento larval foi realizado no  
2528 laboratório de Carcinocultura (EMA/IO/FURG). Após o berçário realizado na estufa de  
2529 cultivos multitróficos, os camarões foram estocados nos tanques experimentais com peso  
2530 inicial de 0,96±0,1g. Os peixes foram adquiridos de uma piscicultura comercial  
2531 (Camaquã – RS). As tilápias com peso inicial de 7,17±3,15g foram previamente  
2532 aclimatadas a salinidade do experimento e posteriormente estocados nas unidades  
2533 experimentais.

2534 Os camarões foram alimentados duas vezes ao dia (09:00h e 17:00h) com ração  
2535 comercial específica para a espécie, contendo 38% de proteína bruta (Poty Active 38, 1.6  
2536 mm, D'Aguabi, Guabi Nutrição e Saúde Animal S.A., Campinas, São Paulo, Brasil). A  
2537 taxa de arraçoamento diária foi aplicada de acordo com a metodologia descrita por Jory  
2538 et al. (2001). Os peixes foram subalimentados duas vezes ao dia (09:00h e 17:00h) com  
2539 ração comercial Guabitech Mirim QS (1,0 mm) no início do experimento, ajustando a  
2540 ração para Guabitech onívoros QS (2-3 mm/ 5-5 mm), ao longo do período experimental,  
2541 à medida que os peixes foram crescendo. Inicialmente foi ofertado 2% da biomassa de  
2542 peixes em ração para estimular o consumo de bioflocos, sendo esse valor ajustado ao  
2543 longo do cultivo chegando a 1% da biomassa ao final do experimento.

## 2544 **2.2.Sistema experimental**

2545 O sistema de recirculação integra um tanque circular de 10 m<sup>3</sup>, onde foram estocados  
2546 os camarões, e outro tanque semelhante de 4 m<sup>3</sup> de volume útil, estocados com as tilápias.  
2547 Com o auxílio de bombas submersas (SB 2700, Sarlo better, Brasil), a água foi bombeada  
2548 do tanque de camarões para o tanque de tilápias através de tubulação de PVC (40mm de  
2549 diâmetro), e retornava para o tanque com camarões por gravidade, através de tubulação

2550 (40mm) instalados a 20 cm da superfície do tanque. O sistema de recirculação operava  
2551 por 24h, com um fluxo médio de  $965,66 \pm 92,83 \text{ L h}^{-1}$ . A aeração foi provida por um  
2552 soprador de 4HP conectado ao sistema de distribuição de ar por meio de mangueiras  
2553 microperfuradas. Cada sistema de recirculação continha um clarificador cilíndrico-cônico  
2554 de fibra de vidro com volume útil de 150 L. Um sombrite foi instalado na cobertura da  
2555 estufa para atenuação de 70% da luminosidade a fim de evitar blooms de fitoplâncton e  
2556 favorecer a natureza heterotrófica do sistema.

### 2557 **2.3. Qualidade da água**

2558 A temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e o oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) nos tanques foram monitorados  
2559 duas vezes ao dia usando um oxímetro digital (modelo HI 9146-04, Hanna® instruments).  
2560 O pH foi monitorado com o auxílio de um pHmetro de bancada (Mettler Toledo, modelo  
2561 Five-Easy). A salinidade foi verificada semanalmente com o auxílio de um refratômetro  
2562 óptico, e a mesma foi corrigida, quando necessário, com água doce clorada e neutralizada  
2563 com vitamina C.

2564 O nitrogênio amoniacal total e nitrito foram mensurados diariamente conforme a  
2565 metodologia descrita por UNESCO (1983) e Bendschneider & Robinson (1952),  
2566 respectivamente. Os SST foram medidos semanalmente, de acordo com a metodologia  
2567 descrita por Strickland & Parsons (1972). A alcalinidade foi verificada 2 vezes por  
2568 semana seguindo a metodologia proposta por APHA (1989). Nitrato e ortofosfato foram  
2569 mensurados 1 vez por semana, seguindo metodologias de Aminot & Chaussepied (1983).  
2570 As correções de pH e alcalinidade foram realizadas com a utilização de hidróxido de  
2571 cálcio [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ], de acordo com Furtado et al. (2014).

2572 Um inóculo de 20% de bioflocos proveniente de um berçário realizado na mesma  
2573 estufa foi utilizado em todos os tratamentos. A fertilização orgânica foi realizada através  
2574 da manipulação da relação C:N (15:1) baseada em metodologias descritas por  
2575 Avnimelech (1999) e Ebeling et al. (2006) para conversão de nitrogênio em biomassa  
2576 bacteriana. A fonte de carbono foi o melaço da cana-de-açúcar, contendo 37% de carbono  
2577 orgânico.

2578 Os SST foram mantidos em  $500 \text{ mg L}^{-1}$  de acordo com (Gaona et al., 2017), quando  
2579 o valor dos SST ultrapassava esse limite, era realizada clarificação física nos sistemas  
2580 através da remoção de sólidos suspensos em todos os tratamentos, por clarificação, como  
2581 descrito por Gaona et al. (2011). As correções de pH foram feitas para manter os valores

2582 acima de 7,2, pela adição de hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) conforme Furtado et al.  
2583 (2011). Da mesma forma, a alcalinidade foi corrigida para manter as concentrações acima  
2584 de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  durante o estudo.

#### 2585 **2.4.Cálculos de Desempenho zootécnico**

2586 O crescimento dos camarões foi acompanhado através de biometrias semanais ( $n$   
2587 = 40 animais) e dos peixes biometrias quinzenais ( $n = 20$  animais) utilizando uma balança  
2588 digital com precisão de 0,01g (Marte - Modelo AD 2000). Para biometria e manipulação  
2589 dos peixes foi feito uso de anestésico (cloridrato de benzocaína,  $50 \text{ mg L}^{-1}$ ). Ao final do  
2590 experimento, todos os animais vivos foram contabilizados para a determinação da  
2591 sobrevivência e crescimento dos mesmos. Os parâmetros analisados foram: Survival (%)  
2592 = (final shrimp number/ initial shrimp number)  $\times 100$ ; Peso médio final (g):  $\sum$  peso final  
2593 dos animais vivos (g) /  $n^\circ$  total de animais; Biomassa total (g):  $\sum$  peso final de todos  
2594 animais vivos (g); Taxa de crescimento específico ( $\text{g semana}^{-1}$ ): ganho de peso (g) /  
2595 número de semanas; Feed conversion ratio (FCR) = offered feed (g)/(final biomass (g) -  
2596 initial biomass (g)); Produtividade ( $\text{kg m}^{-3}$ ): [(biomassa final (kg) – biomassa inicial (kg))  
2597  $\times 1000$ ] / volume útil do tanque (L);

2598 Os parâmetros analisados para o sistema (camarões + peixes) foram:  
2599 Produtividade do sistema ( $\text{Kg m}^{-3}$ ):  $(\text{Bfc} + \text{Bfp}) - (\text{Bic} + \text{Bip})/\text{Volume útil total (m}^3)$ ,

2600 onde Bfc = biomassa final dos camarão;

2601 Bfp = Biomassa final dos peixes;

2602 Bic= Biomassa inicial dos camarões;

2603 Bip = Biomassa inicial dos peixes e

2604 Volume útil total = soma do volume do tanque dos camarões e peixes;

2605 FCR:  $(\text{Rfc} + \text{Rfp}) / (\text{Bfc} + \text{Bfp}) - (\text{Bic} - \text{Bip})$ ,

2606 onde Rfc = Ração ofertada para os camarões e

2607 Rfp = Ração ofertada para os peixes

2608 Biomassa final total (g):  $\sum$  biomassa final dos camarões e biomassa final dos peixes.

#### 2609 **2.5.Análises estatísticas**

2610 Os parâmetros de qualidade da água e os desempenhos zootécnicos nos diferentes  
2611 tratamentos foram submetidos ao teste T para comparação de médias, levando-se em  
2612 consideração os pressupostos de homocedasticidade e normalidade (Levene e

2613 Kolmogorov-Smirnov). Os dados de sobrevivência foram transformados ( $\arcseno \times 0,5$ )  
2614 antes da análise (Zar, 2010).

2615

### 2616 **3. Resultados**

2617 Não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos para os parâmetros  
2618 de temperatura, pH, alcalinidade e salinidade. A temperatura média foi mantida acima de  
2619  $28^\circ \text{C}$  em ambos os tratamentos e o pH acima de 7,5. A alcalinidade variou ao longo do  
2620 período experimental, com valores médios de  $143,65 \pm 35,28 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  no  
2621 tratamento T35 e  $134,96 \pm 33,22 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  no tratamento T65. A salinidade variou  
2622 entre 13 e 15 ao longo do experimento, no entanto, as médias foram semelhantes entre os  
2623 dois tratamentos, assim como o oxigênio dissolvido, que foi mantido acima de  $6,0 \text{ mg L}^{-1}$   
2624 (Tabela 1).

2625 Os valores de nitrogênio amoniacal total, nitrato e ortofosfato não apresentaram  
2626 diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos, diferente dos valores médios de  
2627 nitrito, que foram significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) no tratamento  $65/\text{m}^3$  ( $1,12 \pm 1,54$   
2628  $\text{mg L}^{-1}$ ), quando comparado ao tratamento  $35/\text{m}^3$  ( $0,64 \pm 0,69 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Tabela 1).

2629 As concentrações de sólidos suspensos totais não apresentaram diferenças significativas  
2630 ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, com média de  $457,27 \pm 135,56 \text{ mg L}^{-1}$  no tratamento  $35/\text{m}^3$   
2631 e  $436,66 \pm 140,51 \text{ mg L}^{-1}$  no tratamento  $65/\text{m}^3$  (Figura 1). Foi necessário realizar a  
2632 clarificação nos dois tratamentos, para manutenção dos valores de SST próximo dos 500  
2633  $\text{mg L}^{-1}$ , sendo o tratamento  $65/\text{m}^3$  clarificado por  $52 \pm 18,33 \text{ h}$  e o tratamento  $35/\text{m}^3$  por  $32$   
2634  $\pm 18,33 \text{ h}$  ao longo dos 78 dias de experimento (Tabela 1).



2635 Tabela 1. Parâmetros físicos e químicos de qualidade da água (média  $\pm$  desvio padrão)  
 2636 nos tratamentos T35 (550 camarões m<sup>-3</sup> + 35 peixes m<sup>-3</sup>) e T65 (550 camarões m<sup>-3</sup> + 65  
 2637 peixes m<sup>-3</sup>) ao longo do período experimental

	Tratamentos	
	T35	T65
Temperatura (°C)	28,36 $\pm$ 1,90	28,42 $\pm$ 1,82
OD (mg L <sup>-1</sup> )	6,16 $\pm$ 0,64	6,02 $\pm$ 0,68
pH	7,56 $\pm$ 0,31	7,54 $\pm$ 0,32
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	143,65 $\pm$ 35,28	134,96 $\pm$ 33,22
Salinidade (g L <sup>-1</sup> )	14,21 $\pm$ 1,10	14,41 $\pm$ 0,89
SST (mg L <sup>-1</sup> )	436,66 $\pm$ 140,51	457,27 $\pm$ 135,56
Turbidez (NTU)	247,09 $\pm$ 81,54	240,16 $\pm$ 94,22
Tempo de clarificação (h)	32,00 $\pm$ 18,33 <sup>a</sup>	52,00 $\pm$ 18,33 <sup>b</sup>
N-NAT (mg L <sup>-1</sup> )	0,019 $\pm$ 0,01	0,013 $\pm$ 0,01
N-Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	0,64 $\pm$ 0,69 <sup>b</sup>	1,12 $\pm$ 1,54 <sup>a</sup>
N-Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	68,70 $\pm$ 53,71	70,35 $\pm$ 53,58
P-Ortofosfato (mg L <sup>-1</sup> )	2,04 $\pm$ 1,5	2,24 $\pm$ 1,61

2638 Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos. OD= oxigênio  
 2639 dissolvido; SST= sólidos suspensos totais; NAT = Nitrogênio amoniacal total; tempo de clarificação em horas.

2640 Os camarões exibiram crescimento semelhante ( $p > 0,05$ ) durante o experimento,  
 2641 atingindo peso final de 10,19  $\pm$  0,78 g no tratamento T65 e 11,51  $\pm$  1,95 g no tratamento  
 2642 T35. Os resultados de desempenho zootécnico em termos de peso médio final,  
 2643 sobrevivência, taxa de crescimento diário, taxa de conversão alimentar e produtividade  
 2644 não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos (Tabela 2).

2645 Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos com crescimento dos  
 2646 peixes, produtividade e taxa de crescimento semanal maiores no tratamento T65. A taxa  
 2647 de conversão alimentar e a sobrevivência não diferiu estatisticamente entre os tratamentos  
 2648 (Tabela 2). Quanto à produtividade total do sistema como um todo, o tratamento T65  
 2649 contou com 10,65 kg m<sup>-3</sup> e o tratamento T35 com 8,75 kg m<sup>-3</sup>.

2650 Tabela 2. Desempenho zootécnico de *L. vannamei* e *O. niloticus* (média±DP) ao longo  
 2651 dos 78 dias de cultivo.

	T65	T35	T65	T35
	Camarão	Camarão	Tilapia	Tilapia
Sobrevivência (%)	88,24±0,025	75,94±0,21	100±0,0	99,52±0,008
Peso médio inicial (g)	0,96±0,1	0,96±0,1	7,17±3,21	7,17±3,21
Peso médio final (g)	10,19±0,78	11,51±1,95	99,65±6,5 <sup>b</sup>	127,42±10,95 <sup>a</sup>
Biomassa final (kg)	48,46±4,43	48,97±9,58	25,91±1,68	17,83±1,53
TCE (g semana <sup>-1</sup> )	0,83±0,07	0,95±0,16	8,3±0,58 <sup>a</sup>	10,79±0,98 <sup>b</sup>
FCR	2,60±0,18	2,70±0,42	0,71±0,04	0,73±0,03
Produtividade (kg m <sup>-3</sup> )	4,32±0,44	4,38±1,00	6,32±0,67 <sup>a</sup>	4,37±0,29 <sup>b</sup>
<b>Sistema</b>	<b>T65</b>	<b>T35</b>		
Biomassa final (kg)	67,33±4,66 <sup>a</sup>	55,57±18,66 <sup>b</sup>		
Produtividade (kg m <sup>-3</sup> )	4,80±0,33	4,33±0,8		
FCR	1,66±0,15	1,72±0,35		

2652 TCE – taxa de crescimento diário; FCR – Taxa de conversão alimentar; DP- desvio padrão. Letras diferentes indicam  
 2653 diferença significativa entre os tratamentos

2654

#### 2655 4. Discussão

2656 Ao longo do período experimental, os parâmetros físicos e químicos de qualidade da  
 2657 água, como temperatura, pH, alcalinidade, salinidade, OD, estiveram em níveis  
 2658 adequados tanto para o crescimento do *L. vannamei* (Ponce-Palafox et al., 1997; Furtado  
 2659 et al., 2011; Maicá et al., 2014) e para o crescimento das tilápias (Azim & Little et al.,  
 2660 2008; Atwood et al., 2011). Os níveis de OD se mantiveram dentro do recomendado para  
 2661 as espécies cultivadas ao longo de todo período experimental (Van Wyk & Scarpa, 1999;  
 2662 Tran- Duy et al., 2012).

2663 A alcalinidade apresentou diferença significativa entre os tratamentos durante o  
 2664 período experimental, porém com os valores médios dentro do recomendado para *L.*  
 2665 *vannamei* (Furtado et al., 2014) e para tilápia (Cavalcante et al., 2009). O tratamento T65  
 2666 apresentou valor médio de alcalinidade maior que o tratamento T35, que por sua vez,  
 2667 apresentou valores médios de nitrito menores (0,64 ± 0,69 mg L<sup>-1</sup>) que o tratamento T65  
 2668 (1,12 ± 1,12 mg L<sup>-1</sup>). No tratamento T65 houve um pico de nitrito por cerca de 21 dias,

2669 chegando a  $4,5 \pm 3,31 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrito e apesar de ser usado inóculo. Esse fato aconteceu  
2670 possivelmente pela presença dos peixes no sistema em densidades de estocagem elevadas.  
2671 A natação dos animais cultivados pode ter alterado o tamanho e a forma dos bioflocos  
2672 microbianos e isso pode afetar a ação das bactérias nitrificantes (Carvalho et al., 2006;  
2673 Delatolla et al., 2009).

2674 De acordo com Ebeling et al. (2006) existe uma relação direta entre a nitrificação e a  
2675 alcalinidade no sistema BFT. As bactérias autotróficas quimiossintetizantes derivam sua  
2676 energia através de compostos inorgânico (carbonatos) durante a oxidação dos compostos  
2677 nitrogenados no sistema BFT. As bactérias do grupo das AOB (bactérias amônia-  
2678 oxidantes), obtêm sua energia catabolizando amônia não-ionizada a nitrito, já as bactérias  
2679 NOB (bactérias nitrito-oxidantes) oxidam nitrito a nitrato. Ainda segundo os autores, para  
2680 cada grama de nitrogênio amoniacal convertido em biomassa microbiana, são  
2681 consumidos 4,71 g de oxigênio dissolvido, 3,57 g de alcalinidade e 15,17 g de  
2682 carboidratos, sendo produzidos 8,07 g de biomassa microbiana e 9,65 g de dióxido de  
2683 carbono. Quando o desempenho das bactérias nitrificantes e heterotróficas é comparado,  
2684 pode-se observar que as bactérias nitrificantes consomem mais alcalinidade e produzem  
2685 muito menos biomassa microbiana, enquanto as bactérias heterotróficas consomem  
2686 aproximadamente metade da alcalinidade consumida na produção de bactérias  
2687 nitrificantes e produzem mais biomassa, com aproximadamente o mesmo nível de  
2688 oxigênio dissolvido sendo consumido (Ebeling et al., 2006).

2689 Além disso, há uma associação entre o aumento da matéria orgânica, pelos níveis  
2690 mais altos de SST, com o aumento do nitrito (Gaona et al., 2017; Lara et al., 2017; Souza  
2691 et al., 2019). No presente estudo, os valores de nitrito e alcalinidade mais elevados foram  
2692 observados no tratamento T65, onde também houve maior tempo de clarificação, ou seja,  
2693 maior produção de SST ao longo do período experimental. O rápido crescimento das  
2694 bactérias heterotróficas causa competição entre estas e as bactérias nitrificantes por  
2695 oxigênio dissolvido, espaço, amônia total e micronutrientes (Ebeling et al., 2006).

2696 O nitrogênio amoniacal total é produto da excreção dos animais cultivados e da  
2697 decomposição da matéria orgânica no sistema BFT, sendo o nível de segurança  
2698 recomendado de  $2,44 \text{ mg L}^{-1}$  na salinidade 15, pH 8,05 e temperatura de  $23^\circ\text{C}$  (Lin &  
2699 Chen, 2001) para *L. vannamei* e  $0,96 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{NH}_3^+$  para juvenis de *O. niloticus*  $4,5\text{g}$   
2700 (Atwood et al., 2001), porém os valores de amônia foram baixos, devido ao uso do inóculo

2701 de biofoco no início do experimento, como reportado por (Krummenauer et al., 2014).  
2702 Os maiores valores médios de nitrito no tratamento T65, provavelmente estão  
2703 relacionados à maior biomassa de peixes no sistema quando comparado ao tratamento  
2704 T35, porém, como foi utilizado um inóculo de biofocos maduros no início do  
2705 experimento, esses valores de nitrito permaneceram baixos e dentro dos limites  
2706 recomendados para as espécies cultivadas. O nível de segurança para o nitrito no cultivo  
2707 de *L. vannamei* é de 6,1 mg L<sup>-1</sup> de nitrito na salinidade 15 (Lin & Chen, 2003), já para  
2708 tilápia, o nível de segurança é de 8,1 mg L<sup>-1</sup> de nitrito (Atwood et al., 2001).

2709 Há três vias de remoção do nitrogênio nos sistemas de cultivo: 1) remoção  
2710 fotoautotrófica por algas, 2) imobilização por bactérias heterotróficas como biomassa  
2711 protéica microbiana e 3) oxidação químico-autotrófica a nitrato pelas bactérias nitrificantes  
2712 (Ebeling et al., 2006). A importância relativa de cada via varia com o tipo e a  
2713 intensificação da produção (Azim et al., 2008). No presente estudo houve uma mistura  
2714 dessas vias, com predomínio do sistema heterotrófico no início do cultivo e posterior  
2715 domínio das bactérias nitrificantes, que refletiu em um acúmulo de nitrato no final do  
2716 período experimental, porém esses valores não são prejudiciais aos animais cultivados. O  
2717 valor de nitrato não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Sabe-se que  
2718 o nitrato é o produto final da oxidação dos compostos nitrogenados pelas bactérias  
2719 nitrificantes.

2720 Além do nitrato, o fósforo também acumula no sistema BFT, entra no sistema via  
2721 ração. O monitoramento do nitrato e ortofosfato são fundamentais, tanto para reutilização  
2722 da água no sistema BFT, como para descarga desta água como efluente (Da Silva et al.,  
2723 2013). A adição de um organismo extrativista inorgânico para assimilação de compostos  
2724 nitrogenados e fosfatados, como por exemplo a *Sarcosencornia ambigua* (Doncato &  
2725 Costa, 2018) no cultivo integrado é de extrema importância e estudos futuros com a  
2726 adição de espécies extrativistas inorgânicos no IMTA são recomendados.

2727 O peso individual, a taxa de crescimento, sobrevivência, ganho de peso, FCR dos  
2728 camarões não foram afetados pela presença das tilápias no sistema, em nenhuma das duas  
2729 densidades de peixes estudadas. A produtividade de camarão foi elevada, acima de 4,3  
2730 kg m<sup>-3</sup> nos dois tratamentos, visto que o cultivo foi realizado em densidade super-  
2731 intensiva, e semelhante aos estudos de Gaona et al. (2011), (2017); Krummenauer et al.

2732 (2011), que trabalharam com cultivo super-intensivo de *L. vannamei* e obtiveram  
2733 produtividades próximas a 4,1 kg m<sup>-3</sup>.

2734 A maioria dos estudos de cultivo integrado de *L. vannamei* e tilápia trabalharam com  
2735 densidades baixas de camarão (10 a 120 camarões m<sup>-2</sup>) (Muangkeow et al., 2011; Simão  
2736 et al., 2013; Yuan et al., 2010) e poucos são os estudos de cultivo integrado em densidades  
2737 super-intensivas (Poli et al., 2019), que se baseiam em sistemas de produção comercial,  
2738 como as do presente estudo.

2739 A FCR dos camarões nos dois tratamentos foi relativamente elevada, podendo estar  
2740 ligada a baixa sobrevivência pode ser associada a elevada densidade de estocagem (550  
2741 camarões m<sup>-3</sup>) e a baixa profundidade da coluna d'água, e não a presença das tilápia no  
2742 sistema, visto que os animais estavam em tanques separados e ração específica para tilápia  
2743 era oferecida aos peixes. Simão et al. (2013) apontaram que houve um aumento no FCR  
2744 dos camarões quando cultivados juntamente com tilápia em comparação com o  
2745 monocultivo, justificando esse resultado com o fato das tilápias serem mais ágeis,  
2746 podendo monopolizar a ração, deixando menos ração do que o requerido pelo camarão,  
2747 sendo esse estudo um cultivo conjunto das duas espécies num mesmo tanque.

2748 No presente estudo o FCR das tilápias foi abaixo de 1,0 tanto no tratamento T65  
2749 (0,71±0,04) quanto no T35 (0,73±0,03), indicando que as tilápias consumiram a  
2750 microbiota natural presente nos bioflocos, indicando também que a baixa taxa de  
2751 arraçoamento fornecida as tilápias favoreceu o consumo dos bioflocos pelas tilápia. Além  
2752 disso, as tilápias apresentaram um crescimento semanal de 8,3±0,58 g no tratamento T65  
2753 e 10,79±0,98 g no tratamento T35, um crescimento bom apesar da baixa quantidade de  
2754 ração fornecida. Essa conversão alimentar abaixo de 1 não é só benéfico do ponto de vista  
2755 ambiental, mas também útil do ponto de vista econômico, pois produzindo as tilápias  
2756 alimentadas com os bioflocos o produtor economiza na ração que representa um elevado  
2757 valor dentro dos gastos de produção. Ambientalmente, usar menos ração implica em  
2758 economia de farinha e óleo de peixe, tornando a aquicultura amigável ambientalmente e  
2759 aceitável socialmente (Naylor et al., 2009; Tacon & Metian, 2008).

2760 Ekasari et al. (2014) relataram o consumo de bioflocos pela tilápia vermelha,  
2761 evidenciando que a tilápia consome os bioflocos, independentemente do tamanho e que  
2762 a capacidade de absorção é de 39 a 117 g de SST/kg de peixe, durante o período  
2763 experimental. Azim & Little (2008) observaram um FCR de 4,97±0,12 quando as tilápia

2764 foram alimentadas com ração contendo 35% de proteína bruta, sem a presença de  
2765 bioflocos, ao passo que observaram um FCR de  $3,51 \pm 0,44$  com ração contendo a mesma  
2766 quantidade de proteína, mas agora, com a presença dos bioflocos. Isso mostra que os  
2767 peixes também consumiram os bioflocos microbianos, visto que o FCR foi  
2768 significativamente menor na presença dos bioflocos. Simão et al. (2013), em um estudo  
2769 com cultivo integrado de tilápia e *L. vannamei*, testando 3 diferentes densidades de  
2770 estocagem de tilápias, observaram um FCR de  $1,48 \pm 0,04$  no tratamento com 2 tilápias m<sup>-2</sup>  
2771 e 2,5 camarões m<sup>-2</sup> e constataram que o FCR da tilápia não foi afetado pelo policultivo.

2772 O tempo de clarificação foi diferente nos dois tratamentos, sendo o tratamento T65  
2773 clarificado por mais horas. Gaona et al. (2016) constataram um tempo de clarificação de  
2774  $58 \pm 12,17$ h, num monocultivo de *L. vannamei* com densidade de 350 camarões m<sup>-2</sup>, com  
2775 peso inicial de  $0,18 \pm 0,06$ g, por 17 semanas. No presente estudo, o menor tempo de  
2776 clarificação foi observado no tratamento T35 ( $36 \pm 12$  h), isso corrobora a eficiência da  
2777 tilápia como consumidor do floco microbiano, auxiliando no controle dos SST no sistema  
2778 integrado, visto que havia biomassa super-intensiva de camarões e peixes no sistema, e o  
2779 tempo de clarificação foi menor que o reportado por Gaona et al. (2016) para monocultivo  
2780 de *L. vannamei* em densidade de estocagem menor que a do presente estudo.

2781 Azim & Little (2008) e Azim et al. (2008), relataram uma dificuldade em manter os  
2782 níveis de SST em  $500 \text{ mg L}^{-1}$ , mesmo utilizando um clarificador e muitas vezes o nível  
2783 atingido passou dos  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  de SST. O consumo dos bioflocos pelos peixes depende  
2784 da espécie cultivada, do hábito alimentar dos peixes, tamanho do floco e densidade do  
2785 floco. É possível que o consumo dos bioflocos pelos peixes dependa também da presença  
2786 e taxa de arraçoamento adicionada ao tanque.

2787 Além disso, o excesso de alimento na forma de excreta dos peixes pode servir como  
2788 um substrato para a produção de mais bioflocos e consequente incremento dos SST (Crab  
2789 et al., 2007). De maneira geral, um monocultivo super-intensivo de *L. vannamei* gera  
2790 cerca de 20 kg de N e 4,1 kg de P para cada tonelada de camarão produzida no sistema  
2791 BFT (Da Silva et al., 2013).

2792 Baseado nos resultados obtidos, conclui-se que é possível o cultivo integrado em  
2793 densidade superintensiva de *L. vannamei* e tilápias *O. niloticus* mesmo sendo alimentadas  
2794 com uma baixa quantidade de ração. O tratamento T35 foi mais eficiente em relação ao  
2795 menor tempo de clarificação, porém o tratamento T65 apresentou maior produtividade.

2796 Não houve uma eficiência completa do sistema em relação ao consumo de sólidos pelos  
2797 peixes. Estudos futuros são necessários para avaliar a melhor relação entre a biomassa de  
2798 camarões e peixes para um equilíbrio do sistema.

2799

## 2800 **5. Referências**

2801 American Public Health Association (APHA), 1989. Standard Methods for the  
2802 Examination of Water and Waste Water, 16th edn. American Public Health  
2803 Association, AWWA, WPCF, New York

2804 Aminot, A., Chaussepied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin.  
2805 CNEXO, Brest 395p.

2806 Atwood, H.L., Fontenot, Q.C., Tomasso, J.R., Isely, J.J., 2001. Toxicity of Nitrite to Nile  
2807 Tilapia: Effect of Fish Size and Environmental Chloride. N. Am. J. Aquac. 63, 49–  
2808 51. [https://doi.org/10.1577/1548-8454\(2001\)063<0049:TONTNT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8454(2001)063<0049:TONTNT>2.0.CO;2)

2809 Avnimelech, Y., 1999. Carbon r nitrogen ratio as a control element in aquaculture  
2810 systems. Aquaculture 227–235.

2811 Azim, M.E., Little, D.C., 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water  
2812 quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis*  
2813 *niloticus*). Aquaculture 283, 29–35.  
2814 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>

2815 Azim, M.E., Little, D.C., Bron, J.E., 2008. Microbial protein production in activated  
2816 suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture.  
2817 Bioresour. Technol. 99, 3590–3599. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.07.063>

2818 Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., Mantingh, I., Van Dam, A.A., Beveridge, M.C.M., 2003.  
2819 Ingestion and utilization of periphyton grown on artificial substrates by Nile tilapia,  
2820 *Oreochromis niloticus* L. Aquac. Res. 34, 85–92. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00802.x>

2822 Bendschneider, K., & Robinson, R.,J., 1952. A new spec- trophotometric method for the  
2823 determination of nitrite in sea water. Journal of Marine Research 11, 87–96.

2824 Carvalho, G., Meyer, R.L., Yuan, Z., Keller, J., 2006. Differential distribution of  
2825 ammonia- and nitrite-oxidising bacteria in flocs and granules from a  
2826 nitrifying/denitrifying sequencing batch reactor. Enzyme Microb. Technol. 39,

- 2827 1392–1398. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.03.024>
- 2828 Cavalcante, D.,H., Poliato, A.,S., Ribeiro, D.C., 2009. Effects of CaCO<sub>3</sub> liming on water  
2829 quality and growth performance of fingerlings of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*.  
2830 *Acta Scientiarum, Animal Sciences*, 31, 327-333.
- 2831 Chopin, T., 2018. Why is Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) developing  
2832 more easily, and at a larger scale, in China than in the western world? *Int. Aquafeed*  
2833 5–7.
- 2834 Chopin, T., Buschmann, A.H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer,  
2835 G.P., Zertuche-González, J.A., Yarish, C., Neefus, C., 2001. Integrating seaweeds  
2836 into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. *J. Phycol.* 37, 975–  
2837 986. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.01137.x>
- 2838 Chopin, T., Cooper, J.A., Reid, G., Cross, S., Moore, C., 2012. Open-water integrated  
2839 multi-trophic aquaculture: Environmental biomitigation and economic  
2840 diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Rev. Aquac.* 4, 209–  
2841 220. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01074.x>
- 2842 Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2007. Nitrogen  
2843 removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 270, 1–  
2844 14. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.006>
- 2845 Cruz, P.S., Andalecio, M.N., Bolivar, R.B., Fitzsimmons, K., 2008. Tilapia-shrimp  
2846 polyculture in Negros Island, Philippines: A review. *J. World Aquac. Soc.* 39, 713–  
2847 725. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00207.x>
- 2848 Da Silva, K.R., Wasielesky, W., Abreu, P.C., 2013. Nitrogen and Phosphorus Dynamics  
2849 in the Biofloc Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *J.*  
2850 *World Aquac. Soc.* 44, 30–41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12009>
- 2851 Delatolla, R., Tufenkji, N., Comeau, Y., Lamarre, D., Gadbois, A., Berk, D., 2009. In situ  
2852 characterization of nitrifying biofilm: Minimizing biomass loss and preserving  
2853 perspective. *Water Res.* 43, 1775–1787.  
2854 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.01.009>
- 2855 Doncato, K.B., Costa, C.S.B., 2018. Growth and mineral composition of two lineages of  
2856 the sea asparagus *Sarcosencornia ambigua* irrigated with shrimp Farm saline  
2857 effluent. *Exp. Agric.* 54, 399–416. <https://doi.org/10.1017/S0014479717000096>
- 2858 Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the



2859 stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of  
2860 ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257, 346–358.  
2861 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>

2862 Ekasari, J., Angela, D., Waluyo, S.H., Bachtiar, T., Surawidjaja, E.H., Bossier, P., De  
2863 Schryver, P., 2014. The size of biofloc determines the nutritional composition and  
2864 the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture* 426–427, 105–111.  
2865 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.023>

2866 FAO, 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Fao.

2867 Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2011. Effect of calcium hydroxide,  
2868 carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance  
2869 of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems.  
2870 *Aquaculture* 321, 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.034>

2871 Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2014. The effect of different alkalinity  
2872 levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.*  
2873 23, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9819-x>

2874 Gaona, C.A.P., de Almeida, M.S., Viau, V., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2017. Effect  
2875 of different total suspended solids levels on a *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)  
2876 BFT culture system during biofloc formation. *Aquac. Res.* 48, 1070–1079.  
2877 <https://doi.org/10.1111/are.12949>

2878 Gaona, C.A.P., Poersch, L.H., Krummenauer, D., Foes, G.K., Wasielesky, W.J., 2011.  
2879 The Effect of Solids Removal on Water Quality, Growth and Survival of  
2880 *Litopenaeus vannamei* in a Biofloc Technology Culture System. *Int. J. Recirc.*  
2881 *Aquac.* 12, 54–73. <https://doi.org/10.21061/ijra.v12i1.1354>

2882 Gaona, C.A.P., Serra, F. da P., Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2016.  
2883 Biofloc management with different flow rates for solids removal in the *Litopenaeus*  
2884 *vannamei* BFT culture system. *Aquac. Int.* 24, 1263–1275.  
2885 <https://doi.org/10.1007/s10499-016-9983-2>

2886 Jory, D.E., Cabrera, T.R., Dugger, D.M., Fegan, D., Lee, P.G., Lawrence, A.L., Jackson,  
2887 C.J., McIntosh, R.P., Castañeda, J., 2001. A global review of shrimp feed manage-  
2888 ment: status and perspectives. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave:*  
2889 *Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture.* The World  
2890 Aquaculture Society, Baton Rouge, pp. 104–152.

- 2891 Krummenauer, D., Peixoto, S., Cavalli, R.O., Poersch, L.H., Wasielesky, W., 2011.  
2892 Superintensive culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a biofloc  
2893 technology system in Southern Brazil at different stocking densities. *J. World*  
2894 *Aquac. Soc.* 42, 726–733. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00507.x>
- 2895 Krummenauer, D., Samocha, T., Poersch, L., Lara, G., Wasielesky, W., 2014. The reuse  
2896 of water on the culture of pacific white shrimp, *litopenaeus vannamei*, in BFT  
2897 system. *J. World Aquac. Soc.* 45, 3–14. <https://doi.org/10.1111/jwas.12093>
- 2898 Lara, G., Honda, M., Poersch, L., Wasielesky, W., 2017. The use of biofilm and different  
2899 feeding rates in biofloc culture system: the effects in shrimp growth parameters.  
2900 *Aquac. Int.* 25, 1959–1970. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0151-0>
- 2901 Lin, Y.C., Chen, J.C., 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone  
2902 juveniles at different salinity levels. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 259, 109–119.
- 2903 Lin, Y.C., Chen, J.C., 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone)  
2904 ju- veniles at different salinity levels. *Aquaculture* 224, 193–201.
- 2905 Maicá, P.F., de Borba, M.R., Martins, T.G., Wasielesky, W., 2014. Effect of salinity on  
2906 performance and body composition of Pacific white shrimp juveniles reared in a  
2907 super-intensive system. *Rev. Bras. Zootec.* 43, 343–350.  
2908 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000700001>
- 2909 Monroy-Dosta, M. del C., de Lara, R.A., Castro-Mejía, J., Castro-Mejía, G., Coelho-  
2910 Emerenciano, M.G., 2013. Composición y abundancia de comunidades microbianas  
2911 asociados al biofloc en un cultivo de tilapia. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 48, 511–520.  
2912 <https://doi.org/10.4067/S0718-19572013000300009>
- 2913 Muangkeow, B., Ikejima, K., Powtongsook, S., Gallardo, W., 2011. Growth and nutrient  
2914 conversion of white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) and Nile tilapia  
2915 *Oreochromis niloticus* L. in an integrated closed recirculating system. *Aquac. Res.*  
2916 42, 1246–1260. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02713.x>
- 2917 Muangkeow, B., Ikejima, K., Powtongsook, S., Yi, Y., 2007. Effects of white shrimp,  
2918 *Litopenaeus vannamei* (Boone), and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., stocking  
2919 density on growth, nutrient conversion rate and economic return in integrated closed  
2920 recirculation system. *Aquaculture* 269, 363–376.  
2921 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.002>
- 2922 Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A.P., Forster, I.,

- 2923 Gatlin, D.M., Goldburg, R.J., Hua, K., Nichols, P.D., 2009. Feeding aquaculture in  
 2924 an era of finite resources. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106, 15103–15110.  
 2925 <https://doi.org/10.1073/pnas.0905235106>
- 2926 Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel,  
 2927 M., Yarish, C., 2004. Integrated aquaculture: Rationale, evolution and state of the  
 2928 art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture* 231, 361–  
 2929 391. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.015>
- 2930 Poli, M.A., Legarda, E.C., Lorenzo, M.A. De, Martins, M.A., Vieira, N., 2019. Paci f i c  
 2931 white shrimp and Nile tilapia integrated in a bio fl oc system under di ff erent fi sh-  
 2932 stocking densities 498, 83–89.
- 2933 Ponce-Palafox, J.,T., C.,A., Martínez-Palacios, L.,G., Ross., 1997. The effects of salinity  
 2934 and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus*  
 2935 *vannamei* Boone, 1931. *Aquaculture*, 157(1): 107-115.
- 2936 Shuve, H., Caines, E., Ridler, N., Chopin, T., Reid, G.K., Sawhney, M., Lamontagne, J.,  
 2937 Szemerda, M., Marvin, R., Powell, F., Robinson, S., Boyne-Travis, S., 2009. Survey  
 2938 Finds Consumers Support Integrated Multitrophic Aquaculture: Effective Marketing  
 2939 Concept Key. *Glob. Aquac. Advocate* 22–23.
- 2940 Simão, B.R., Brito, L.O., Campos Maia, A.S., Miranda, L.C., da Silveira Borges  
 2941 Azevedo, C.M., 2013. Stocking densities and feeding strategies in shrimp and tilapia  
 2942 polyculture in tanks. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 48, 1088–1095.  
 2943 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800039>
- 2944 Souza, J., Cardozo, A., Wasielesky, W., Abreu, P.C., 2019. Does the biofloc size matter  
 2945 to the nitrification process in Biofloc Technology (BFT) systems? *Aquaculture* 500,  
 2946 443–450. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.10.051>
- 2947 Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, 2nd  
 2948 edn. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- 2949 Tacon, A.G.J., Metian, M., 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in  
 2950 industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture* 285,  
 2951 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>
- 2952 Tendencia, E.A., Dela Peña, M.R., Choresca, C.H., 2006. Effect of shrimp biomass and  
 2953 feeding on the anti-*Vibrio harveyi* activity of *Tilapia* sp. in a simulated shrimp-  
 2954 tilapia polyculture system. *Aquaculture* 253, 154–162.

2955 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.004>

2956 Tendencia, E.A., Dela Peña, M.R., Fermin, A.C., Lio-Po, G., Choresca, C.H., Inui, Y.,  
2957 2004. Antibacterial activity of tilapia *Tilapia hornorum* against *Vibrio harveyi*.  
2958 *Aquaculture* 232, 145–152. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00531-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00531-3)

2959 Tran-Duy, A., Dam, A.,A., Schrama, J.,W., 2012. Feed intake, growth and metabolism of  
2960 Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to dissolved oxygen concentration.  
2961 *Aquac. Res.* 43, 730–744.

2962 UNESCO, 1983. Chemical Methods for Use in Marine Envi- ronmental Monitoring.  
2963 Manual and Guides 12, Intergov- ernamental Oceanographic Commissiony, Paris,  
2964 France.

2965 Van Wyk, P., Scarpa, J., 1999. Water quality requirements and management. In: Van  
2966 Wyk, P., Davis-Hodgkins, M., Laramore, R., Main, K., Mountain, J., Scarpa, J.  
2967 (Eds.), *Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems*. Florida  
2968 Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee 128p.

2969 Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006. Effect of natural  
2970 production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive  
2971 culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396–403.  
2972 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>

2973 Yuan, D., Yi, Y., Yakupitiyage, A., Fitzimmons, K., Diana, J.S., 2010. Effects of addition  
2974 of red tilapia (*Oreochromis* spp.) at different densities and sizes on production, water  
2975 quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus*  
2976 *vannamei*) in cement tanks. *Aquaculture* 298, 226–238.  
2977 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.011>

2978 Zar, J.H., 2010. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River.

2979

2980

## 2981 CONCLUSÕES GERAIS

2982 De acordo com os resultados obtidos na presente tese, é possível afirmar que o cultivo  
2983 integrado de *L. vannamei* com tainhas e tilápias pode contribuir para aumentar a  
2984 sustentabilidade, bem como o ganho econômico da produção de camarões em sistema  
2985 BFT. Com os resultados obtidos nos capítulos I e II, fica claro que os camarões e peixes,  
2986 em densidades elevadas, como no presente estudo, não devem ser cultivados juntos no  
2987 mesmo tanque, mesmo que isso diminua a produtividade total do sistema. O cultivo de  
2988 camarões e tainhas ou camarões e tilápias em tanques separados viabiliza dois produtos  
2989 finais de valor comercial, além de facilitar a despesca dos animais, visto que o ciclo de  
2990 produção de camarões e peixes tem tempos de produção diferentes. Durante um ciclo de  
2991 cultivo integrado várias despescas de camarões poderiam ser feitas e novas estocagem,  
2992 enquanto o ciclo de produção dos peixes estivesse em andamento. As tainhas são uma  
2993 excelente opção como peixe extrativista orgânico no sistema, porém novos estudos devem  
2994 ser conduzidos para desenvolver relações de biomassa peixe:camarão. As tilápias  
2995 exerceram o papel de extrativista orgânico no sistema BFT de forma eficiente,  
2996 consumindo a produtividade natural do sistema, apresentando taxas conversão alimentar  
2997 menores que 1. O FCR menor que 1 ocasiona uma economia significativa de ração, visto  
2998 que este insumo representa um gasto significativo na produção aquícola. Esse resultado  
2999 não só contribui, do ponto de vista econômico, para a produção de peixes e camarões em  
3000 sistema BFT, mas também do ponto de vista ecológico, pela menor quantidade de ração  
3001 fornecida aos peixes. Consequentemente, reduz-se o consumo de óleo e farinha de peixe,  
3002 cuja utilização constitui sério problema enfrentado pela indústria da aquicultura, tornando  
3003 esta atividade mais ambientalmente amigável.

3004 O presente estudo evidenciou, outrossim, que eventual elevação da densidade de  
3005 estocagem das tilápias não aumentará o consumo de sólidos suspensos totais do sistema  
3006 pelos peixes, já que a tilápia consegue se alimentar dos bioflocos e crescer, mesmo com  
3007 quantidades mínimas de ração fornecida. Em elevadas densidades, as tilápias podem  
3008 consumir os flocos microbianos em excesso, comprometendo a nitrificação, chave para o  
3009 funcionamento do sistema BFT. A melhor relação camarão:peixe é de aproximadamente  
3010 1:1, nas condições de cultivos semelhantes às deste estudo, conforme observado no  
3011 Capítulo III, que se refere a tratamento com 400 camarões m<sup>-3</sup> e 100 tilápias m<sup>-3</sup>.

3012

3013 **PERSPECTIVAS**

3014       Estudar o manejo alimentar dos peixes num sistema multitrófico integrado é de  
3015 extrema importância. Definir a melhor taxa de arraçamento para os peixes ou aplicar as  
3016 técnicas de restrição alimentar possivelmente seja a chave para o total aproveitamento  
3017 dos sólidos suspensos totais pelos peixes, o que zeraria a produção de efluentes do cultivo  
3018 de camarões em sistema BFT e, assim, permitiria que clarificação física fosse eliminada  
3019 do sistema.

3020       No presente estudo, ficou claro que a presença das tilápias em elevadas densidades  
3021 prejudica a nitrificação no sistema BFT. Portanto, incentivam-se estudos que avaliem a  
3022 composição bacteriana do intestino das tilápias, para que se estabeleça uma correlação  
3023 entre a abundância bacteriana na água e no intestino dos peixes.

3024