

JULIO CESAR MACIEL

Restrição alimentar na criação do *Litopenaeus vannamei* em
sistemas de recirculação e de bioflocos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Minas Gerais para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de Concentração: Produção Animal/Aquicultura - Avaliação e/ou simulação de sistemas de produção e reprodução de animais de interesse zootécnico.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Campos Miranda Filho

Belo Horizonte

2018

M152r Maciel, Julio Cesar, 1968-
Restrição alimentar na criação do *Litopenaeus vannamei* em sistemas de recirculação e de bioflocos / Julio Cesar Maciel. – 2018.
94 p. : il.

Orientador: Kleber Campos Miranda Filho
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária
Inclui bibliografia

1. Camarão – Alimentação e rações – Teses. 2. Camarão – Criação – Teses.
3. Água – Qualidade – Teses. 4. Produção animal – Teses. 5. Aquicultura – Teses.
I. Miranda Filho, Kleber Campos. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. III. Título.

CDD – 636.543

Tese defendida em 9 de março de 2018 pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Kleber Campos Miranda Filho
(Orientador)



Dr. Rodrigo Takata



Dr. Filipe dos Santos Cipriano



Prof. Dr. Walter Motta Ferreira



Prof. Dr. Galileu Crovatto Veras



ASINADO E DESENHADO
RAFAEL ALEXANDER
DE
OLIVEIRA
GERALDI

“A essência do conhecimento consiste em aplicá-lo, uma vez possuído”

Confúcio

Dedicatória

Dedico esta tese aos meus pais, Julio Cesar Rutowitsch Maciel e Maria Aparecida de Castro Maciel, pela paciência, ensinamentos ao longo da vida, exemplos e apoio incondicional.

À Dona Geralda Caetano de Castro (*in memoriam*), minha avó, que até os 104 anos (2016) me acompanhou e auxiliou nessa jornada.

Dedico também ao meu orientador e amigo Kleber Campos Miranda Filho que, sobretudo me ajudou a suportar essa difícil, tortuosa e complexa etapa, com seus ensinamentos, ajuda, compreensão e equilíbrio pessoal.

Agradecimentos

Agradeço sobretudo ao meu orientador Kleber Campos Miranda Filho, pelos ensinamentos, auxílio nos trabalhos, exemplo de profissional, pesquisador, personalidade e caráter, que nunca mediu esforços em fazer tudo que fosse possível para este se realizar.

Agradeço especialmente meus co-orientadores Tassiana Gutierrez de Paula (UNESP/Botucatu/SP) e Ricardo Marcelo Geraldi (e a sua família) sem os quais esse objetivo não seria concluído.

Agradeço ao Dr. Rodrigo Takata pela fundamental ajuda e pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço ao amigo de longa data Bruno Almeida Cunha de Castro, que disponibilizou sua empresa *Pattrol Pavimentos e Traçados* para ajudar a tornar esse projeto realidade.

Agradeço a todos meus amigos que demonstravam sentir minha ausência às muitas “cervejadas”, churrascos, aniversários, encontros da “galera” e festas, sempre insistindo para que eu, embora não pudesse me fazer presente, sempre ligaram e me procuraram.

Agradeço a aquicultura por todos os amigos que fiz ao trabalhar pelo Brasil afora e fora do Brasil, que ainda hoje me apoiam nessa na minha jornada profissional e sobretudo nessa empreitada, por sempre estarem em contato interessados nos meus projetos.

Agradeço a todos os novos amigos do LAQUA e da UFMG os quais sem a ajuda ser-me-ia impossível concluir tal etapa, João, Franklin, Markim, Dani, Hallef, Julia, Maria Laura, Pedro, Marco Gaucho, Leandro, Marina, Raquel, Marcão, Edenilce, Vitor, Ana Paula, Carla, Sérgio, Luana, Márcio, Filipe, Kauana, Martolino, Felipe e todos os demais colegas de Laqua; não poderia me esquecer da nova amiga da UNESP de Botucatu Jéssica Marba.

Agradeço a todos os técnicos do LAQUA pela sempre disposição em ajudar, Érika, Franklin, Gabriel e Samuel pela ajuda fundamental.

Agradeço ao pessoal da secretária de Pós-Graduação pela sempre pronta disposição em ajudar a decifrar as muitas normas, regras e procedimentos que se sobrepõem, especialmente à Heloísa por sua imprescindível ajuda nessas e em noutras questões.

Sumário

Capítulo 1	pg
Resumo	09
Abstract	10
Introdução	11
Revisão de literatura	13
Referências bibliográficas	26
Capítulo 2	
Crescimento compensatório e restrição alimentar na produção de camarões marinhos, com ênfase na tecnologia de bioflocos: revisão.....	39
Abstract	41
Introduction	42
Final considerations	51
References	53
Capítulo 3	
Produção de <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistemas de recirculação (RAS) e de bioflocos (BFT) induzidos à restrição alimentar em ambiente salobro	61
Resumo.....	61
Abstract	62
Introdução	63
Objetivos.....	65
Material e Métodos	65
Resultados e Discussão	71
Conclusão	83
Referências Bibliográficas	83
Considerações Finais	89
Anexos	90

Lista de Tabelas

Tabela 1. Estatística descritiva e analítica das variáveis de qualidade da água em experimento comparando o cultivo de <i>Litopenaeus vannamei</i> em sistema de recirculação em água clara e bioflocos, com e sem restrição de ração	71
Tabela 2. Comparação entre as médias de desempenho zootécnico de <i>Litopenaeus vannamei</i> em água clara e em bioflocos e entre restrição de ração e sem restrição de ração, após 60 dias de experimento.....	78

Lista de Figuras

Figura 1. Unidades experimentais, BFT 1º plano, repetições experimentais cobertas com telas e macrocosmo com tilápias vermelhas (<i>Oreochromis</i> sp.) demonstrando sistema de bombeamento para recirculação	67
Figura 2. Sistema de aeração com difusores de ar	68
Figura 3. Dados de temperatura nos tratamentos testados ao longo de 60 dias de experimento com juvenis de <i>L. vannamei</i>	72
Figura 4. Dados de pH nos tratamentos testados ao longo de 60 dias de experimento com juvenis de <i>L. vannamei</i>	73
Figura 5. Concentração de oxigênio dissolvido (A) e % de oxigênio saturado (B) nos tratamentos testados com juvenis de <i>L. vannamei</i>	74
Figura 6. Sobrevivência de juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i> mantidos em restrição de ração e sem restrição de ração, em água clara e em bioflocos, após 60 dias de experimento.....	76
Figura 7. Comparação entre as médias de crescimento de <i>Litopenaeus vannamei</i> em água clara e em bioflocos e entre restrição de ração e sem restrição de ração, após 60 dias de experimento	77
Figura 8. Taxa de crescimento específico de <i>Litopenaeus vannamei</i> mantidos em restrição de ração e sem restrição de ração, em água clara e em bioflocos, após 60 dias de experimento.....	78
Figura 9. Regressões lineares simples para os diferentes tratamentos testados (recirculação em água clara – A e B; bioflocos – C e D, sem e com restrição de ração).... ..	80

Resumo

Pesquisas com restrição alimentar induzindo crescimento compensatório em camarões têm demonstrado ser uma técnica que permite uma economia em torno de 25% no uso de ração, capaz de adequar a carcinicultura à demanda mundial por produções ambientalmente amigáveis, com redução nos níveis de nitrogênio e fósforo nos efluentes além de menor uso de água na produção. Além do sistema BFT (bioflocos), outro sistema que tem sido empregado na carcinicultura marinha é o sistema fechado de recirculação (RAS). O mesmo atua com reuso da água, temperatura controlada, filtros para manter a qualidade da água e uso mínimo de áreas para a produção de camarões. No presente estudo comparou-se a restrição de ração nos dois sistemas fechados descritos. Foram utilizados 4 tratamentos, água clara (RAS) com restrição e sem restrição de ração e bioflocos (BFT) com restrição e sem restrição de ração, todos os tratamentos em água salobra (16‰). Camarões com peso médio de $1,1 \pm 0,23$ g foram distribuídos em caixas de 250 L em tréplica interligadas a um mesocosmos contendo tilápias vermelhas. As variáveis de qualidade da água OD, pH, alcalinidade e sólidos suspensos foram monitoradas diariamente; amônia e nitrito semanalmente. Biometrias foram realizadas quinzenalmente e correções no arraçoamento diariamente. O tempo de estudo foi de 60 dias. Nos resultados não foram encontradas diferenças estatísticas entre o crescimento dos camarões em RAS e em BFT, como também não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos com ou sem restrição de ração com relação a conversão alimentar e sobrevivência. Porém, foi observada diferença significativa no crescimento dos animais com restrição e sem restrição de ração, sendo encontrado maior crescimento animal onde não houve restrição, ou seja, não foi observado crescimento compensatório durante o período de engorda de 60 dias. Comparando o sistema de RAS com o de BFT, o sistema BFT possui como vantagens, o menor gasto de energia para manter a temperatura do sistema e possui maior facilidade na manutenção do sistema de cultivo.

Palavras-chave: camarão peneídeo, produção, crescimento, produtividade.

Abstract

Research with food restriction inducing compensatory growth in shrimp has shown to be a technique that allows around 25% saving with ration, capable of adjusting shrimp farming to the world demand for sustainable production, with reduction in nitrogen and phosphorus levels in the effluents in addition to less water use in production. In addition to the BFT (biofloc) system, another system that can be used in marine shrimp farming is the closed recirculation system (RAS). The latter system acts with water reuse, controlled temperature, filters to maintain water quality and minimum use of areas for shrimp production. In the present study, feed restriction was compared in the two closed systems described. Four treatments, RAS with and without feed restriction and bioflocs (BFT) with and without feed restriction were used, all treatments in brackish water (16‰). Shrimps with a mean weight of 1.1 ± 0.23 g were distributed in 250 L boxes in duplicate interconnected to a mesocosm containing red tilapia. The water quality variables, such as, OD, pH, alkalinity and suspended solids were monitored daily; ammonia and nitrite weekly. Biometrics were performed every two weeks and corrections were made on daily feeding. The experiment was carried out for 60 days and no statistical differences were found between RAS and BFT shrimp growth, and no differences were observed between treatments, in relation to feed conversion and survival. However, a significant difference was observed in the animals' growth with and without restriction of ration, being greater in animals without restriction, that is, no compensatory growth was observed during the on-growing period (60 days). Comparing RAS with BFT system, the latter has advantages like lower energy consumption to maintain the water temperature, no filter problems and so on.

Key-words: penaeid shrimp, production, growth, productivity.

1- Introdução

Dentro da aquicultura, a carcinicultura marinha é a atividade que apresenta maior potencial para rendimento monetário, sendo o camarão peneídeo um produto nobre utilizado pela alta gastronomia e muito apreciado não somente pelo sabor, mas também pelos benefícios nutricionais que esta proteína animal é capaz de aportar.

Por este motivo, a carcinicultura tem sido historicamente praticada em larga escala em áreas próximas ao litoral onde se pode ter acesso ao principal insumo para sua produção, ou seja, a água salgada. Esse fato tem ocasionado diversos problemas socioambientais nas áreas onde são implementadas as carciniculturas.

A carcinicultura tradicional promove o uso de extensas áreas de manguezais, marismas e estuários, consideradas berçários naturais, onde formas jovens de diferentes espécies se desenvolvem. São áreas de grande exigência do ponto de vista ambiental pois, sofrem variações constantes (e.g. marés, variáveis físico-químicas, etc) e a biota presente é constituída por vegetais e animais em constante adaptação a estas variações.

Adicionalmente, o modelo tradicional de produção de camarões necessita de uma taxa de renovação de água para ser produtiva (~15% ao dia). Isso implica em altas quantidades de material orgânico diluído nos efluentes das carciniculturas, lançados diretamente no ambiente natural, o que provoca alteração nas comunidades fitoplanctônicas e zooplanctônicas, reduzindo quali-quantitativamente as espécies nativas. Com isso, um grande potencial econômico para as comunidades litorâneas locais se perde por não encontrarem mais o seu sustento.

Diversas tecnologias têm sido desenvolvidas para minorar estes impactos e até mesmo para que se possa desenvolver uma atividade de alta produtividade em áreas menos sensíveis ambientalmente. Como exemplo, podemos citar os sistemas fechados de recirculação (RAS) que têm sido empregados em diversos países empregando alta tecnologia, porém com gasto significativo de energia elétrica. Isto implica em um produto final com custo mais elevado, pois a energia é o item de maior alteração nos custos de produção de camarões depois da ração.

O sistema de produção em bioflocos (BFT) é uma alternativa que também emprega alta tecnologia, principalmente no quesito operacional, porém, apesar de ser altamente dependente de energia elétrica para seu funcionamento, hoje já se dispõe de tecnologias que demandam menor gasto energético, tais como aeração com “nozzle” e a manutenção da temperatura da água de cultivo em níveis ótimos à produção de camarões empregando-se

estufas. Além disso, o sistema BFT promove a ciclagem dos nutrientes dissolvidos na água de cultivo propiciando a formação de uma rica microbiota e estes microrganismos servem também de alimentação aos camarões.

No sistema RAS, a qualidade da água depende do uso de filtros e equipamentos de controle de microrganismos. O filtro mecânico é empregado para remoção de sólidos suspensos; filtros biológicos são imprescindíveis para remoção de metabólitos como amônia e nitrito; o sistema ultravioleta é usado para remoção de microrganismos indesejáveis, “skimmers” são usados para retirada do excesso de proteínas dissolvidas no meio, na forma de sobrenatante, que poderia propiciar a floração microrganismos patogênicos.

O sistema BFT prescinde o uso de filtros. Neste sistema estimula-se a produção de uma flora microbiana aeróbia que promove a ciclagem dos nutrientes dissolvidos no sistema para redução dos compostos nitrogenados, além de ser um sistema com forte aeração e altos níveis de oxigênio dissolvido. Esta microbiota também controla a presença de organismos indesejáveis pela competição por exclusão. Com isso, os gastos com a manutenção do sistema que mantém a qualidade da água são diminuídos, além dos desperdícios de calor nas transferências das muitas fases de filtragem e remoção de excretas e uso de grande volume de água para retro lavagens de filtros mecânicos.

Associado a tudo isso, o sistema de BFT permite que uma prática antiga para produção zootécnica seja empregada com menores riscos à produção, a prática de restrição alimentar e crescimento compensatório. Como dentro do sistema de produção em BFT existe toda uma microbiota promovendo a ciclagem de nutrientes e excretas dos camarões, estes além de servirem de alimento aos camarões (permitindo redução nos custos de produção), permitem melhorar a produtividade do sistema e garantir uma melhora na digestibilidade dos alimentos fornecidos, pois os microrganismos que compõem os bioflocos contribuem com enzimas digestivas extracelulares e possuem potencial probiótico para os camarões cultivados.

No presente trabalho foi testada a restrição alimentar com potencial crescimento compensatório utilizando dois sistemas fechados de produção, caracterizados pela alta capacidade de intensificação, por serem ambientalmente amigáveis, quais sejam, RAS e BFT.

2- Revisão de Literatura

2.1 Comparação entre sistema de produção de peneídeos em RAS e BFT

De acordo com o estudo realizado por Barros et al. (2014), a produção de camarões *Litopenaeus schmitti* em RAS, com vistas a produção de iscas vivas (camarões com peso final de aproximadamente 4 g), tem um elevado custo operacional. De acordo com os autores, o melhor resultado com esta espécie nativa foi obtido em uma produção de 45 dias, com 208 camarões/m², sobrevivência de 86,3%, onde cada camarão produzido teve um custo aproximado de US\$ 0,5 ao final do ciclo de produção, o que representa um retorno do investimento (‘payback’) de 6,3 anos.

Foés et al. (2011) trabalhando com *Farfantepenaeus paulensis* em densidade de 500 indivíduos/m² em BFT obtiveram uma sobrevivência de acima de 94%. Já Poersch et al. (2012), em estudo realizado com *Litopenaeus vannamei* em fazendas de carcinicultura tradicionais, adaptadas para produção em BFT, ou seja, cobrindo os tanques escavados em terra com lona de PEAD (polietileno de alta densidade) ou geomembrana, obtiveram sobrevivência acima de 90% com uma densidade de 180 camarões/m², com peso final de 12 g em três meses, a um custo de R\$ 0,16/camarão e retorno no investimento de 14 meses.

De acordo com Krummenauer et al. (2016), a produção de *L. vannamei* em sistemas BFT em “raceways” é possível estocar 300 a 450 camarões/m² para produção em escala comercial e obter sobrevivência acima de 94%, em 3 meses de produção, com custo de produção de R\$ 0,22/camarão de 12 g e com retorno do investimento de 12 meses. Atualmente, novos relatos indicam que a produtividade já alcançou 700 camarões/m² (Dariano Krummenauer comunicação pessoal).

Além disso, segundo Van Wyk (2013), *L. vannamei* tem um sistema digestivo muito ineficiente que consiste de um curto intestino. Evidência disso é que *L. vannamei* não utiliza eficientemente rações preparadas e suas fezes podem se acumular no filtro mecânico, diminuindo a sua eficiência. O equipamento mais eficiente para remoção de sólidos suspensos em sistemas RAS remove cerca de 90 a 95% dos sólidos excretados e desde que estes tenham tamanho maior que 30 µm. Isso provoca a distribuição de partículas sólidas, abaixo desse tamanho, pelo sistema. Mesmo que a filtração da água seja aumentada no RAS, micropartículas sempre se farão presentes na coluna de água. Esse acúmulo de micropartículas ao longo do tempo pode implicar em déficit na performance do biofiltro. A diminuição dessas partículas leva concomitantemente ao aumento relativo da área de contato entre as partículas e a água. Esse acúmulo de material orgânico tem grande potencial para

adesão de agentes patogênicos, colmatção dos filtros, além de contar com lixiviação e acumulação de restos de ração, ricos em nutrientes orgânicos e nitrogenados (Helfrich e Libey, 2013; Van Wyk, 2013). Surtos de doenças em peixes têm sido associados com esses acúmulos de partículas orgânicas em RAS, elevando a proporção de carbono para nitrogênio (C:N) acima de 1:1. Presumivelmente, o acúmulo dessas micropartículas nos biofiltros acabam por prejudicar seu funcionamento e, por conseguinte, prejudicam a ação de nitrificação da amônia a nitrito, pelas bactérias *Nitrosomonas* e deste a nitrato, pelas bactérias *Nitrobacter* (Van Wyk, 2013).

Comparando o sistema de RAS com o de BFT sob esse aspecto, o sistema de BFT torna-se mais eficiente, pois não há acúmulo de fezes, estas são diluídas na coluna de água e, com a forte aeração do sistema, propiciam a formação de uma microbiota rica em bactérias aeróbias que fazem a ciclagem dos nutrientes, transformando as fezes, restos de ração, exúvias e animais mortos em matéria viva (bactérias heterotróficas) que servem de alimento para os camarões, reduzindo os custos de produção e evitando sobrecargas de amônia, nitrito e fósforo no sistema, além de evitar acúmulos de material orgânico no sistema que poderia degradar a qualidade de água (Asaduzzaman et al., 2008; Avnimelech, 2012; Gao et al., 2012; Avnimelech, 2014; Krummenauer et al., 2014).

2.2 Carcinicultura em ambientes salobros

Flutuações na salinidade, bem como de outras variáveis ambientais, são um gatilho para respostas adaptativas com diferentes efeitos nas funções fisiológicas, com reflexo no crescimento e sobrevivência de organismos aquáticos (Young et al., 1989).

A salinidade pode mudar a quantidade de energia disponível para o crescimento de organismos aquáticos pela alteração do custo energético para a regulação iônica e osmótica. A salinidade também pode influenciar a atividade de enzimas digestivas e afetar a performance de crescimento (Moutou et al., 2004). Segundo estes mesmos autores, a exposição a diferentes salinidades resulta em mudanças nas taxas de ingestão de água, e é possível que a atividade de enzimas digestivas possa ser afetada pela salinidade do conteúdo do intestino, como observado por Munilla-Morán e Saborido-Rey (1996).

Segundo Baldisserotto (2002), a adaptação de uma espécie à mudança de salinidade implica na sua capacidade de ajustar seus mecanismos de transporte de íons e permeabilidade à água nas brânquias, rins e intestino, de modo a minimizar as alterações iônicas plasmáticas. Além disso, o animal precisa, ao mesmo tempo, ajustar-se a outras variações ambientais,

como concentração de oxigênio dissolvido, pH e temperatura, que geralmente se alteram junto com a salinidade.

Tsuzuki et al. (2007) observaram que o robalo-peva *Centropomus parallelus* mantido a 15‰ possui maior potencial para uma mais eficiente digestão e absorção de proteínas e amido da dieta para o metabolismo energético. Este poderia ser dirigido mais para o crescimento, pois nesta salinidade, provavelmente, a demanda metabólica é reduzida pelo meio isosmótico. Segundo Schmidt-Nielsen (2002), um animal é isosmótico quando os fluidos corpóreos apresentam a mesma pressão osmótica que a água do mar; possuem a mesma osmolaridade em relação ao meio ao qual vivem.

Camarões peneídeos migram dos estuários (águas salobras) para alto mar (águas salinas) para desovarem; após a eclosão suas larvas são levadas por meio de correntes marinhas para áreas costeiras protegidas, como, enseadas, baías, marismas, manguezais e estuários, onde há maior oferta de alimento. Porém são áreas onde há maior influência de marés e por conseguinte maior variação de salinidade, tanto sazonal quanto diária (quatro marés por dia), o que condiciona os camarões à variação nos níveis de sais dissolvidos nas águas em que se encontram (Barbieri, 2001).

O camarão *Litopenaeus vannamei* é conhecido como um eficiente osmorregulador, podendo habitar águas com salinidades de 0,5‰ até acima de 40‰. O camarão tem um ciclo de vida migratório que envolve águas oceânicas nas fases larvais e estuarinas na fase de pós-larva. Os ambientes estuarinos são extremamente variáveis e essa espécie consegue se adaptar muito bem nas fases mais jovens, perdendo gradativamente esta capacidade na fase adulta (Boyd, 1989; Bükle et al., 2006).

Assim crustáceos aquáticos precisam de diferentes estratégias adaptativas para manterem a hemolinfa de acordo com o meio circundante (Charmantier et al., 2009; Péqueux et al., 2006) para conseguirem sobreviver e fechar o ciclo de vida até reproduzirem. Bükle et al (2006) estudando a capacidade osmorregulatória de camarões *L. vannamei* sob diferentes temperaturas e salinidades, encontraram que a uma mesma temperatura de 28°C não houve diferença na capacidade osmorregulatória dos camarões para três diferentes salinidades 10, 16 e 28‰. Os resultados obtidos denotam que a melhor combinação de temperatura e salinidade (28°C e 10, 16 e 28‰) pode ser utilizada na produção de *L. vannamei* pois permite um ponto isosmótico estável de 823 mmol/Kg adequado à sua produção.

Além desses fatores relacionados à produção, demonstrando melhor crescimento e produção de *L. vannamei* em ambientes salobros (5 e 15‰) (Bray, 1994; Rosas, 2001), diversos autores (Moss et al, 2012; Ekasari et al, 2014; Megahed et al, 2018) têm trabalhado com camarões acometidos pela doença da mancha branca (White Spot Syndrome Virus-WSSV). Esta doença tem dizimado produções de camarões de diferentes espécies em vários países. Pesquisadores relatam maior resistência e sobrevivência dos camarões desafiados com o vírus da mancha branca em salinidades intermediárias (15 e 28‰), quando comparados com animais mantidos em salinidade marinha (34‰). Um dos motivos seria que os camarões estão mais próximos do seu ponto isosmótico em relação ao meio, diminuindo o gasto energético e o estresse para realizar a osmorregulação (Gao et al., 2001; Liu et al., 2006; Joseph e Philip, 2007; Ramos-Carreño et al., 2014).

2.3 Sistema de bioflocos, restrição alimentar, crescimento compensatório e produtividade na carcinicultura marinha

Estudos têm demonstrado que a utilização de bioflocos como alimento contribuiu significativamente no crescimento de *L. vannamei* e que mais de 29% do alimento consumido pelos camarões podem ser provenientes dos flocos bacterianos presentes no meio heterotrófico (Bauer et al., 2012; Emerenciano et al., 2012). Esses autores concluíram que a microbiota, principalmente protozoários e rotíferos, contribuiu para o melhor desempenho do camarão, corroborando Thompson et al. (2002) em trabalho realizado com juvenis de *Farfantepenaeus paulensis* (~0,14 g). Kuhn et al. (2009) descreveram que dietas contendo bioflocos (7,8 a 15,6%) podem ser usadas, contribuindo para o crescimento e a sobrevivência de juvenis de *L. vannamei* (~0,44 g). Esses dados foram apoiados por Bauer et al. (2012) usando 3,5 a 14% de bioflocos nas dietas de juvenis de *L. vannamei* (~2,5 g). Por outro lado, as dietas com inclusão de bioflocos acima de 25% resultaram em menor crescimento de juvenis de *L. vannamei* (~0,59 g) e os autores atribuíram o resultado a uma restrição dos aminoácidos lisina e metionina e o alto teor de cinzas no bioflocos seco. Provavelmente, os oligoelementos presentes no bioflocos poderiam gerar algum efeito tóxico para os animais (Gamboa-Delgado et al., 2017).

Podemos descrever mais alguns pontos positivos explicitando porque é conveniente usar os microorganismos do bioflocos como alimento. Chamberlain et al. (2001) e Kuhn et al. (2010) descreveram o alto teor de proteína bruta (PB) nos bioflocos (35 a 51 e 38,8 a 40,5%, respectivamente); enquanto Emerenciano et al. (2012) e Xu e Pan (2012), também

trabalhando com *L. vannamei* em BFT, relataram %PB = 30,4%; 27,3 a 31,6%, respectivamente. Xu e Pan (2012) relataram que o conteúdo lipídico dos bioflocos variou de 3,7 a 4,2% e, além da nutrição microbiana suplementar, esses autores fizeram referência à produção de enzimas extracelulares pelos bioflocos facilitando a utilização de alimentos e a digestão nos camarões. Além disso, Ferreira et al. (2015) declararam que os bioflocos microbianos podem ser uma fonte de bactérias Gram-positivas probióticas do gênero *Bacillus* spp., que é muito eficaz no controle da bactéria oportunista do gênero *Vibrio*. Avnimelech (2014) também explica que o efeito probiótico é devido a um biopolímero (poli-p-hidroxibutirato) armazenado em células microbianas que podem despolimerizar, liberando ácido butírico, um agente antimicrobiano. Outro ponto interessante é o tamanho dos microrganismos formadores dos bioflocos. De acordo com Ekasari et al. (2014), biofloco > 100 µm apresentaram os maiores níveis de proteína (27,8%) e lipídios (7,5%), enquanto o biofloco < 48 µm pareceu ser mais rico em aminoácidos essenciais.

Desta forma, a carcinicultura em BFT poderá possibilitar uma menor utilização de rações e permitirá utilizar rações com menores teores de proteína bruta, mantendo a qualidade da água do meio pela absorção de compostos nitrogenados, possibilitando que a mesma água seja reutilizada por vários ciclos de produção consecutivos. Além disso, novos estudos com restrição alimentar de camarões indicam que um manejo produtivo com períodos de ausência de alimentação poderá ser tendência na carcinicultura em breve (Wu e Dong, 2002a; Crab et al., 2007).

Devido a irregularidades espaciais e temporais de recursos alimentares no ambiente natural, animais aquáticos podem encontrar períodos de fome ou desnutrição durante seu ciclo de vida (Wu e Dong, 2002a). Essa adaptação à privação alimentar induz respostas metabólicas que podem variar em função de fatores como fase de vida, estações do ano, condições ambientais, temperatura e estado nutricional em que se encontravam anteriormente ao período de privação alimentar; influenciando no ajuste biológico e aumentando ou diminuindo o efeito da restrição alimentar sobre os animais (Sheridan e Mommsen, 1991).

A restrição do crescimento durante o período de privação alimentar ou jejum pode ser sucedida de uma fase de rápido crescimento quando a alimentação é restabelecida, conhecida como crescimento compensatório (Farbridge et al., 1992). Este crescimento compensatório, geralmente, está relacionado a um aumento na taxa e eficiência de ganho em peso durante o período de recuperação (Dobson e Holmes, 1984).

O crescimento compensatório pode ser um mecanismo de ajuste interno para os animais se adaptarem a muitas situações de variações dramáticas no ambiente: permite aos animais sobreviverem por um período de estresse por restrição alimentar para posteriormente experimentarem uma trajetória de crescimento acelerado quando novamente em condições normais (Ali et al., 2003; Wasielesky et al., 2013). Reservas energéticas corporais, tais como lipídios, têm sido considerados como responsáveis pela indução do crescimento compensatório. Diminuição de lipídio corporal e de proteínas depende de diferentes fatores como espécie pesquisada e tamanho ou fase de desenvolvimento, duração da restrição alimentar, qualidade nutricional do alimento ingerido dentre outros (Wang et al., 2000).

Entre os animais aquáticos, o crescimento compensatório tem sido estudado mais comumente em peixes (Hayward et al., 2000; Ali et al., 2003; Wang, 2009; Bavcevic, 2010), enquanto poucas pesquisas foram realizadas com crustáceos (Wu et al., 2000; 2001a, b; Wasielesky et al., 2013; Zhu et al., 2016) e moluscos (Auster e Stewart, 1984). Em crustáceos foram realizados estudos com o camarão chinês *Fenneropenaeus chinensis* (Wu et al., 2000, 2001a, b), camarão branco pacífico *L. vannamei* (Lin et al, 2008; Wasielesky et al. 2013; Zhu et al., 2016) e lagostins *Cherax quadricarinatus* (Stumpf e Greco, 2015).

Em peixes, estudos comprovaram que durante a ausência ou redução do alimento, os animais utilizam estratégias hormonais e metabólicas para sobreviver, provocando um decréscimo do tamanho do trato gastrointestinal e do fígado como consequência (Souza et al., 2003). Quando a alimentação é normalizada, os processos fisiológicos são reestabelecidos. O alimento é usado primeiramente para suprir as necessidades energéticas na manutenção dos processos vitais repondo o catabolismo do tecido e, posteriormente, passa a ser utilizado para o crescimento (Souza, 2003).

Estudos com restrição alimentar em peixes demonstraram que uma estratégia de realimentação com hiperfagia pode recuperar o crescimento normal dos animais, após um período de diminuição de ganho de peso e comprimento, que podem ser mais acentuadas quanto maior for o tempo de restrição alimentar (Arauco e Costa, 2012). Essa estratégia de sobrevivência pode ser utilizada em busca de melhores índices zootécnicos para a piscicultura, pois, estudos indicam que a adoção de estratégias conjuntas de práticas alimentares que atendam às exigências nutricionais dos peixes pode maximizar o efeito do crescimento compensatório.

Em crustáceos tem sido demonstrado que, após um período de restrição alimentar, estes apresentam um pronunciado crescimento compensatório quando retornam a uma fonte

de alimentação suficiente (Wu et al., 2000, 2001a, b). Mas qual é o limite para essa compensação? Wu et al. (2001a), trabalhando com juvenis de *F. chinensis* (~2,19 g) durante 10 dias de restrição de alimentação (alimentados com 4 a 12% de peso corporal por dia) e depois alimentando-os *ad libitum* durante um período de recuperação de 30 dias, relataram que 12% do grupo conseguiu recuperar o peso corporal em comparação com o grupo controle. Ciclos de fome e realimentação, como 1:4, 2:8, 4:16 e 8:32, foram testados por Wu e Dong (2002a) e os mesmos relataram que os camarões submetidos aos diferentes ciclos tiveram maior ganho de peso do que o grupo de controle (alimentado *ad libitum*). No entanto, após 32 dias de experimento, nenhum dos ciclos atingiu o mesmo peso corporal que o grupo controle.

Em estudos com *L. vannamei*, Lin et al. (2008) relataram que esta espécie é capaz de obter crescimento compensatório a partir do restabelecimento da alimentação após curtos períodos de jejum (1 a 3 dias). Nesse mesmo sentido, estudos com *L. vannamei* na China, encontraram que a eficiência de conversão alimentar e a média de eficiência no aproveitamento de proteínas para grupos de camarões submetidos a curtos períodos de restrição alimentar foram significativamente melhores, mais elevados, que os grupos controle, sugerindo que após curtos períodos de privação alimentar, com retorno ao arraçoamento normal existe potencial para aumentar a digestão e absorção de nutrientes pelos camarões (Zhu et al., 2016). Comoglio et al. (2004) relataram que *L. vannamei* (~0,998 g) conseguiram sobreviver 16 dias sem alimentação e após 9 dias de jejum, a sobrevivência diminuiu para 65%.

A maioria dos trabalhos aqui descritos que tratam de restrição alimentar e crescimento compensatório em crustáceos peneídeos, principalmente voltados ao uso dessa técnica à espécie *L. vannamei*, trabalhou com animais ainda na fase de pós-larva (período de berçário), passando-os para ambientes com maior área de cultivo (período de engorda). Desta forma é mais claro evidenciar o crescimento compensatório com camarões nesta forma de desenvolvimento (Wu e Dong, 2002; Wasiesleky, 2013; Fóes, 2016; Zhu et al., 2016). Seria o caso de se aplicar ferramentas científicas mais específicas para determinação do efeito da restrição alimentar e crescimento compensatório em animais que se encontrem em fases mais avançadas de vida, juvenis acima de 1,0 g (período de engorda), como as utilizadas por Oliveira Cesar (2006) e outras mais avançadas, em nível molecular, como expressão gênica e análises histológicas, que permitam investigações na musculatura abdominal determinando

níveis de crescimento (Watabe, 2001; Chauvigné, 2003; Oliveira Cesar, 2006; De Sanctis, 2011).

2.4 Crescimento muscular e crescimento compensatório em crustáceos decápodes

Para poder crescer, crustáceos têm que resolver um problema extra que não é enfrentado em nenhum outro filo animal. Eles precisam primeiramente perder os conectivos entre seus tecidos vivos e o exoesqueleto de quitina (exúvia). Além disso, precisam ficar livres do “tegumento” que os aprisiona, realizar ecdise (troca de exoesqueleto), absorver água para expandir a nova exúvia (exoesqueleto de quitina) e então assegurar sua capacidade de defesa, locomoção e alimentação (Chang, 1995).

Para que aconteçam os ciclos de ecdises nos crustáceos, dramáticas mudanças fisiológicas e bioquímicas ocorrem internamente para ocasionar modificações externas morfológicas (Chang, 1995).

A ecdise é fundamental para o crescimento em artrópodes. Os crustáceos Decápodes exibem um estado dinâmico de atrofia contínua e restauração de proteínas musculares para facilitar a retirada da carapaça durante a ecdise. O equilíbrio entre esses processos metabólicos conflitantes determina, em última instância, o crescimento geral do animal. A ecdise em crustáceos embora seja controlada hormonalmente, também é significativamente influenciada por condições ambientais, estado fisiológico e estágio de desenvolvimento (Skinner, 1985; Chan et al., 1988).

Nos estágios em que os crustáceos se encontram sem exúvias, eles ficam com o corpo mole. Com as exúvias liberadas, podemos determinar o crescimento muscular dos camarões por meio da medição do tamanho dos gastrólitos, por exames histológicos de tegumento, pela regeneração de pereiópodes e pelo desenvolvimento setal de apêndices (Robertson et al., 1987; Benhalima et al., 1998; Musgrove, 2000; Mykles, 2001). Chan et al. (1988) descreveram inicialmente os estágios de ecdises de *L. vannamei*, utilizando o grau de desenvolvimento setal nos pleópodes de animais de seis meses de idade. A modificação do uso de endopoditos e de urópodes em vez de pleópodos gerou resultados consistentes em animais jovens. A metodologia de determinação do estágio de muda com base em urópodes é prática e facilmente realizada.

Padrões típicos de ganho de peso em peixes e crustáceos são descritos por curvas sigmoidais, caracterizadas por crescimento rápido nos estágios iniciais, diminuindo com a idade e maturação sexual (Gulland, 1969). *L. vannamei* se encaixa neste padrão de

crescimento, onde os indivíduos jovens apresentam ecdises mais frequentes que os animais mais desenvolvidos. Oliveira Cesar et al. (2006) encontraram resultados apresentando o mesmo padrão de crescimento, já que o intervalo entre as ecdises aumentou com a idade. Este padrão de crescimento no camarão é típico nas condições de cultivo em laboratórios, sendo ligeiramente diferente nas observações de campo (Dall et al., 1990).

De acordo com Shean e Mycles (1995), os padrões de crescimento de artrópodes são caracterizados por ciclos de ecdises que apresentam alguns traços fora do padrão normal de desenvolvimento, como a necessidade de atrofia muscular variável e restauração para acomodar o corpo dentro do novo exoesqueleto um pouco maior. Em grandes crustáceos com garras, a degradação elevada da proteína tem sido associada à atrofia muscular induzida por exúvias durante pré-ecdises precoces, e esse fenômeno é necessário para permitir a retirada muscular do exoesqueleto na ecdise. Como consequência, o aparelho contrátil é remodelado à medida que as fibras sofrem atrofia e restauração, resultando em uma diminuição da largura da fibra e da área transversal da miofibrila e degradação nas principais proteínas contráteis, actina e miosina (Mykles e Skinner, 1982; Mykles, 1999; Koenders et al., 2002; Yu e Mykles, 2003). Não se espera que a atrofia pré-ecdise no músculo abdominal do camarão seja tão dramática quanto observada em garras de caranguejos e lagostas. Dados obtidos por Oliveira Cesar et al. (2006) indicam que o teor de água e as proteínas solúveis totais são relativamente estáveis ao longo do ciclo da muda. As secções transversais miofibrilares apresentaram diminuição progressiva na pré-ecdise e inchaço pós-ecdise, possivelmente relacionada à liberação e absorção de água durante estas etapas. Os mesmos autores encontraram ainda que a concentração de DNA aumentou durante o intercalamento das ecdises, possivelmente devido ao aumento da proliferação celular. O alto nível de concentração de RNA durante a pré-ecdise pode resultar de atividades aumentadas de proteases induzidas por muda, que podem estar relacionadas à atrofia muscular antes da ecdise. As proporções de RNA/proteína foram estáveis desde a pós-ecdise até o início da nova pré-ecdise, atingindo níveis mais altos em pré-ecdise tardia, levando a uma conclusão de que este estágio mantém altas atividades metabólicas, possivelmente relacionadas ao crescimento muscular e síntese protéica como proposto por Dahlhoff (2004).

Alguns aspectos genéticos específicos e respostas fisiológicas relacionadas à baixa alimentação têm sido descritos. O processo de geração de músculo é designado como miogênese (Tajbakhsh, 2009). Os estágios iniciais de regulação da miogênese estão relacionados em todos os animais à expressão dos genes que codificam fatores

transcricionais de proteínas, reguladores de uma determinada diferenciação. Tanto em invertebrados quanto em vertebrados, esses reguladores pertencem à família de fatores de transcrição bHLH (hélice básica-hélice-laço-hélice). A família desses fatores com uma ampla gama de ação regula a miogênese (Ozernyuk 2004). Os fatores regulatórios miogênicos (MRFs) que fazem parte desta superfamília dos fatores básicos de transcrição da hélice-laço-hélice (bHLH) incluem MyoD, Myf-5, Myogenina e MRF4. Os mecanismos de crescimento de tecido muscular dependem de MRF e expressões de myostatina e esses fatores de crescimento podem ser influenciados por fatores extrínsecos (por exemplo, jejum e realimentação).

O estresse provocado por fome e realimentação também altera o metabolismo muscular, induzindo expressão de genes que podem prejudicar o crescimento muscular produzindo inibidores de crescimento (Hornick et al., 2000; Hagen et al., 2009). Assim, há alguns anos são testados métodos para maximizar o crescimento na aquicultura, induzindo os animais a condições de jejum que resultam em baixa taxa de crescimento seguida de realimentação, quando muitos organismos tentam acelerar a taxa de crescimento (Hornick et al., 2000). Este crescimento acelerado é identificado por ser significativamente mais rápido do que a taxa de crescimento dos indivíduos que não experimentaram depressão do crescimento e foram mantidos nas mesmas condições (Nikki et al., 2004).

Esses processos de crescimento muscular são controlados por várias moléculas, como a miostatina e outros fatores de regulação de miogênica (“Myogenic Regulation Factors” ou MRFs) (Watabe, 2001; Pownall et al., 2002). Os fatores de transcrição têm uma região básica de hélice-laço-hélice (bHLH) altamente conservada (Funkenstein et al., 2007), que está ligada à E-caixa da sequência de DNA encontrada na região de promoção de muitos genes específicos de músculo (Lassar et al., 1989; Murre et al., 1989; Blackwell e Weintraub, 1990). Durante o crescimento muscular em peixes, MyoD e Myf5 regulam a ativação e proliferação de células satélites, enquanto que a miogenina e o MRF4 atuam sobre a diferenciação celular (Watabe, 2001).

Oliveira Cesar (2006) encontraram variações nos níveis de expressão de actina e miosina que foram significativamente maiores nos estágios inter-ecdises (camarão com exoesqueleto), sugerindo aumento das expressões de proteínas estruturais musculares durante o estágio inter-ecdises.

Em conclusão, no trabalho de Oliveira Cesar et al. (2006), os resultados globais da histologia das fibras musculares e das medidas bioquímicas sugerem a ocorrência de

rearranjo de fibras musculares em estádios pré-ecdise e pós-ecdise, e a ausência de atrofia muscular dramática no músculo abdominal. O acúmulo de músculo abdominal ocorre principalmente durante o período de inter-ecdise. Esses resultados foram baseados em animais juvenis (de três meses de idade), dentro da fase logarítmica do crescimento. É possível que esses padrões de expressão sejam ligeiramente diferentes dos animais sexualmente maduros, que tendem a concentrar a energia na reprodução em vez do crescimento corporal. Os autores indicam que estudos adicionais são necessários para esclarecer a expressão das proteínas miofibrilares e os regulamentos de tradução sobre o ciclo da muda.

Segundo Wu e Dong (2002a), a atividade de ecdises em crustáceos e o formato de crescimento podem estar relacionados ao padrão de alimentação. Aparentemente, o crescimento compensatório, até certo ponto, contribui para o aumento da frequência de ecdises pela hiperfagia após períodos de restrição alimentar. Estes mesmos autores estudando as respostas de crescimento compensatório em juvenis de camarão chinês, *F. chinensis*, sob diferentes temperaturas e diferentes regimes alimentares, encontraram que o período entre ecdises foi fortemente influenciado pela restrição alimentar (Wu e Dong, 2002b). Ainda segundo os mesmos autores, uma consequência do crescimento descontínuo natural de crustáceos pode ser separada em dois momentos: o primeiro seria o aumento da ecdise, isto é, a cada ecdise, a antiga exúvia é expelida, e um rápido e extenso crescimento ocorre durante o curto período antes que a nova exúvia se torne endurecida; o outro é o período entre ecdises, durante o qual a exúvia está dura e o crescimento é limitado.

Lara et al. (2017) encontraram altos índices de produtividade na criação de *L. vannamei* em sistema de bioflocos durante 60 dias de cultivo. O estudo foi realizado com seis diferentes tratamentos com densidade de 400 indivíduos/m² variando-se os regimes de restrição alimentar com ração por meio de taxas de alimentação fixas. O período de restrição alimentar e realimentação não afetou o crescimento dos camarões nos diferentes tratamentos. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas na sobrevivência entre os tratamentos que receberam alimentação artificial (médias superiores a 95%). Da mesma forma, não foram encontradas diferenças significativas quanto ao peso final, crescimento semanal e produtividade final entre os tratamentos com maior arraçoamento. Isso indica que se pode obter uma economia de 25% na produção de camarões em sistema de bioflocos reduzindo-se o emprego de ração artificial dos mesmos.

Em outro estudo, Lara et al. (2016) demonstraram que camarões juvenis ($1,14 \pm 0,38$ g) produzidos em sistema de bioflocos e com adoção de técnicas de restrição de alimento artificial, com 8 taxas de alimentação diferentes, utilizando baixas taxas de alimentação e divididos em dois períodos de cultivos, um de 21 dias com restrição de alimento artificial e outro de 29 dias com realimentação artificial em bioflocos, demonstraram um crescimento compensatório parcial no segundo período e com elevada sobrevivência (médias superiores a 95%), resultando em economia de 24,79% na alimentação artificial.

Fóes et al. (2016) trabalhando com pós-larvas de 20 dias (PL 20) de *L. vannamei* na fase de berçário, empregando densidade de estocagem superadensada (2.000 PL/m²), testaram dois diferentes tratamentos, um de longo prazo: 144 dias e outro de curto prazo (berçário tradicional): 18 dias. Muitas vantagens estão relacionadas ao uso de berçários, tais como: estocagem de juvenis maiores e mais saudáveis em viveiros de engorda, períodos mais curtos de cultivo com maiores taxas de crescimento (Cavalli et al., 2008) e menor risco de introdução de doenças e mortalidades (Samocha et al., 2000). Assim, Fóes et al. (2016) procuraram estudar os índices zootécnicos para *L. vannamei* e seu crescimento compensatório após serem liberados nos tanques de cultivo definitivos. Nesse estudo ficou demonstrado pelos valores de taxas de crescimento específico, que após a transferência para os tanques de cultivo definitivos com densidade de estocagem menor (tanques de engorda), os camarões apresentaram crescimento compensatório depois de longo período submetidos a estocagem estressante na fase de berçário. As taxas de crescimento foram similares às obtidas em cultivos tradicionais sem submeter as PL ao estresse induzido. Esse estudo demonstrou que *L. vannamei* pode ser mantido em berçários por longos períodos de estocagem em altas densidades sem prejuízos à produção, uma vez que seu crescimento compensatório pode ser ativado quando mantidos posteriormente em ambiente menos estressante.

Em estudo relacionado à produção de camarão ambientalmente amigável, Zhu et al. (2016) descreveram que curtos períodos de jejum ocasionaram diminuição na quantidade de fezes e diminuição de fósforo na água por lixiviação de ração não consumida. E após o restabelecimento da alimentação, estes curtos períodos de jejum também apresentaram uma maior eficiência de conversão alimentar, o que acabou por ocasionar uma diminuição na descarga de fósforo na água por meio das fezes quando comparado ao grupo controle.

Esses mesmos autores concluem dizendo que o estabelecimento de um protocolo de ciclos de alimentação com curtos períodos de restrição alimentar, tem um potencial positivo

na questão ambiental para a carcinicultura, pois a adoção de um protocolo de alimentação com curtos períodos de jejum pode reduzir o aporte de nitrogênio e fósforo na água de cultivo sem aparentemente afetar o crescimento de *L. vannamei*. Estes resultados sugerem que o uso de ciclos de alimentação e jejum, desencadeando crescimento compensatório nos camarões, tem um efeito positivo tanto do ponto de vista de produção, melhorando a conversão alimentar, quanto do ponto de vista ambiental.

2.5 Consorciando tilápias com carcinicultura

A carcinicultura intensiva apresenta uma produção substancialmente maior que a sua produção em sistema semi-intensivo (Rosenberry, 1996). Contudo, essa intensificação na produção se dá por meio de alto adensamento de camarões o que acaba por provocar estresse e por conseguinte diminuição na resposta imunológica a agentes patógenos (Lightner e Redman, 1998).

Segundo Core et al. (2005), *V. harveyi* faz parte da microfauna natural em águas marinhas e em sistemas de convencionais de produção de camarões, podendo ser observado sua proliferação após a primeira troca de água na carcinicultura convencional causando, inclusive, mortalidades significativas após 30 dias de cultivo. Contudo, os autores observaram que a água verde do consórcio com tilápias melhorou o crescimento, sobrevivência e produção dos camarões além de conferir maior resistência contra *V. harveyi*. Nas Filipinas, doença provocada por bactérias luminescentes (*Vibrio harveyi*) é um dos maiores problemas na carcinicultura (Lavilla-Pitogo et al., 1998). Estudos têm demonstrado que o uso de água verde (com fitoplâncton) pode provocar biorremediação (Thompson et al., 2002; Tendência et al., 2004), uma vez que na água verde encontram-se agentes que atuam como probióticos (Core et al., 2005).

A produção de tilápia em água salinizada está se tornando comum nas Filipinas e sua produção consorciada com camarões marinhos tem sido capaz de controlar o crescimento de *V. harveyi* nos tanques de carcinicultura (Wang et al., 1998).

Tendência et al. (2004) demonstraram os efeitos da água verde proveniente dos tanques de tilápias no controle de *V. harveyi* em tanques de camarões. Core et al. (2005) demonstraram que camarões, produzidos com água oriunda de tanques de tilápias, ou com tanques rede dentro dos tanques de carcinicultura, apresentaram um maior ganho de peso corporal quando comparados com os camarões sem a ligação com tilápias. Observaram que os camarões consorciados com tilápias apresentaram um crescimento mais rápido do que os

não consorciados, além de apresentarem uma maior média de sobrevivência ao final do experimento. Adicionalmente, os autores relataram uma diminuição de *V. harveyi* na água dos tanques onde havia tilápias.

Referências bibliográficas

- Acosta, J., Carpio, Y., Borroto, I., González, O., Estrada, M.P., 2005. Myostatin gene silenced by RNAi show a zebrafish giant phenotype. *J. Biotechnol.* 119:324-331.
- Ali, M., Nicieza, A., Wootton, R.J., 2003. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish Fish.* 4:147-190.
- Américo, J.H.P., Torres, N.H., Machado, A.A., Carvalho, S.L., 2013. Piscicultura em tanques redes: impactos e consequências na qualidade da água. *Rev. ANAP Brasil* 6(7):137-150.
- Arauco, L.R., Costa, V.B., 2012. Restrição alimentar no desempenho produtivo da tilápia (*Oreochromis niloticus*). *Comun. Sci.* 3(2):134-138.
- Asaduzzaman, M., Wahab, M.A., Verdegem, M.C.J., Huque, S., Salam, M.A., Azim, M.E., 2008. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. *Aquaculture* 280:117-123.
- Auster, P.J., Stewart, L.L., 1984. Compensatory growth in the bay scallop, *Argopecten irradians* (L.). *J. Northw. Atl. Fish Sci.* 5:103-104.
- Avnimelech, Y., 2014. Biofloc technology: a practical guidebook, 3rd edition. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Barbieri-Junior, R.C., Ostrensky-Neto, A., 2001. Camarões marinhos reprodução, maturação e larvicultura. *Aprenda Fácil Ed. Viçosa.* Vol 1, 255 p.
- Bauer, W., Prentice-Hernandez, C., Tesser, M.B., Wasielesky, W., Poersch, L.H., 2012. Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 342-343:112-116.
- Bavcevic, L., Klanjscek, T., Karamarko, V., Anicic, I., Legovic, T., 2010. Compensatory growth in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) compensates weight, but not length. *Aquaculture* 301:57-63.
- Benhalima, K., Moriyasu, M., Hébert, M., 1998. A technique for identifying the early-premolt stage in the male snow crab *Chionoecetes opilio* (Brachyura: Majidae) in Baie des Chaleurs, southern Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Zool.* 76:609-617.

- Blackwell, T., Weintraub, H., 1990. Differences and similarities in DNA-binding preferences of myoD and E2A protein complexes revealed by binding site selection. *Science* 250:1104-1110.
- Bower, N.I., Li, X., Taylor, R., Johnston, I.A., 2008. Switching to fast growth: the insulin-like growth factor (IGF) system in skeletal muscle of Atlantic salmon. *J. Exp. Biol.* 211:3859-3870.
- Boyd, C.E., 1989. Water quality management and aeration in shrimp farming. 2nd ed. Alabama Fisheries and Allied Aquacultures Departmental. Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama, USA.
- Bray, W.A., Lawrence, A.L., Leung-Trujillo, J.R., 1994. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHHN virus and salinity. *Aquaculture* 122:133-146
- Bürkle, L.F., Barón, B., Hernández, M., 2006. Osmoregulatory capacity of the shrimp *Litopenaeus vannamei* at different temperatures and salinities, and optimal culture environment. *Rev. Biol. Trop.*, 54:745-753
- Cavalli, R.O., Lehnen, T.G.L, Kamimura, M.T., Wasielesky, W.J., 2008. Desempenho de pós-larvas do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* alimentadas com diferentes frequências durante a fase de berçário. *Acta Sci. Biol. Sci.* 30(3):231-236.
- Chan, S.M., Rankin, S.M., Keeley, L.L., 1988. Characterization of the molt stages in *Penaeus vannamei*: setogenesis and hemolymph levels of total protein, ecdysteroid, and glucose. *Biol. Bull.* 175:185-192.
- Chang, E.S., 1995. Physiological and biochemical changes during the molt cycle in decapod crustaceans: an overview. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 193:1-14.
- Chauvigné, F., Gabillard, J.C., Weil, C., Rescan, P.Y., 2003. Effect of refeeding on IGFI, IGFI, IGF receptors, FGF2, FGF6, and myostatin mRNA expression in rainbow trout myotomal muscle. *Gen. Comp. Endocrinol.* 132:209-215.
- Core, V.L.J., Janeo, R., Ronquillo, J.O., Kurokura, H., 2005. Use of greenwater technology as biocontrol of luminous bacteria in intensive shrimp (*Penaeus monodon*) grow-out culture. *J. Nat. Sci.* 10(1):51-60.
- Covi, J.A., Kim, H.W., Mykles, D.L., 2008. Expression of alternatively spliced transcripts for a myostatin-like protein in the blackback land crab, *Gecarcinus lateralis*. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 150:423-430.

- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoird, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 270:1-14.
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356-357:351-356.
- Dahlhoff, E.P., 2004. Biochemical indicators of stress and metabolism: applications for marine ecological studies. *Annu. Rev. Physiol.* 66:183-207.
- Dall, W., Hill, B.J., Rothlisberg, P.C., Sharples, D.J., 1990. The Biology of the Penaeidae. *Advances in Marine Biology*, vol. 27. Academic Press, p. 489.
- De Santis, C., Wade, N.M., Jerry, D.R., Preston, N.P., Glencross, B.D., Sellars, M.J., 2011. Growing backwards: an inverted role for the shrimp ortholog of vertebrate myostatin and GDF11. *J. Exp. Biol.* 214:2671-2677.
- De Schryver, P., Defoirdt, T., Sorgeloos, P., 2014. Early Mortality Syndrome Outbreaks: A Microbial Management Issue in Shrimp Farming? *PLoS Pathog* 10:10-11.
- Dobson, S.H., Holmes, R.M. 1984. Compensatory growth in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J Fish Biol* 25:649-656.
- Edmondson, D.G., Olson, E.N., 1989. A gene with homology to the myc similarity region of MyoD1 is expressed during myogenesis and is sufficient to activate the muscle differentiation program. *Genes Dev.* 3:628-640.
- Ekasari, J., Azhar, M. H., Surawidjaja, E.H., Nuryati, S., De Schryver, P., Bossier, P., 2014. Immune response and disease resistance of shrimp fed biofloc grown on different carbon sources. *Fish and Shellfish Immunology*, 41(2) 332-339.
- Emerenciano, M., Ballester, E.L.C., Cavalli, R.O., Wasielesky, W., 2012. Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquac. Res.* 43:447-457.
- FAO - Food and Agriculture Organization, 2014. The state of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA) 2014. FAO Fish. Aquac, Rome.
- Farbridge, K.J., Flett, P.A., Leatherland, J.F., 1992. Temporal effect of restricted diet and compensatory increase dietary intake on thyroid function, plasma growth hormone levels and tissue lipid reserves of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 104:157-174.
- Fauconneau, B., Paboeuf, G., 2000. Effect of fasting and refeeding on in vitro muscle cell proliferation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Cell Tissue Res.* 301:459-463.

- Fóes, G., Fróes, C., Krummenauer, D., Poersch, L.H, Wasielesky, W.J., 2011. Nursery of pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* in biofloc technology culture system: survival and growth at different stocking densities. *J Shellfish Res* 30:367-373.
- Fóes, G., Krummenauer, D., Lara, G., Poersch, L.H., Wasielesky, W.J., 2016. Long term and the compensatory growth of white shrimp *Litopenaeus vannamei* in aquaculture ponds. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 44(3):588-594.
- Fuentes, E.N., Ruiz, P., Valdes, J.A., Molina, A., 2012. Catabolic signaling pathways, atrogenes, and ubiquitinated proteins are regulated by the nutritional status in the muscle of the fine flounder. *PLoS One* 7(9):e 44256.
- Funkenstein, B., Skopal, T., Rapoport, B., Rebhan, Y., Du, S.J., Radaelli, G., 2007. Characterization and functional analysis of the 5'flanking region of myosin light chain-2 gene expressed in white muscle of the gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Comp. Biochem. Physiol. D* 2:187-199.
- Gamboa-Delgado, J., Oca, G.A.R.M., Reyes, J.C.R., Villareal-Cavazos, D.A., Nieto-Lopez, M., Cruz-Suárez, L.E., 2017. Assessment of the relative contribution of dietary nitrogen from fish meal and biofloc meal to the growth of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquacult. Res.* 48:2963-2972.
- Gao, L., Shan, H., Zhang, T., Bao, W.; MA, S., 2012. Effects of carbohydrate addition on *Litopenaeus vannamei* intensive culture in a zero-water exchange system. *Aquaculture* 243:89-96.
- Gulland, J.A., 1969. Manual for fish stock assessment. Part 1. Fish Population Analysis. *FAO Manuals in Fisheries Science*, vol. 4. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 159 pp.
- Hadjipavlou, G., Matika, O., Clop, A., Bishop, S.C., 2008. Two single nucleotide polymorphisms in the myostatin (GDF8) gene have significant association with muscle depth of commercial Charolais sheep. *Anim. Genet.* 39:346-353.
- Hagen, Ø., Fernandes, J.M.O., Solberg, C., Johnston, I.A., 2009. Expression of growth related genes in muscle during fasting and refeeding of juvenile Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus*. *Comp. Bioch. and Physiol. B* 152:47-53.
- Hargreaves, J.A., 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacult. Eng.* 34:344-363.

- Hasty, P., Braddley, A., Morris, J., Edmondson, J.M., Venuti, J.M., Olson, E.N., Klein, V.H., 1993. Muscle deficiency and neonatal death in mice with targeted mutation in the myogenin gene. *Nature* 364:501-506.
- Hayward, R.S., Wang, N., Noltie, D.B., 2000. Group holding impedes compensatory growth of hybrid sunfish. *Aquaculture* 183:299-305.
- Helfrich, L.A., Libey, G., 1991. Fish Farming in Recirculating Aquaculture Systems (RAS). Department of Fisheries and Wildlife Sciences Virginia Tech. <http://www.nal.usda.gov/> (FAO)
- Hopkins, J.S., Hamilton, R.D., Sandifer, P.A., Browdy, C.L.; Stokes A.D., 1993 Effect of Water Exchange Rate on Production, Water Quality, Effluent Characteristics and Nitrogen Budgets of Intensive Shrimp Ponds. *J. World Aquacult. Soc.* 24:304-320.
- Hornick, J.L., Eenaeme, C.V., Gérard, O., Dufrasne, I., Istasse, L., 2000. Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domest. Anim. Endocrinol.* 19:121-132.
- IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2008. Estatística da pesca 2006 Brasil: grandes regiões e unidades da federação / Brasília-DF, IBAMA, 174 p.
- Johansen, K.A., Overturf, K., 2005. Quantitative Expression Analysis of Genes Affecting Muscle Growth during Development of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Mar. Biotechnol.* 7:576-587.
- Joseph, A., Philip, R., 2007. Acute salinity stress alters the haemolymph metabolic profile of *Penaeus monodon* and reduces immunocompetence to white spot syndrome virus infection. *Aquaculture* 272:87-97.
- Khun, D.D., Lawrence, A.L., Boardman, G.D., Patnaik, S., Marsh, L., Flick Jr., G.J., 2010. Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 303:28-33.
- Kim, B.K., Kim, K.S., Oh, C.W., Mykles, D.L., Lee, S.G., Kim, H.J., Kim, H.W., 2009. Twelve actin-encoding cDNAs from the American lobster, *Homarus americanus*: cloning and tissue expression of eight skeletal muscle, one heart, and three cytoplasmic isoforms. *Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol.* 153:178-184.
- Kim, H.W., Mykles, D.L., Goetz, F.W., Roberts, S.B., 2004. Characterization of a myostatin like gene from the bay scallop, *Argopecten irradians*. *Biochim. Biophys. Acta* 1679:174-179.

- Ko, C.F., Chiou, T.T., Chen, T.T., Wu, J.L., Chen, J.C., Lu J.K., 2006. Molecular cloning of myostatin gene and characterization of tissue-specific and developmental stage-specific expression of the gene in orange spotted grouper, *Epinephelus coioides*. Mar. Biotechnol. 9:20-32.
- Koendrers, A., Yu, X., Chang, E.S., Mykles, D.L., 2002. Ubiquitin and actin expression in claw muscles of land crab, *Gecarcinus lateralis*, and american lobster, *Homarus americanus*: differential expression of ubiquitin in two slow muscle fiber types during molt-induced atrophy. J. Exp. Zool. 292:618-632.
- Krummenauer, D., Gaona, C., Fóes G, Silveira, L.G.P., Moura, P.S, Poersch L.H., Wasielesky, W.J., 2016. Sistema de injetores de ar nos cultivos superintensivos em meio aos bioflocos. Panor. Aquic. 26:24-31.
- Krummenauer, D., Lara, G., Fóes, G., Poersch L.H., Wasielesky, W.J., 2013. Sistema de bioflocos: É possível reutilizar a água por diversos ciclos? Panor. Aquic. 23:40-47.
- Krummenauer, D., Samocha, T., Poersch, L.H., Lara, G., Wasielesky, W.J., 2014. The reuse of water on the culture of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT system. J. World Aquac. Soc. 45:3-14.
- Kubitza, F., 2013. Criação de tilápias em sistema com bioflocos sem renovação de água. Panor. Aquic. 21:14-23.
- Maccatrozzo, L., Bargelloni, L., Radaelli, G., Mascarello, F., Patarnello, T., 2001. Characterization of the myostatin gene in the gilthead seabream (*Sparus aurata*): sequence, genomic structure, and expression pattern. Mar. Biotechnol. 3:224-230.
- Lara, G., 2017. Manejo alimentar de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de bioflocos: efeitos da restrição alimentar e diferentes taxas de arraçoamento sobre os parâmetros zootécnicos. Tese Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. Universidade Federal do Rio Grande - FURG, RS, Brasil
- Lara, G., Hostins, B., Bezerra, A., Poersch, L., Wasielesky, W.J., 2016. The effects of diferente feeding rates and re-feeding of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc culture system. Aquacul. Eng. 77:20-26.
- Lara, G., Krummenauer, D., Poersch, L.H., Wasielesky, W.J., 2012. Sistema de bioflocos. Processos de assimilação e remoção do nitrogênio. Panor. Aquic. 22:32-37.
- Lassar, A.B., Buskin, J.N., Lockshon, D., Davis, R.L., Apone, S., Hauschka, S.D., Weintraub, H., 1989. MyoD is a sequence-specific DNA binding protein requiring a region of myc homology to bind to the muscle creatine kinase enhancer. Cell 58:823-831.

- Lavilla-Pitogo, C.R., Albright, L.J., Paner, M.G., 1998. Will microbial manipulation sustain the ecological balance in shrimp (*Penaeus monodon*) hatcheries? In: Flegel, T.W. (ed) Advances in Shrimp biotechnology. National Center for Genetic Engineering and biotechnology, Bangkok.
- Lee, C.Y., Hu, S.Y., Hu, S.Y., Gong, H.Y., Chen, M.H.C., Lu, J.K., Wu, J.L., 2009. Suppression of myostatin with vector-based RNA interference causes a double-muscle effect in transgenic zebrafish. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 387, 766-771.
- Levesque, H.M., Shears, M.A., Fletcher, G.L., Moon, T.W., 2007. Myogenesis and muscle metabolism in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) made transgenic for growth hormone. *J. Exp. Biol.* 211, 128-137.
- Li, S., Zhou, Z., Dong, Y., Sun, H., Gao, S., Chen, Z., Yang, A., Liu, W., Wang, Q., 2016. Molecular characterization, expression analysis of the myostatin gene and its association with growth traits in sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). *Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol.* 201, 12-20.
- Lightner, D.V., Redman, R.M., 1998. Shrimp diseases and current diagnostic methods. *Aquaculture* 164, 201-230.
- Lin, X-T., Pan, J-X., Xu, Z-N., Zhuo-Jia, L., Huo, L., 2008. Effect of periodic starvation on feeding, growth and defecation of *Litopenaeus vannamei*. *Acta Hydrobiol. Sin.* 32:403-407.
- Liu, B., Yu, Z., Song, X., Guan, Y., Jian, X., He, J., 2006. The effect of acute salinity changes on white spot syndrome (WSS) outbreaks in *Fenneropenaeus chinensis*. *Aquaculture* 253:163-170
- Liu, L.S., Yu, X.M., Tong, J.G., 2012. Molecular characterization of myostatin (MSTN) gene and association analysis with growth traits in the bighead carp (*Aristichthys nobilis*). *Mol. Biol. Rep.* 39:9211-9221.
- Maciel, J.C., 2013. Estudo de viabilidade econômica e comercial de produção de camarões marinhos no estado de Minas Gerais em sistema de bioflocos (BFT) em água salgada artificialmente. Monografia. Faculdades Pitágoras.
- McPherron, A. C., Lawler, A.M., Lee, S.J., 1997a. Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF-beta superfamily member. *Nature*, 387:83-90.
- McPherron, A.C., Lee, S.J., 1997b. Double muscling in cattle due to mutations in the myostatin gene. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94:12457-12461.

- Megahed, M., Elmesiry, G., Ellithy, A., Mohamed, K., 2018. Genetic, nutritional and pathological investigations on the effect of feeding low protein diet and biofloc on growth performance, survival and disease prevention of Indian white shrimp *Fenneropenaeus indicus*. *Aquac. Int.*, 26(2), 589-615.
- Montserrat, N., Gabillard, J.C., Capilla, E., Navarro, M.I., Gutierrez, J., 2007. Role of insulin, insulin-like growth factors, and muscle regulatory factors in the compensatory growth of the trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Gen. Comp. Endocrinol.* 150:462-472.
- Mosher, D.S., Quignon, P., Bustamante, C.D., Sutter, N.B., Mellersh, C.S., Parker, H.G., Ostrander, E.A., 2007. A mutation in the myostatin gene increases muscle mass and enhance racing performance in heterozygote dogs. *PLoS Genet.* 3:779-786.
- Moss, S.M., Moss, D.R., Arce, S.M., Lightner, D.V., Lotz, J.M., 2012. The role of selective breeding and biosecurity in the prevention of disease in penaeid shrimp aquaculture. *J. Inv. Pathol.*, 110(2), 247-250.
- Murre, C., McCaw, P.S., Vaessin, H., Caudy, M., Jan, L.Y., Jan, Y.N., Cabrera, C.V., Buskin, J.N., Hauschka, S.D., Lassar, A.B., Weintraub, H., Baltimore, D., 1989. Interactions between heterologous helix-loop-helix proteins generate complexes that bind specifically to a common DNA sequence. *Cell* 58:537-544.
- Musgrove, R.J.B., 2000. Molt staging in the southern rock lobster *Jasus edwardsii*. *J. Crustac. Biol.* 20:44-53.
- Mykles, D.L., 1999. Proteolytic processes underlying molt-induced claw muscle atrophy in decapod crustaceans. *Am. Zool.* 39:541-551.
- Mykles, D.L., 2001. Interactions between limb regeneration and molting in decapod crustaceans. *Am. Zool.* 41:399-406.
- Mykles, D.L., Skinner, D.M., 1982. Crustacean muscles: atrophy and regeneration during molting. In: Twarog, B.M., Levine, R.J.C., Dewey, M.M. (Eds.), *Basic Biology of Muscles: A Comparative Approach*. Raven Press, New York, pp. 337-357.
- Nebo, C., Portella, M.C., Carani, F.R., Almeida, F.L.A., Padovani, C.R., Carvalho, R.F., Dal-Pai-Silva, M., 2013. Short periods of fasting followed by refeeding change the expression of muscle growth-related genes in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Comp. Biochem. Physiol. B* 164:268-274.
- Nikki, J., Pirhonen, J., Jobling, M., Karjalainen, J., 2004. Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), held individually. *Aquaculture* 235:285-296.

- Oliveira Cesar, J.R., Zao, B., Malecha, S., Hako, H., Yang, J., 2006. Morphological and biochemical changes in the muscle of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* during the molt cycle. *Aquaculture* 261:688-694.
- Østbye, T.K., Galloway, T.F., Nielsen, C., Gabestad, I., Bardal, T., Andersen, Ø., 2001. The two myostatin genes of Atlantic salmon (*Salmo salar*) are expressed in a variety of tissues. *Eur. J. Biochem.* 268:5249-5257.
- Ozernyuk, N. D., 1999. Comparative Properties of Myogenesis in Invertebrates and in Lower and Higher Vertebrates. 2004. *Russian Journal of Developmental Biology*, Vol. 35, No. 6, 2004, pp. 360-369. Translated from *Ontogenez*, Vol. 35, No. 6, 2004, pp. 441-450.
- Patrino, M., Caliaro, F., Maccatrozzo, L., Sacchetto, R., Martinello, T., Toniolo, L., Reggiani, C., Mascarello, F., 2008a. Myostatin shows a specific expression pattern in pig skeletal and extraocular muscles during pre- and post-natal growth. *Differentiation* 76:168-181.
- Patrino, M., Sivieri, S., Poltronieri, C., Sacchetto, R., Maccatrozzo, L., Martinello, T., Funkenstein, B., Radaelli, G., 2008b. Real-time polymerase chain reaction, in situ hybridization and immunohistochemical localization of insulin-like growth factor-I and myostatin during development of *Dicentrarchus labrax* (Pisces: Osteichthyes). *Cell Tissue Res.* 331:643-658.
- Paula, T.G., Almeida, F.L.A., Carani, F.R., Vechetti-Júnior, I.J., Padovani, C.R., Salomão, R.A.S., Mareco, E.A., Santos, V.B., Dal-Pai-Silva, M., 2014. Rearing temperature induces changes in muscle growth and gene expression in juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Comp. Biochem. Physiol., Part B* 169:31-37.
- Pownall, M.E., Gustafsson, M.K., Emerson, C.P.J., 2002. Myogenic regulatory factors and the specification of muscle progenitors in vertebrate embryos. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 18:747-783.
- Qian, Z., He, S., Liu, Y., Hou, F., Liu, Q., Liu, X., 2013. cDNA cloning and expression analysis of myostatin/GDF11 in shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 165:30-33.
- Qian, Z., Mi, X., Wang, X., He, S., Liu, Y., Hou, F., Liu, Q., Liu, X., 2013. cDNA cloning and expression analysis of myostatin/GDF11 in shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 165:30-39.

- Ramos-Carreño, S., Valência-Yáñez, R., Correa-Sandoval, F., Giffard-Mena, I., 2014. White spot syndrome virus (WSSV) infection in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) exposed to low and high salinity. *Arch Virol* 159:2213-2222.
- Re, A.D., Diaz, F., Sierra, E., Gomez-Jimenez, S., 2004. Oxygen consumption, ammonium excretion and osmoregulatory capacity of *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson) exposed to different combinations of temperature and salinity. *Ciencias Marinas* 30:443-453.
- Robertson, L., Bray, W., Leung-Trujillo, J., Lawrence, A., 1987. Practical molt staging of *Penaeus setiferus* and *Penaeus stylirostris*. *J. World Aquac. Soc.* 18:180-185.
- Rodgers, B.D., Weber, G.M., Sullivan, C.V., Levine, M.A., 2001. Isolation and characterization of myostatin complementary deoxyribonucleic acid clones from two commercially important fish: *Oreochromis mossambicus* and *Morone chrysops*. *Endocrinology* 142:1412-1418.
- Ropka-Molik, K., Eckert, R., Piorkowska, K., 2011. The expression pattern of myogenic regulatory factors MyoD, Myf6 and Pax7 in postnatal porcine skeletal muscles. *Gene Expr. Patterns* 11:79-83.
- Rosas, C., López, N., Mercado, P., Martínez, E., 2001. Effect of salinity acclimation on oxygen consumption of juvenile of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *J Crustac Biol* 21:912-922.
- Rosenberry, B., 1996. World shrimp farming, an annual report. Shrimp News International. San Diego, CA, USA.
- Rudnicki, M.A., Schnegelsberg, P.N., Stead, R.H., Braun, T., Arnold, H.-H., Jaenisch, R., 1993. MyoD or Myf-5 is required for the formation of skeletal muscle. *Cell* 75:1351-1359.
- Sabourin, L.A., Rudnicki, M.A., 1999. The molecular regulation of myogenesis. *Clin. Genet.* 57:16-25.
- Sandri, M., 2008. Signaling in muscle atrophy and hypertrophy. *Physiology* 23:160-170.
- Schryver, P.D., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W., 2008. The basics of bioflocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277:125-137.
- Scopel, B.R., Schweitzer, R., Seiffert, W.Q., Pierri, V., Arantes, R.F., Vieira, F.N., Vinatea, L.A., 2011. Substituição da farinha de peixe em dietas para camarões marinhos cultivados em sistema bioflocos. *Pesq. Agropec. Bras.* 46:928-934.

- Shean, B.S., Mykles, D.L., 1995. Polyubiquitin in crustacean striated muscle: increased expression and conjugation during molt-induced claw muscle atrophy. *Biochem. Biophys. Acta* 1264:312-322.
- Sheridan, M.A., Mommsen, T.P., 1991. Effects of nutritional state on in vivo lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 81:473-483.
- Skinner, D.M., 1985. Molting and regeneration. In: Bliss, D.E., Mantel, L.H. (Eds.), *The Biology of Crustacean*, vol. 9. Academic Press, New York, pp. 43-128.
- Souza, V.L., Urbinati, E.C., Martins, M.I.E.G., Silva, P.C., 2003. Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetidos a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Rev. Bras. Zootec.* 32:19-28.
- Stumpf, L., Greco, L.S.L., 2015. Compensatory growth in juveniles of freshwater redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* reared at three different temperatures: hyperphagia and food efficiency as primary mechanisms. *PLoS One* 10(9):1-9.
- Tendência, E.A., Dela Peña, M.R., Fermin, A.C., Lio-Po, G., Choresca, C.H., Inui, Y., 2004. Antibacterial activity of tilapia *Tilapia hornorum* against *Vibrio harveyi*. *Aquaculture* 232:145-152.
- Valente, L.M., Bower, N.I., Johnston, I.A., 2012. Postprandial expression of growth related genes in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) juveniles fasted for 1 week and fed a single meal to satiation. *Br. J. Nutr.* 108:2148-2157.
- Van Wyk, P.M., 2013. Farming marine shrimp in freshwater systems: an economic development strategy for Florida: Final Report. Harbor Branch Oceanographic Institution. FDACS Contract #4520. Florida Department of Agriculture Consumer Services, Tallahassee, Florida.
- Wang, Y., Cui, Y., Qin, J. G., Han, H., 2009. Cyclical feed deprivation and refeeding fails to enhance compensatory growth in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquacult. Res.* 40: 204-210.
- Wang, Y., Cui, Y., Yang, Y., Cai, F., 2000. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in seawater. *Aquaculture* 189:101-108.
- Wasielesky, W.J., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006. Effect natural production in a zero-exchange suspended microbial floc based super-intensive culture for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258:396-403.

- Wasiolesky, W.J., Froes, C., Fóes, G., Krummenauer, D., Lara, G., Poersch, L.H., 2013. Nursery of *Litopenaeus vannamei* reared in a biofloc system: the effect of stocking densities and compensatory growth. *J. Shellfish Res.* 32(3):799-806.
- Watabe, S., 2001. Myogenic regulatory factors. *Fish Physiol.* 24:19-41.
- Weintraub, H., 1993. The MyoD family and myogenesis: redundancy, networks and thresholds. *Cell* 75:1241-1244.
- Welle, S., Burgess, K., Thornton, C.A., Tawil, R., 2009. Relation between extent of myostatin depletion and muscle growth in mature mice. *Am. J. Physiol.*, 297:935-940.
- World Bank Report, 2013. Fish to 2030 Prospects for Fisheries and Aquaculture. 83177 edn-GLB, 81.
- Wu, L., Dong, S., 2002a. The effects of repetitive starvation-and-refeeding cycles on the compensatory growth response in chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis* (Osbeck, 1765) (Decapoda, Penaeidae). *Crustaceana* 74(11):1225-1239.
- Wu, L., Dong, S., 2002b. Compensatory growth responses in juvenile chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*, at different temperatures. *J. Crust. Biol.* 22:(3)511-520.
- Wu, L., Dong, S., Tian, X., 2001a. The compensatory growth in the Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) following starvation. *Acta Ecol. Sin.* 21:452-457.
- Wu, L., Dong, S., Wang, F., Tian, X., Ma, S., 2001b. The effect of previous feeding regimes on the compensatory growth response in Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*. *J. Crust. Biol.* 21:559-565.
- Wu, L., Dong, S., Wang, F., Tiang, X., 2000 Compensatory growth response following periods of starvation in Chinese shrimp, *Penaeus chinensis* Osbeck. *J. Shell Res.* 19:717-722.
- Xu, W.J.; Pan, L.Q., 2012. Effects of bioflocs on growth performance, digestive enzyme activity and body composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* in zero-water exchange tanks manipulating C/N ratio in feed. *Aquaculture* 356-357:147-152.
- Ye, H.Q., Chen, S.L., Sha, Z.X., Liu, Y., 2007. Molecular cloning and expression analysis of the myostatin gene in sea perch (*Lateolabrax japonicus*). *Mar. Biotechnol.* 9:262-272.
- Ye, X.H., Brown, S.R., Nones, K., Coutinho, L.L., Dekkers, J.C.M., Lamont, S.J., 2007. Associations of myostatin gene polymorphisms with performance and mortality traits in broiler chickens. *Genet. Sel. Evol.* 39:73-89.
- Ying, L., Baoliang, L., Guoxiang, S., 2015. Recirculating aquaculture systems in China - Current application and prospects. *Fish. Aquac. J.*, 6:3.

- Yu, X., Mykles, D.L., 2003. Cloning a muscle-specific calpain from the American lobster *Homarus americanus*: expression associated with muscle atrophy and restoration during molting. *J. Exp. Biol.* 206:561-575.
- Zhu, X., Chen, D.X., Hu, Y., Wu, P., Wang, K.Z., Zhang, J.Z., Chu, W.Y., Zhang, J.S., 2015. The microRNA signature in response to nutrient restriction and refeeding in skeletal muscle of Chinese Perch (*Siniperca chuatsi*). *Mar. Biotechnol.* 17:180-189.
- Zhu, Z-M., Lin, X-T, Pan, J-X., Xu, Z-N., 2016. Effect of cyclical feeding on compensatory growth, nitrogen and phosphorus budgets in juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Aquacult. Res.* 47:283-289.
- Zhuo, R.Q., Zhou, T.T., Yang, S.P., Chan, S.F., 2017. Characterization of a molt-related myostatin gene (FmMstn) from the banana shrimp *Fenneropenaeus merguensis*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 248:55-68.

Artigo 1

Artigo publicado na revista Aquaculture International

Review

Feed restriction inducing compensatory growth in shrimps using biofloc (Running head)

Compensatory growth and feed restriction in marine shrimp production, with emphasis on biofloc technology

Julio Cesar Maciel¹, Claire Juliana Francisco², Kleber Campos Miranda Filho^{1*}

¹ Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Escola de Veterinária, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - CEP: 31270-901 - Pampulha, Belo Horizonte – MG, Brasil

² Universidade Estadual Paulista – UNESP, Instituto de Biociências, Rua Prof. Dr. Antonio Celso Wagner Zanin, s/nº - CEP: 18618-689, Botucatu – SP, Brasil.

*Corresponding author:

Kleber Campos Miranda-Filho
Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Veterinária, Departamento de Zootecnia
Laboratório de Aquacultura - LAQUA
Av. Antônio Carlos, 6627, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG,
Brasil
Phone: + 55 31 3409-3311
E-mail: kmiranda2010@ufmg.br, kleber08@gmail.com



Compensatory growth and feed restriction in marine shrimp production, with emphasis on biofloc technology

Julio Cesar Maciel¹ · Claire Juliana Francisco² ·
Kleber Campos Miranda-Filho¹

Received: 18 February 2017 / Accepted: 9 October 2017 / Published online: 16 October 2017
© Springer International Publishing AG 2017

Abstract In Brazil, studies and production of penaeid shrimp in a biofloc technology (BFT) system are recent, but the results point to a promising future. Research with feed restriction inducing compensatory growth in shrimps has been shown to be a technique that allows a saving of around 25% in the use of feed for shrimp production. It also allows the reduction of costs with salaries and adapts shrimp farming to the world demand for environmentally friendly production, with the reduction of nitrogen and phosphorus levels in its effluents, as well as lower water use in shrimp farming. In crustaceans, it has been shown that after a period of feed restriction, the animals show a pronounced compensatory growth when they return to a sufficient food source. Studies with the penaeid shrimp *Litopenaeus vannamei* reported the ability of the species to obtain a complete compensatory growth after short feeding periods (1 to 3 days) followed by feeding; These short periods of fasting presented a greater efficiency in the feed conversion besides the decrease in the concentration of phosphorus present in the aquatic environment, coming from the excreta. The adoption of a restriction program in the feeding using BFT may contribute to a reduction in operating costs, reduction of metabolic nutrients dissolved in water, and, consequently, an increase in the number of cycles in which the same water can be reused for production reducing production costs and improving productivity indices in shrimp farming.

Keywords Aquaculture · Fasting · *Litopenaeus vannamei* · Penaeid shrimp

✉ Kleber Campos Miranda-Filho
kmiranda2010@ufmg.br; kleber08@gmail.com

¹ Departamento de Zootecnia, Laboratório de Aquicultura (LAQUA), Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG 31270-901, Brazil

² Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rua Prof. Dr. Antonio Celso Wagner Zanin, s/no, Botucatu, SP 18618-689, Brazil

Abstract

In Brazil, studies and production of penaeid shrimp in a biofloc technology (BFT) system are recent, but the results point to a promising future. Research with feed restriction inducing compensatory growth in shrimps has been shown to be a technique that allows a saving of around 25% in the use of feed for shrimp production. It also allows the reduction of costs with salaries and adapts shrimp farming to the world demand for environmentally friendly production, with reduction of nitrogen and phosphorus levels in its effluents, as well as lower water use in shrimp farming. In crustaceans it has been shown that after a period of feed restriction, the animals show a pronounced compensatory growth when they return to a sufficient food source. Studies with the penaeid shrimp *Litopenaeus vannamei* reported the ability of the species to obtain a complete compensatory growth after short feeding periods (1 to 3 days) followed by feeding; These short periods of fasting presented a greater efficiency in the feed conversion besides the decrease in the concentration of phosphorus present in the aquatic environment, coming from the excreta. The adoption of a restriction program in the feeding using BFT may contribute to a reduction in operating costs, reduction of metabolic nutrients dissolved in water, and, consequently, an increase in the number of cycles in which the same water can be reused for production reducing production costs and improving productivity indices in shrimp farming.

Key words: Aquaculture; fasting; *Litopenaeus vannamei*; penaeid shrimp.

Introduction

Fasting is a practice experienced by various aquatic organisms throughout their life cycle. Wu and Dong (2002a) reported that this food discontinuity depends on factors such as water quality, environmental condition and even the presence of pathogens in the aquatic environment.

In aquaculture activities, food restriction is a technique considered as stressful, but it has been used as a strategy to guarantee the economy in the use of ration, as well as in the reduction of costs with labor. It is believed that food restriction also contributes to the current worldwide demand for environmentally friendly production, reducing nutrient concentrations (e.g. nitrogen and phosphorus) and organic matter in their effluents (Zhu et al., 2016). Moreover, it is believed that compensatory growth (rapid growth after period of feed restriction) can be fully achieved by the animals returning to the normal feeding condition (Zhu et al., 2016). According to Fóes et al. (2016), the economy of approximately 25% in feed use could be obtained with the food restriction followed by compensatory growth in marine shrimps.

Shrimp farming is the sector within aquaculture that has the highest growth in production, with emphasis on the marine species *Litopenaeus vannamei*, commonly known as Pacific white shrimp, euryhaline species, able to tolerate salinities from 0 to 50 ‰, and the most cultivated in the world (FAO, 2014).

Despite the success of shrimp farming, the activity was considered an environmental villain due to the destruction of natural environments (e. g. marshes, swamps, estuaries and other coastal environments), the construction of ponds and the release of untreated effluents into recipient bodies (Crab et al., 2012). In addition, several episodes of considerable losses have been reported in recent years. These losses are mainly related to the pathogen action and depletion of water quality in farming environments (De Schryver et al., 2014).

The search for a sustainable technology and biosafety resulted in the development of shrimp farming in a closed superintensive system, with intense aeration, rich in suspended material, without water renewal, using smaller areas of breeding and utilizing the microbiota present in the environment (by manipulation of the Carbon:Nitrogen ratio) to control and decrease toxic inorganic nitrogen levels and as a food source. Such a culture system was called biofloc technology (Biofloc Technology or BFT). Other terms have been created to denote such a system as: "zero exchange aerobic heterotrophic system (ZEAH)", cultivation in heterotrophic medium, and so on (Crab et al., 2012; Avnimelech, 2014; Krummenauer et al., 2014). More specifically, the mentioned characteristics of the BFT system allow the formation of macroaggregates, consisting basically of microalgae, nitrifying and heterotrophic bacteria, protozoa, rotifers, metazoans, exoskeletons, feces, exudes and remains of dead organisms, predominantly a heterotrophic and aerobic biota called biofloc (Schryver et al., 2008), that develop in an environment rich in carbon and nitrogen; which are characterized by microorganisms protein rich and other nutrients (Asaduzzaman et al., 2008; Gao et al., 2012; Krummenauer et al., 2014). As mentioned, the so-called bioflocs are produced naturally, are different in different systems and can be supplemented as a food source for cultivated organisms like penaeid shrimp (Kuhn et al., 2009; Emerenciano et al., 2012), tilapia and mussels (Ekasari et al., 2014).

Historically, BFT shrimp farming is an innovative system of shrimp production developed in the USA in the 1990s, adjusting shrimp farming to increasing environmental pressure to reduce water use (Hopkins et al., 1993). The investigations were focused on the production of *L. vannamei* with minimal use of water changes and even reuse of water for several cycles, aiming also to reduce the introduction, infestation and dissemination of viral and bacterial epidemics (Lara et al., 2012; Krummenauer et al., 2013). The minimum water

exchange in the system is guaranteed by the recycling of the nitrogenous compounds carried out by the bacteria present in the aquatic environment (Avnimelech, 2014).

In Brazil, studies and production in BFT are recent, but the results point to a promising future (Wasielesky et al., 2006; 2007; Emerenciano et al., 2012). In cities that are not in the coast area, the demand and value for marine food are high. This commercial factor compensates the installation of this system (using low salinity) in areas far from the valued coastal region (Maciel, 2013).

Studies by the World Bank (2013) indicate that by the year 1980 only 10% of fishmeal and fish oil produced in the world were consumed by aquaculture, but in 2010 this percentage rose to 73%, and by 2030 it will be imperative to improve food efficiency in the consumption of fish meal for the production of animal feed.

Like all productive activity, scaling up has a detrimental effect on the environment. A productive company should aim at optimizing the use of natural resources and production, producing more and better quality, reducing environmental impacts and using the minimum of natural resources necessary for its production (Américo, 2013). Aquaculture with less use of animal resources for its production, less use of water (non-renewable resource) and with a lower effluent level (Souza et al., 2003).

In this sense, the studies have been conducted to show a real efficiency of the biofloc in reducing the amount of fish-meal and oil in the rations for shrimp farming (Scopel et al., 2011; Emerenciano et al., 2012).

Biofloc as a food, compensatory growth, and productivity in marine shrimp farming

Studies have shown that the use of biofloc as a food contributed significantly to the growth of *L. vannamei*. Emerenciano et al. (2012) working with a nursery of *Farfantepenaeus brasiliensis*, reported the beneficial role of biofloc by improving water quality and shrimp growth when compared to clear water treatment. These authors concluded

that the rich microbiota, mainly protozoa and rotifers, contributed to better shrimp performance, corroborating Thompson et al. (2002) working with *Farfantepenaeus paulensis* juveniles (~0.14 g). Kuhn et al. (2009) described that diets containing biofloc (7.8 to 15.6%) can be used contributing with growth and survival of *L. vannamei* juveniles (~0.44 g). These data were supported by Bauer et al. (2012) using until 3.5 to 14% of biofloc in the diets of *L. vannamei* juveniles (~2,5 g). On the other hand, diets with biofloc inclusion above 25% resulted in lower growth of *L. vannamei* juveniles (~0.59 g) and the authors attributed the result to a restriction of the amino acids lysine and methionine and the high ash content in the dry biofloc. Probably the trace elements present in the biofloc could generate some toxic effect to the animals (Gamboa-Delgado et al., 2017).

But what is the good thing about using biofloc as a food source? We can describe several positive points compiled of successive researches. Chamberlain et al. (2001) and Kuhn et al. (2010) described the high crude protein (CP) content in the biofloc (35 to 51% and 38.8 to 40.5%, respectively), while Emerenciano et al. (2012) and Xu and Pan (2012), also working with *L. vannamei* in BFT, reported CP = 30.4% and 27.3 to 31.6%, respectively. Xu and Pan (2012) also highlight the biofloc lipid content from 3.7 to 4.2% and in addition to supplemental microbial nutrition, these authors reported the production of extracellular enzymes by the biofloc facilitating feed utilization and digestion by shrimps. In addition, Ferreira et al. (2015) stated that microbial biofloc can be a source of probiotic Gram positive bacteria of the genus *Bacillus* spp., very effective to control the opportunistic bacteria of the *Vibrio* genus. Avnimelech (2014) also explain that the probiotic effect is due to a bio-polymer (poly- β -hydroxybutyrate) stored in microbial cells that can depolymerize releasing butyric acid, an anti microbial agent. Other interesting point is the biofloc size. According to Ekasari et al. (2014), the biofloc > 100 μ m presented the highest levels of

protein (27.8%) and lipids (7.5%), while the biofloc < 48 µm seemed to be the richest in essential amino acids.

In this way, BFT shrimp farming may allow lower feed utilization and also lower crude protein levels, maintaining the quality of the medium water by the absorption of nitrogenous compounds, allowing the same water to be reused for several consecutive production cycles. In addition, new studies with shrimp feed restriction indicate that productive management with periods of no feeding may be a trend in shrimp farming soon (Crab et al., 2007; Wu and Dong, 2002a).

Due to spatial and temporal irregularities of food resources in the natural environment, aquatic animals may encounter periods of fasting or malnutrition during their life cycle (Wu and Dong, 2002a). This adaptation to food deprivation induces metabolic responses that may vary according to factors such as life stage, seasons, environmental conditions, temperature and nutritional status in which the animals were before the period of food deprivation; influencing biological adjustment by increasing or decreasing the effect of feed restriction on animals (Sheridan and Mommsen, 1991).

Growth restriction during the period of food deprivation or fasting can be followed by a rapid growth phase when food is restored, known as compensatory growth (Farbridge et al., 1992). This compensatory growth is usually related to an increase in the rate and efficiency of weight gain during the recovery period (Dobson and Holmes, 1984).

Compensatory growth may be an internal adjustment mechanism for animals to adapt to many situations of dramatic variations in the environment: it allows the animals to survive through a period of feed restriction and then to experience an accelerated growth trajectory under normal conditions (Ali et al., 2003; Wasielesky et al., 2013). Body energy reserves, such as lipids, have been considered as responsible for the induction of compensatory growth. Decrease of body lipids and proteins depends on different factors such as the species,

size, development phase, duration of the food restriction, nutritional quality of the food ingested, among others (Wang et al., 2000).

Among the aquatic animals, compensatory growth has been most commonly studied in fish: hybrid sunfish (Hayward et al., 2000); several species of fish (Ali et al., 2003); Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Wang et al., 2009; Ali et al., 2016); gilthead sea bream *Sparus aurata* (Bavcevic et al., 2010; Peres et al., 2011), Asian catfish *Pangasius bocourti* (Jiwyam, 2010); while little research has been done with molluscs: scallop *Argopecten irradians* (Auster and Stewart, 1984) and crustaceans: Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* (Wu et al., 2000; 2001a,b), Pacific white shrimp *L. vannamei* (Wasielesky et al., 2013; Zhu et al., 2016), crayfish *Cherax quadricarinatus* (Stumpf and Greco, 2015).

Studies have shown that during the absence or reduction of food, fish use hormonal and metabolic strategies to survive, causing a decrease in the size of the gastrointestinal tract and liver as a consequence (Souza et al., 2003). When the feed is normalized, the physiological processes are reestablished. Fish use food primarily to meet energy needs in maintaining vital processes by restoring tissue catabolism and only after that, the rest is used for growth (Souza, 2003).

Studies with feed restriction in fish demonstrate that a feedback strategy with hyperphagia can restore normal fish growth after a period of decreased weight gain and length, which may be more pronounced the longer the feed restriction time (Arauco e Costa, 2012). This survival strategy can be used to obtain better zootechnical indexes for fish farming, because studies indicate that the adoption of joint strategies of feeding practices that meet the nutritional requirements of fish can maximize the effect of compensatory growth.

In crustaceans it has been shown that, after a period of feed restriction, they exhibit a pronounced compensatory growth when they return to a sufficient food source (Wu et al.,

2000, 2001a, b). But what is the limit to this compensation? Wu et al. (2001) working with juveniles of *Fenneropenaeus chinensis* (~2.189 g) during 10 days of feed restriction (fed 4 to 12% of body weight per day) and then fed *ad libitum* under a 30 day recovery period, reported that 12% group was able to regain body weight in comparison with the control group. Cycles of starvation and refeeding, such as: 1:4, 2:8, 4:16 and 8:32, were tested by Wu and Dong (2002a) and the authors reported that the shrimp submitted to the different cycles had greater weight gain than the control group (fed *ad libitum* continuously). However, after 32 days of experiment, none of the cycles reached the same body weight as the control group.

In studies with *L. vannamei*, Lin et al. (2008) reported that this species was able to obtain a complete compensatory growth (3 to 9 days) from the reestablishment of feeding after short periods of fasting (1 to 3 days). Likewise, studies with *L. vannamei* in China found that feed conversion efficiency and mean protein efficiency for groups of shrimp subjected to short periods of feed restriction (1 to 3 days) were significantly better than the control groups, suggesting that after short periods of feed deprivation, with return to normal feed there is potential to increase digestion and nutrient uptake by shrimp (Zhu et al., 2016). Comoglio et al. (2004) reported that *L. vannamei* (~0.998 g) was able to survive 16 days without food and after 9 days of fasting the survival decreased to 65%. In other study, *L. vannamei* (~8.18 g) had been starved for 7 to 28 days with survival of 100 to 59%, and lost of body weight of 3.2 to 10.4%, respectively. Shrimps starved for 14 days had 3 stages of modulation of gene expression related to immunity (Lin et al., 2012).

Some specific genetical aspects and physiological responses related to low feeding have been described. Gene expression induced by starvation and refeeding also changes muscle metabolism, growth rate and sometimes can impair muscle growth (Hornick et al., 2000; Hagen et al., 2009). Thus, methods for maximizing growth have been tested for many

years in aquaculture, i.e. the use of fasting conditions that result in low growth rate followed by refeeding, when many organisms attempt to accelerate the growth rate (Hornick et al., 2000). This accelerated growth is identified by being significantly faster than the growth rate of those individuals that have not experienced growth depression and have been kept under the same conditions (Nikki et al., 2004).

Muscle growth is also controlled by the expression of myostatin (Mstn), known as growth and differentiation factor-8 (GDF-8), member of the transforming growth factor- β (TGF- β) superfamily of proteins. However, Mstn is known to inhibit muscle differentiation and growth during myogenesis of vertebrates and functions as a negative regulator of skeletal muscle growth (McPherron et al., 1997). In invertebrates, Mstn has also been shown to restrict muscle growth in the fly *Drosophila melanogaster*, scallop *Argopecten irradians* (Kim et al., 2004), and sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Li et al., 2016). In crustacean, Mstn has been cloned from the lobster *Homarus americanus* (Kim et al., 2009), the crab *Gecarcinus lateralis* (Covi et al., 2008), and the shrimp *P. monodon* and *L. vannamei* (De Santis et al., 2011; Qian et al., 2013, Zhuo et al. 2017). In shrimp *P. monodon*, the Mstn gene was widely expressed across all tissues under investigation including muscle, hepatopancreas, eyestalk, heart, gill and stomach. Presented high concentration in the muscle after moult cycle of shrimp (De Santis et al., 2011).

According to Wu and Dong (2002a), the activity of molting and growth pattern in crustaceans may be related to feeding. Apparently, compensatory growth to some extent contributes to increased frequency of ecdyses by hyperphagia after periods of food restriction. These same authors, studying compensatory growth responses in Chinese shrimp juveniles, *F. chinensis*, under different temperatures and different diets, found that the period between ecdyses was strongly influenced by food restriction (Wu and Dong, 2002b). Also, a consequence of the natural discontinuous growth of crustaceans can be separated into two

moments: the first would be the increase in the frequency of ecdyses, that is, in each molt, the old exoskeleton is expelled, and a rapid and extensive growth occurs during short period before the new exuvia becomes hardened; the other is the period between ecdyses, during which exuvia is hard and growth is limited.

In the case of food restriction in a biofloc system, Lara et al. (2016) found high productivity indices in the establishment of *L. vannamei* in a biofloc system during 60 days of cultivation. The study was carried out with six different treatments with a density of 400 individuals/m², varying the feed restriction regimes using fixed feed conversion rates. The period of feed restriction and feedback did not affect the shrimp growth in the different treatments. There were no statistically significant differences in survival among treatments (means above 95%). Likewise, no significant differences were found regarding the final weight, weekly growth and final yield among treatments with higher feed intake. This indicates that a savings of 25% in the production of shrimp in the biofloc system can be obtained by reducing the use of artificial feed.

In another study, Lara et al. (2016) demonstrated that juvenile shrimps (1.14 ± 0.38 g) produced in a biofloc system and with artificial feed restriction techniques, with 8 different feeding rates, using low feeding rates and divided into two periods, with 21 days of artificial food restriction and with 29 days with artificial feedback in biofloc, showed a partial compensatory growth in the second period and with high survival (averages over 95%), resulting in a saving of 24.79 % in artificial feed.

Fóes et al. (2016) working with post-larvae of twenty days (PL20) of *L. vannamei* in the nursery stage, using high storage density (2,000 PL/m²), tested two different treatments, one long-term of 144 days and one short term (traditional nursery) of 18 days. Many advantages can be described by using nurseries, such as, storage of larger and healthier juveniles in growth out ponds, shorter periods of shrimp culture with higher growth rates

(Cavalli et al., 2008), and lesser risk of disease introduction and mortality (Samocho et al., 2000). Thus, Fóes et al. (2016) sought to study the zootechnical indexes for *L. vannamei* and their compensatory growth after being released in the definitive culture tanks. In this study, it was demonstrated by the values of specific growth rates, that after the transfer to the final growthout ponds with lower storage density, the shrimp presented compensatory growth after a long period submitted to stressful storage in the nursery phase. The growth rates were similar to those obtained in traditional cultures without subjecting PL to induced stress. This study demonstrated that *L. vannamei* can be maintained in nurseries for long periods of storage at high densities without production losses, since its compensatory growth can be activated when later maintained in a less stressful environment.

As for the environmental issue, Zhu et al. (2016) reported that short periods of fasting caused a decrease in the amount of feces and decrease of phosphorus in the water by leaching of unconsumed feed. After feeding, these short periods of fasting also showed a higher feed conversion efficiency, which resulted in a decrease in the phosphorus discharge in the water through the faeces when compared to the control group.

These same authors concluded that the establishment of a protocol of feeding cycles with short periods of food restriction has a positive potential in the environmental issue for shrimp farming, since the adoption of a feeding protocol with short periods of fasting can reduce the contribution of nitrogen and phosphorus in the water without apparently affecting the growth of *L. vannamei*. These results suggest that the use of feeding and fasting cycles, triggering compensatory growth in the shrimp, has a positive effect both from the point of view of production, improving feed conversion, and from the environmental point of view.

Final considerations

Marine shrimp farming in a biofloc system is a viable reality, technically and economically proven. However, more studies are needed to achieve greater productivity and

greater knowledge, so that producers can be assured of an economic activity capable of generating jobs and income with the lowest risks.

The adoption of short periods of feed restriction on shrimp farming in biofloc, such as on Saturdays and Sundays, can save 25% on feed costs, apart from the savings with staff payroll, since there is no need to maintain a full staffing schedule for feeding activities and other daily activities in a large-scale shrimp culture, and it may be possible to have a simple system of on-call staff with a reduced status, which in Brazil can mean a reduction of 10% with overtime payments and payroll charges on Sundays, besides reducing costs.

Thus, the adoption of a restriction program on feeding in marine shrimp in a biofloc system may contribute to a reduction in operating costs, reduction of metabolic nutrients dissolved in the water, and can lead to a reduction in the number of cycles in which the same water can be reused for consecutive productions.

According to Kuhn et al. (2010) bioflocs can be a suitable ingredient in shrimp feed. This option may offer the shrimp industry a means of mitigating the impacts of aquacultural wastes while producing a substitute for traditional proteins. Furthermore, bioflocs produced could potentially be used as a feed grade ingredient for a different class of aquatic species, so, the added benefit of identifying a suitable replacement for fishmeal could ease the pressures on wild fisheries.

Studies on food restriction and compensatory growth in shrimp culture in biofloc could allow an economic increase and become a great ally of the socio-environmental issue, with reduction in operating costs, less use of inputs and pressure on hired labor, and above all, it may enable future studies in relation to the food and nutritional capacity of the organisms forming the bioflocs and their use as feed for the target species.

According to Avnimelech (2014) and Emerenciano et al. (2012) differences in microorganism profiles or microbial assembly, their benefits for nutrition, microbial ecology

of bioflocs, nitrogen assimilation rates using different carbon source (e.g. glycerol) are knowledge gaps and certainly deserve more investigation. Xu and Pan (2012) believe that further research is needed to better understand pathways and mechanisms of bioflocs effects on the nutrition physiology of shrimp and how the bioflocs can be manipulated to maximize shrimp production performance. Last but not least, Avnimelech (2014) emphasizes the importance of research on biofloc composition under different conditions and the possibility of biofloc manipulation to achieve the desired nutritional content as a supplement.

References

- Ali M, Nicieza A, Wootton RJ (2003) Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish Fish* 4:147-190
- Ali TES, Martínez-Llorens S, Moñino AV et al (2016) Effects of weekly feeding frequency and previous ration restriction on the compensatory growth and body composition of Nile tilapia fingerlings. *Egypt J Aquat Res* 42:357-363
- Américo JHP, Torres NH, Machado AA et al (2013) Piscicultura em tanques redes: impactos e consequências na qualidade da água. *Rev ANAP Brasil* 6(7):137-150
- Arauco LR, Costa VB (2012) Restrição alimentar no desempenho produtivo da tilápia (*Oreochromis niloticus*). *Com Sci* 3(2):134-138
- Asaduzzaman M, Wahab MA, Verdegem MCJ et al (2008) C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. *Aquaculture* 280:117-123
- Auster PJ, Stewart LL (1984) Compensatory growth in the bay scallop, *Argopecten irradians* (L.). *J Northw Atl Fish Sci* 5:103-104
- Avnimelech Y (2014) *Biofloc technology: a practical guidebook*, 3rd edition. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA

- Bavcevic L, Klanjscek T, Karamarko V et al (2010) Compensatory growth in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) compensates weight, but not length. *Aquaculture* 301:57-63
- Bauer W, Prentice-Hernandez C, Tesser MT et al (2012) Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 342-343:112-116
- Cavalli RO, Lehnen TG, Kamimura MT et al (2008) Desempenho de pós-larvas do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* alimentadas com diferentes frequências durante a fase de berçário. *Acta Sci Biol Sci* 30(3):231-236
- Chamberlain G, Avnimelech Y, McIntosh RP et al (2001) Advantages of aerated microbial reuse systems with balanced C/N. II. Composition and nutritional value of organic detritus. *Global Aquacult Advocate* 4(4):22-24
- Comoglio LI, Gaxiola G, Roque A et al (2004) The effect of starvation on refeeding, digestive enzyme activity, oxygen consumption, and ammonia excretion in juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *J Shellfish Res* 23(1):243-249
- Covi JA, Kim HW, Mykles DL (2008) Expression of alternatively spliced transcripts for a myostatin-like protein in the blackback land crab, *Gecarcinus lateralis*. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 150:423-430
- Crab R, Avnimelech Y, Defoird T et al (2007) Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 270:1-14
- Crab R, Defoirdt T, Bossier P et al (2012) Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356-357:351-356
- De Santis C, Wade NM, Jerry DR et al (2011) Growing backwards: an inverted role for the shrimp ortholog of vertebrate myostatin and GDF11. *J Exp Biol* 214:2671-2677
- De Schryver P, Defoirdt T, Sorgeloos P (2014) Early Mortality Syndrome Outbreaks: A Microbial Management Issue in Shrimp Farming? *PLoS Pathog* 10:10-11

- Dobson SH, Holmes RM (1984) Compensatory growth in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J Fish Biol 25:649-656
- Ekasari J, Angela D, Waluyo SH et al (2014) The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. Aquaculture 426-427:105-111.
- Emerenciano M, Ballester ELC, Cavalli RO et al (2012) Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). Aquac Res 43:447-457
- FAO (2006) The state of World Aquaculture 2006. FAO Fisheries Department, Rome
- FAO (2014) The state of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA) 2014. FAO Fish. Aquac, Rome
- Farbridge KJ, Flett PA, Leatherland JF (1992) Temporal effect of restricted diet and compensatory increase dietary intake on thyroid function, plasma growth hormone levels and tissue lipid reserves of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 104:157-174
- Ferreira GS, Bolívar NC, Pereira SA et al (2015) Microbial biofloc as source of probiotic bacteria for the culture of *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 448:273-279
- Foés G, Krummenauer D, Lara G et al (2016) Long term and the compensatory growth of white shrimp *Litopenaeus vannamei* in aquaculture ponds. Lat Am J Aquat Res 44(3):588-594
- Gamboa-Delgado J, Oca GARM, Reyes JCR et al (2017) Assessment of the relative contribution of dietary nitrogen from fish meal and biofloc meal to the growth of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Aquacult Res 48:2963-2972.
- Gao L, Shan H, Zhang T et al (2012) Effects of carbohydrate addition on *Litopenaeus vannamei* intensive culture in a zero-water exchange system. Aquaculture 243:89-96

- Hagen Ø, Fernandes JMO, Solberg C et al (2009) Expression of growth related genes in muscle during fasting and refeeding of juvenile Atlantic halibut. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol* 152(1):47-53
- Hargreaves JA (2006) Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacult Eng* 34:344-363
- Hayward RS, Wang N, Noltie DB (2000) Group holding impedes compensatory growth of hybrid sunfish. *Aquaculture* 183:299-305
- Hopkins JS, Hamilton RD, Sandifer PA et al (1993) Effect of Water Exchange Rate on Production, Water Quality, Effluent Characteristics and Nitrogen Budgets of Intensive Shrimp Ponds. *J World Aquacult Soc* 24:304-320
- Hornick JL, Eenaeme CV, Gérard O et al (2000) Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domest Anim Endocrinol* 19:121-132
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2008) Estatística da pesca 2006 Brasil: grandes regiões e unidades da federação / Brasília-DF, IBAMA, 174 p
- Jiwyam W (2010) Growth and compensatory growth of juvenile *Pangasius bocourti* Sauvage, 1880 relative to ration. *Aquaculture* 306:393-397
- Kim BK, Kim KS, Oh CW et al (2009) Twelve actin-encoding cDNAs from the American lobster, *Homarus americanus*: cloning and tissue expression of eight skeletal muscle, one heart, and three cytoplasmic isoforms. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol* 153:178-184
- Kim HW, Mykles DL, Goetz FW et al (2004) Characterization of a myostatin like gene from the bay scallop, *Argopecten irradians*. *Biochim Biophys Acta* 1679:174-179
- Kuhn DD, Boardman GD, Lawrence AL et al (2009) Microbial floc meal as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. *Aquaculture* 296:51-57

- Kuhn DD, Lawrence AL, Boardman GD et al (2010) Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluente as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 303:28-33
- Krummenauer D, Lara GD, Fóes G et. al (2013) Sistema de bioflocos: É possível reutilizar a água por diversos ciclos? *Panor Aquic* 23:40-47
- Krummenauer D, Samocha T, Poersch LH et al (2014) The reuse of water on the culture of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT system. *J World Aquac Soc*45:3-14
- Lara G (2016) Manejo alimentar de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de bioflocos: efeitos da restrição alimentar e diferentes taxas de arraçoamento sobre os parâmetros zootécnicos. Tese Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG, RS, Brasil
- Lara G, Krummenauer D, Poersch LH et al (2012) Sistema de bioflocos. Processos de assimilação e remoção do nitrogênio. *Panor Aquic* 22:32-37
- Li S, Zhou Z, Dong Y et al (2016) Molecular characterization, expression analysis of the myostatin gene and its association with growth traits in sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol* 201:12-20
- Lin X-T, Pan J-X, Xu Z-N et al (2008) Effect of periodic starvation on feeding, growth and defecation of *Litopenaeus vannamei*. *Acta Hydrobiol Sin* 32:403-407
- Lin Y-C, Chen J-C, Man SNC et al (2012) Modulation of innate immunity and gene expressions in white shrimp *Litopenaeus vannamei* following long-term starvation and re-feeding. *Results Immunol* 2(2012):148-156
- Maciel JC (2013) Estudo de viabilidade econômica e comercial de produção de camarões marinhos no estado de Minas Gerais em sistema de bioflocos (BFT) em água salgada artificialmente. Monografia. Faculdades Pitágoras, MG, Brasil

- Mcpheeron AC, Lawler AM, Lee S (1997) Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF-beta superfamily member. *Nature* 387:83-90
- Nikki J, Pirhonen J, Jobling M (2004) Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), held individually. *Aquaculture* 235:285-296
- Peres H, Santos S, Oliva-Teles A (2011) Lack of compensatory growth response in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles following starvation and subsequent refeeding. *Aquaculture* 318:384-388
- Qian Z, Mi X, Wang X et al (2013) cDNA cloning and expression analysis of myostatin/GDF11 in shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 165:30-39
- Samocha TM, Cordova J, Blacher T et al (2000) High-density nursery of *Litopenaeus vannamei* in white-spot infected area utilizing raceway system with limited water discharge in Ecuador. *Global Aquacult Advocate* 3:66-68
- Schryver PD, Crab R, Defoirdt T et al (2008) The basics of bioflocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277:125-137
- Scopel BR, Schweitzer R, Seiffert WQ et al (2011) Substituição da farinha de peixe em dietas para camarões marinhos cultivados em sistema bioflocos. *Pesq Agropec Bras* 46:928-934
- Sheridan MA, Mommsen TP (1991) Effects of nutritional state on in vivo lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Gen Comp Endocrinol* 81:473-483
- Souza VL, Urbinati EC, Martins MIEG et al (2003) Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetidos a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Rev Bras Zootec* 32:19-28

- Stumpf L, Greco LSL (2015) Compensatory growth in juveniles of freshwater redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* reared at three different temperatures: hyperphagia and food efficiency as primary mechanisms. Plos One 10(9):1-9
- Thompson FL, Abreu PC, Wasielesky W (2002) Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. Aquaculture 203:263-278
- Wang Y, Cui Y, Qin JG et al (2009) Cyclical feed deprivation and refeeding fails to enhance compensatory growth in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. Aquacult Res 40:204-210
- Wang Y, Cui Y, Yang Y et al (2000) Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in seawater. Aquaculture 189:101-108
- Wasielesky WJ, Atwood H, Stokes A et al (2006) Effect natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 258:396-403
- Wasielesky WJ, Froes C, Fóes G et al (2013) Nursery of *Litopenaeus vannamei* reared in a Biofloc System: The effect of stocking densities and compensatory growth. J Shellfish Res 32(3):799-806
- Wasielesky WJ, Poersch LH, Peixoto SM et al (2007) Perspectivas para o desenvolvimento dos cultivos marinhos no estuário da Lagoa dos Patos, RS. In: Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio-econômicos. Organizadores: Barroso, G.F.; Poersch, L.H. & Cavalli, R.O. Rio de Janeiro: Museu Nacional, (série livros; 26), 316p
- World Bank Report. Fish to 2030 (2013) Prospects for Fisheries and Aquaculture. 83177 edn- GLB, 81
- Wu L, Dong S (2002a) The effects of repetitive starvation-and-refeeding cycles on the compensatory growth response in chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis* (Osbeck, 1765) (Decapoda, Penaeidae). Crustaceana 74(11):1225-1239

- Wu L, Dong S (2002b) Compensatory growth responses in juvenile chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*, at different temperatures. J Crust Biol 22:(3)511-520
- Wu L, Dong S, Tian X (2001a) The compensatory growth in the Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) following starvation. Acta Ecol Sin 21:452-457
- Wu L, Dong S, Tian X et al (2001b) The effect of previous feeding regimes on the compensatory growth response in Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*. J Crust Biol 21:559-565
- Wu L, Dong S, Wang F et al (2000) Compensatory growth response following periods of starvation in Chinese shrimp, *Penaeus chinensis* Osbeck. J Shell Res 19:717-722
- Xu W-J, Pan L-Q (2012) Effects of bioflocs on growth performance, digestive enzyme activity and body composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* in zero-water exchange tanks manipulating C/N ratio in feed. Aquaculture 356-357: 147-152
- Zhu Z-M, Lin X-T, Pan J-X et al (2016) Effect of cyclical feeding on compensatory growth, nitrogen and phosphorus budgets in juvenile *Litopenaeus vannamei*. Aquacult Res 47: 283-289
- Zhuo RQ, Zhou TT, Yang SP et al (2017) Characterization of a molt-related myostatin gene (FmMstn) from the banana shrimp *Fenneropenaeus merguensis*. Gen Comp Endocrinol 248:55-68.

Artigo 2

Artigo a ser submetido à Revista Aquaculture International

Produção de *Litopenaeus vannamei* em sistemas de recirculação (RAS) e de bioflocos (BFT) induzidos à restrição alimentar em ambiente salobro

Resumo

Sistemas fechados superintensivos são empregados como uma alternativa sustentável na carcinicultura. Visando o aprimoramento da produção aquícola a adoção de protocolos de restrição alimentar com conseqüente crescimento compensatório necessita ser melhor compreendida. No presente estudo foram comparados os sistemas fechados superintensivos de recirculação (RAS) e de bioflocos (BFT) no cultivo de camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, empregando tratamentos com restrição de ração 5/2 (5 dias de ração e 2 sem ração) e sem restrição de ração (controle), durante 60 dias. O delineamento experimental foi conduzido com 4 tratamentos e 3 réplicas por tratamento. Os camarões, $1,1 \pm 0,23$ g de PM inicial, foram distribuídos em caixas de 250 L, na densidade de 360 camarões/m² e interligadas a um mesocosmos com tilápias vermelhas em água salobra (16‰). As variáveis de qualidade da água (pH, OD, compostos nitrogenados, alcalinidade, sólidos em suspensão) foram monitoradas visando a manutenção da integridade dos meios testados. Não foram observadas diferenças significativas no crescimento para peso médio dos camarões quando comparados os sistemas RAS ($3,42 \pm 0,54$ g) e BFT ($3,39 \pm 0,42$ g). Também não foram encontradas diferenças entre os tratamentos com relação à conversão alimentar média RAS ($1,31 \pm 0,37$ kg) e BFT ($1,35 \pm 0,07$ kg), o mesmo se deu para taxa sobrevivência final RAS ($19,83 \pm 8,35$ %) e BFT ($24,83 \pm 8,93$ %). Já os tratamentos sem restrição de ração apresentaram animais com maior peso médio quando comparado com os tratamentos com restrição de ração SR ($3,76 \pm 0,35$ g) e CR ($3,06 \pm 0,32$ g). Os dados de qualidade da água mostraram-se dentro do ideal para a espécie. O sistema BFT mostrou-se comparável ao sistema RAS no que tange ao crescimento dos camarões. Não foi possível identificar crescimento compensatório em animais submetidos à restrição de ração durante 60 dias.

Palavras chave: *Litopenaeus vannamei*, RAS, BFT, restrição de ração, crescimento compensatório.

Abstract

Super-intensive closed systems are used as a sustainable alternative in shrimp farming. In order to improve aquaculture production, the adoption of food restriction protocols with consequent compensatory growth needs to be better understood. In the present study, recirculation aquaculture system (RAS) and biofloc system (BFT) were compared in the *Litopenaeus vannamei* shrimp culture, using treatments with 5/2 ration restriction (5 days of ration and 2 days without ration) and without restriction (control) for 60 days. The experimental design was conducted with 4 treatments and 3 replicates per treatment. The shrimp, 1.1 ± 0.23 g of mean weight, were distributed in 250 L container, at a density of 360 shrimp/m² and interconnected to one mesocosm with red tilapia in brackish water (16‰). The water quality variables (pH, OD, nitrogen compounds, alkalinity, solids in suspension) were monitored to maintain the integrity of the media tested. No significant growth differences were observed for shrimp mean weight of comparing RAS (3.42 ± 0.54 g) and BFT (3.39 ± 0.42 g). There were also no differences between treatments in relation to the mean feed conversion for both RAS (1.31 ± 0.37 kg) and BFT (1.35 ± 0.07 kg). The same was observed for the final survival rate in RAS ($19.83 \pm 8.35\%$) and BFT ($24.83 \pm 8.93\%$). On the other hand, the treatments without ration restriction presented animals with higher mean weight (3.76 ± 0.35 g) when compared to treatments with ration restriction (3.06 ± 0.32 g). The water quality data were within the ideal for the shrimp species. The BFT system proved to be comparable to the RAS system in terms of shrimp growth. It was not possible to identify compensatory growth in the shrimp submitted to the ration restriction of 60 days.

Key words: *Litopenaeus vannamei*, RAS, BFT, feed restriction, compensatory growth.

Introdução

O camarão marinho *Litopenaeus vannamei* é uma espécie nativa do Oceano Pacífico, ocorrendo desde o México até o Peru. É conhecido como um eficiente osmorregulador, sendo considerada uma espécie eurihalina, habitando águas com salinidades de 0,5‰ até acima de 40‰ (Boyd, 1989; Barbieri, 2001; Bürkle et al., 2006).

Devido a irregularidades espaciais e temporais para encontrar recursos alimentares no ambiente natural, animais aquáticos podem enfrentar períodos de restrição alimentar e até mesmo desnutrição durante seu ciclo de vida (Wu e Dong, 2002). Essa adaptação à privação alimentar induz respostas metabólicas que podem variar em função de fatores como fase de vida, estações do ano, condições ambientais, temperatura e estado nutricional em que se encontravam anteriormente ao período de jejum; influenciando no ajuste biológico e aumentando ou diminuindo o efeito do jejum sobre os animais (Sheridan e Mommsen, 1991).

A restrição do crescimento durante o período de jejum pode ser sucedida de uma fase de rápido crescimento quando a alimentação é restabelecida, conhecida como crescimento compensatório (Farbridge et al., 1992; Ali et al., 2003). Este crescimento compensatório, geralmente, está relacionado a um aumento na taxa e eficiência de ganho em peso durante o período de recuperação (Dobson e Holmes, 1984; Wasielesky et al., 2013).

Em crustáceos tem sido demonstrado que estes, após um período de restrição alimentar, apresentam um crescimento compensatório quando retornam a uma fonte de alimentação suficiente (Wu et al., 2000, 2001). Em estudos com *L. vannamei*, Lin et al. (2008) relataram ser essa espécie de camarão capaz de obter um completo crescimento compensatório a partir do restabelecimento da alimentação, após curtos períodos de jejum (1 a 3 dias).

Diversas tecnologias têm sido desenvolvidas para diminuir os impactos ambientais causados pela produção de camarões em larga escala, procurando desenvolver uma carcinicultura de alto rendimento com alta produção em áreas afastadas do litoral (Boyd e Clay, 2002; Libey, 1991; Ying et al., 2015).

Barros et al. (2014) estudando a produção de camarões marinhos da espécie *Litopenaeus schmitti* no Brasil, em RAS, para produção de iscas vivas (peso de 4 g) demonstraram ter este sistema um elevado custo operacional. De acordo com os estudos dos referidos autores o melhor resultado com esta espécie foi obtido em uma produção de 45 dias, com 208 camarões/m², sobrevivência de 86,3%, onde cada camarão produzido teve um custo aproximado de US\$ 0,5 ao final do ciclo de produção, o que representa um retorno do

investimento (“payback”) de 6,3 anos. Foés et al (2011) trabalhando com *Farfantepenaeus paulensis*, outra espécie encontrada no Brasil, em sistema BFT, salinidade de 28‰, testaram quatro diferentes densidades, 500, 1.000, 1.500 e 2.000 indivíduos/m² e obtiveram os melhores níveis de sobrevivência, superior a 94%, na estocagem de 500 camarões/m² por 30 dias durante a fase de berçário.

Emerenciano (2012) trabalhando com pós larvas com 0,25 g (PL 25) de *F. paulensis* em BFT, a uma densidade de 1.000 camarões/m² por 25 dias, obteve uma taxa de sobrevivência de 81,5%. O autor concluiu que o sistema de BFT provém componentes para a nutrição dos camarões. Suas investigações identificaram a presença de algas diatomáceas, cianobactérias, protozoários, rotíferos que servem como fonte alimentar melhorando as médias de crescimento dos camarões quando comparados com animais alimentados somente com ração comercial sem bioflocos.

Van Wyk (2013) trabalhando com produção de camarões *L. vannamei* em sistema de RAS em estufas, com água a 2‰, por 120 dias, encontrou resultados que foram influenciados pela variação da temperatura ao longo do ano e pelos filtros empregados para viabilizar o processo. O autor encontrou que o melhor sistema de produção de camarões em RAS ocorreu em sistema trifásico (pré berçário, berçário e engorda separadamente), onde obteve seis colheitas ao ano, com 120 camarões/m², peso médio ao abate de 15,9 g e 60% de taxa de sobrevivência, resultando numa produção anual de 6,48 kg/m² e relatam um gasto de energia elevado mesmo sem aquecimento da água.

Krummenauer et al. (2011), trabalhando com *L. vannamei* em sistema de BFT em estufas com três diferentes densidades 150, 300 e 450 camarões/m² por 120 dias de cultivo, da fase juvenil (0,97 g) até o peso de abate (15 g), encontraram que a melhor produtividade se deu à densidade de 300 camarões/m², resultando em uma produção de 4,5 kg/m², porém com um menor gasto de energia se comparado ao sistema anterior, pois não há filtros para retirada de metabólicos (amônia e fósforo) gerados pelos camarões.

Com a estratégia de manejo de renovação zero de água, somada às elevadas densidades de cultivo e o uso diário de ração resulta numa produção continuada de bactérias heterotróficas e quimioautotróficas que têm a capacidade de manter a integridade do meio, atuando sobre a amônia e o nitrito e a matéria orgânica. Junto a outras formas de vida microscópicas formam os bioflocos no meio de cultivo, que além de promover a ciclagem de nutrientes sevem de alimentação suplementar para os camarões (Avnimelech, 1999; Burford et al., 2003; Avnimelech, 2006; Ebeling et al., 2006; Wasielesky et al., 2006;

Schryver et al., 2008). Além da competição por exclusão, que faz com que o meio tenha sempre a predominância de microrganismos benéficos em detrimento à possível microbiota deletéria, o uso de tilápias em consórcio com camarões marinhos tem sido positivo para manter o meio livre de vibrios (Tendência et al., 2004; Core et al., 2005).

Embora os bioflocos sejam insuficientes para sustentar a produção de camarões sem a adição de ração, sua presença aumenta significativamente as taxas de crescimento, ganho de peso e reduz a necessidade de ração, permitindo uma significativa redução no seu uso, em torno de 18% juntamente com a ciclagem dos nutrientes das excretas dos camarões, exúvias e restos de ração (Wasielisky et al., 2006; Emerenciano, 2012).

Estudos demonstraram que cultivo de diferentes espécies de camarões em bioflocos podem obter mais de 29% do alimento consumido dos flocos microbianos (Thompson et al., 2002; Bauer et al., 2012; Emerenciano et al., 2012). Thompson et al. (2002) trabalhando com juvenis *F. paulensis* e Emerenciano (2012) estudando o camarão *L. vannamei* em sistema de bioflocos concluíram que a rica microbiota, principalmente protozoários e rotíferos, contribuiu para o melhor desempenho dos camarões.

Em estudos de restrição alimentar Zhu et al. (2016) concluíram que protocolos de ciclos de alimentação com curtos períodos de jejum ocasionaram diminuição na quantidade de fósforo nos efluentes das carciniculturas gerando um fator positivo na questão ambiental para a atividade pois, com curtos períodos de jejum poderia-se reduzir o aporte de nitrogênio e fósforo sem afetar o crescimento de *L. vannamei*, com efeitos positivos na produção, aumentando a eficiência de conversão alimentar, melhorando a produtividade e tornando a carcinicultura uma atividade ambientalmente amigável.

Objetivos

Estudar a possibilidade de implementação de um protocolo de arraçoamento de camarões marinhos em água salobra que permita economia de ração sem alteração de índices zootécnicos e de produção e melhorando a produtividade.

Material e Métodos

O experimento teve aprovação do comitê de ética no uso de animais (CEUA/UFMG) número de protocolo 224/2017.

Pós-larvas de *L. vannamei* (aproximadamente 0,003 g; PL 10) foram adquiridas da empresa Aquasul de Natal/RN. Os animais foram mantidos em berçário, acondicionados em

tanques de polietileno com volume de 2000 L, densidade de 1500 camarões/m² em salinidade de 16‰, usando água salinizada artificialmente (Tab. 1). Os animais foram mantidos em berçário até atingirem a média de peso inicial do experimento (~1 g).

A água salobra para a fase de berçário, período pré experimental, e fase de engorda, fase experimental, foi produzida artificialmente com uso de sal integral marinho com correção dos elementos traços, micro minerais com sais PA para uso laboratorial.

A análise do sal marinho integral adquirido da empresa Salina BR Comércio LTDA, de Arraruama/RJ, foi realizado por meio do *Standart Methods for Examination and Wastewater* 21ª Edição 2005, registro GE-083/12.

A composição do sal marinho integral foi: Cloreto de Sódio (NaCl) 94%, Cálcio (Ca) 876 mg/Kg, Cobre (Cu) < 0,3 mg/Kg, Ferro (Fe) < 0,4 mg/kg, Magnésio (Mg) 0,68 mg/kg, Potássio (K) 0,32%, Fósforo (P) < 0,3%, Chumbo (Pb) < 1,7 mg/Kg, Óxido de Silício (SiO₂) < 3,6 mg/Kg.

Segundo Boyd (2003) são indicados níveis Cálcio (Ca) de 11,6 g/Kg, Potássio (K) 10,7 g/Kg, Magnésio (Mg) 39,1 g/Kg, Sódio (Na) 304,5 g/Kg, Cloro (Cl) 551 g/Kg e Sulfato (SO₄) 78,3 g/Kg.

Assim procedeu-se a correção dos níveis de microminerais do sal integral acima baseando-se nos Índices segundo Boyd (2003), sendo adicionado para cada 1.000 L de água a quantidade de 12,83 Kg de Sal Marinho Integral, 480 g de Cloreto de Cálcio (CaCl₂), 2,56 Kg de Cloreto de Potássio (KCl), 1,04 Kg de Cloreto de Magnésio (MgCl₂) e 1,73 Kg Sulfato de Magnésio (MgSO₄).

Os animais foram alimentados com inóculo de 5% de bioflocos pré-formados, náuplios de artêmia (por 3 dias) e ração comercial farelada (Poti Mirim[®] QS 40 PL) misturada com “flake” (Mackay Marine). Este foi usado como um substitutivo para a artêmia, sendo composto de proteínas de vegetais (incluindo algas), levedura, óleo de peixe, artêmia, colesterol, pré-mistura vitaminas e minerais, antioxidantes, pigmentos e aglutinantes biodegradáveis.

Após o período de berçário de 40 dias, o experimento foi conduzido por 60 dias, com quatro tratamentos experimentais e com delineamento inteiramente casualizado. Cada tratamento contou com três repetições, em caixas de água de 250 L, onde foram distribuídos aleatoriamente 90 juvenis de camarões (peso médio inicial de $1,1 \pm 0,23$ g) em cada repetição (360 camarões/m²). Por conseguinte, cada tratamento foi constituído por 270 animais. Em cada unidade experimental, repetição de 250 L, foi acondicionado uma tela plástica de malha

10 mm com área total de 0,5 m² para aumentar a superfície para acomodar os camarões. Os tratamentos contaram com um macrocosmo baseado em recirculação da água por meio de bombeamento, visando à homogeneização dos meios e no caso dos sistemas RAS, os filtros foram montados no macrocosmo. Os filtros biológicos do RAS e os bioflocos foram maturados antes do início do experimento. Para tal, as mídias utilizadas para a colonização das bactérias nitrificantes foram mantidas nos sistemas por cinco semanas e foi utilizado floco pré-existente no laboratório, respectivamente.

Cada macrocosmo (Fig. 1) foi instalado em caixas de água de polietileno de 500 L, onde foram acomodadas tilápias vermelhas *Oreochromis* sp., na densidade de 500 g/m³. O uso de tilápias teve caráter preventivo para vibriose (Tendência et al., 2004). As tilápias utilizadas no experimento foram provenientes de produção comercial Multifish LTDA, Contagem - MG, e faziam parte do plantel de manutenção do LAQUA. Foram instalados aquecedores de água em cada macrocosmo para manutenção da temperatura no sistema experimental e a aeração foi feita por meio de soprador de ar central com utilização de difusores de ar para oxigenação dos meios e suspensão de sólidos na coluna de água em todos os tanques (Fig. 2).



Figura 1. Unidades experimentais, BFT 1º plano, repetições experimentais cobertas com telas e macrocosmo com tilápias vermelhas (*Oreochromis* sp.) demonstrando sistema de bombeamento para recirculação.

Os tratamentos testados foram definidos da seguinte forma:

- RAS-CR: conduzido em água clara (RAS) com restrição de ração.

- RAS-SR: conduzido em água clara (RAS) sem restrição de ração.
- BFT-CR: conduzido em sistema de bioflocos com restrição de ração.
- BFT-SR: conduzido em sistema de bioflocos sem restrição de ração.

Os sistemas RAS foram confeccionados com utilização de filtro mecânico (camada de perlan em um cesto sobre uma camada de pedras britadas tamanho zero contidos em um recipiente plástico furado) para retirada de sólidos em suspensão e filtro biológico para a retirada dos compostos nitrogenados. Foram utilizados dois substratos para a formação de colônias de bactérias nitrificantes, respectivamente: areia de cinzas vulcânicas conhecidas como “zeolita”, de alta porosidade, acondicionadas em sacos de malha 1 mm e anéis de plástico porosos conhecidos como “bio-rings”.



Figura 2. Sistema de aeração com difusores de ar.

A restrição alimentar foi realizada em curtos períodos, dois dias sem ração, seguidos por cinco dias de arraçoamento durante 60 dias. A quantidade de ração foi definida de acordo com o peso vivo dos animais em cada repetição após biometrias quinzenais. Os arraçoamentos foram baseados em tabelas de alimentação (Jory et al., 2001), ao longo do desenvolvimento dos animais e calculado sobre a biomassa total de cada repetição. Foram utilizadas bandejas de alimentação para o controle do consumo de ração. Neste caso, 50% do total de ração era alocado em bandejas e 50% a lanço, em cada arraçoamento. Após o arraçoamento foi procedido intervalo de 1 h para verificar a necessidade de correções na

quantidade de ração, configurando uma administração até saciedade aparente. Tal procedimento ocorreu 4 vezes ao dia, nos primeiros 20 dias e 3 vezes ao dia, até o final do experimento (60 dias).

Quinzenalmente, 15 camarões foram aleatoriamente coletados de cada unidade experimental, enxutos e pesados individualmente em balança de precisão (0,01 g). Posteriormente, os camarões foram devolvidos para seus respectivos tanques. Ao final do experimento, os camarões remanescentes em cada unidade experimental foram contados para determinar a sobrevivência final (N° ind. Inicial/ N° ind. Final) x 100. A taxa de conversão alimentar aparente (alimento consumido/ganho em peso), com base na matéria seca da ração. A taxa de crescimento específico (%/dia) foi calculada como: $100 \times (\ln \text{ peso final (g)} - \ln \text{ peso inicial (g)})/\text{tempo em dias}$.

Durante o período experimental foram monitoradas as variáveis físico-químicas de qualidade da água, sendo que a temperatura, oxigênio dissolvido (YSI/modelo 550 A, E.U.A), pH (Hanna/modelo HI98129, Rep. Tcheca), salinidade (Atago/modelo ATC-S/Mill 2440, Japão) e sólidos totais em suspensão (cone de Imhoff) foram checados diariamente. Os compostos nitrogenados (amônia e nitrito) foram analisados três vezes por semana por meio de espectrofotometria (Espectrofotometro Biochrom modelo Libra S22) de acordo com a metodologia proposta pela UNESCO (1983). A concentração de amônia não ionizada foi estimada de acordo com Whitfield (1974) e modificada por Ostrensky et al. (1992), considerando o pH, temperatura, salinidade e a concentração de amônia total.

A alcalinidade foi mantida acima de 130 mg/L de CaCO_3 (de acordo com Piérri et al., 2015) e para isso correções foram realizadas com bicarbonato de sódio sempre que necessário. Os níveis de amônia nos tratamentos com bioflocos foram mantidos abaixo de 0,5 mg/L AT (amônia total) (Boyd e Clay, 2002) e quando próximo desta concentração, correções foram feitas com introdução de melão, mantendo-se uma relação de C:N de aproximadamente 6:1 (Avnimelech, 2014).

Análises estatísticas

Estatística descritiva

Os dados referentes aos parâmetros abióticos (qualidade da água) foram explorados com a aplicação de estatística descritiva para obtenção de informações básicas, utilizando-se medidas de tendência central (Média, Intervalos de Confiança a 95%, Somatório, Valores

Mínimo e Máximo) e medidas de dispersão (Variância, Coeficiente de Variação, Desvio-Padrão e Erro-Padrão).

Com o propósito de realizar uma exploração mais adequada, foram criados dois conjuntos de dados: um conjunto geral, abrangendo todo o período de duração do experimento (60 dias), e outro conjunto contendo os períodos de intervalos (≈ 15 dias) entre as biometrias dos camarões experimentais.

Estatística analítica

ANOVA bifatorial (2 x 2)

Devido ao delineamento experimental adotado foi aplicada uma Análise de Variância bifatorial (ANOVA Two-Way), Modelo I e nível de significância $\alpha = 0,05$ (ZAR, 2010) para testar a hipótese do trabalho.

A ANOVA bifatorial comparou isoladamente tratamentos (Sistemas e Arraçoamento) entre seus respectivos níveis, a saber: Água Clara e Bioflocos (Sistemas) e Com e Sem Restrição Alimentar (Arraçoamento). Subsequentemente à ANOVA testou se havia diferença entre os tratamentos.

Os pressupostos de Normalidade da Distribuição e de Homogeneidade das Variâncias foram verificados através da aplicação dos testes de Shapiro-Wilk (W) e Levene, respectivamente, sendo ambos com nível de significância $\alpha = 0,05$ (ZAR, 2010). Em seguida procedeu-se a aplicação da ANOVA Bifatorial. Por haver apenas dois níveis em cada tratamento, não foi necessário identificar as diferenças significativas através do uso de testes estatísticos *a posteriori*.

Por haver apenas dois níveis em cada tratamento, não foi necessário identificar as diferenças significativas através do uso de testes estatísticos *a posteriori*.

Correlação linear e regressão linear simples

Com o objetivo de verificar o grau de associação entre o peso médio dos camarões e a quantidade de ração ofertada durante o experimento, foi aplicada uma Análise de Correlação Linear de Pearson (ZAR, 2010). E com a finalidade de determinar a dependência entre estas variáveis e explicar a variabilidade encontrada, foi utilizada uma Análise de Regressão Linear Simples. Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo programa Statistica - versão 8,0 (StatSoft, 2007).

Resultados e Discussão

Qualidade da água

Com relação às variáveis de qualidade da água não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos para oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio na água, temperatura, salinidade, amônia e sólidos suspensos. Já para pH, alcalinidade e nitrito foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de água clara e de bioflocos (Tab. 2). Apesar disso, todos os níveis estiveram dentro da faixa considerada ideal para a produção de camarões (Van Wyk e Scarpa, 1999; Boyd e Clay, 2002; Piérri et al., 2015), demonstrando que os sistemas RAS e BFT tiveram funcionamento adequado garantindo a qualidade dos meios experimentais.

A salinidade foi mantida em 16‰ baseado em estudo realizado por Bükle et al (2006). Estes autores estudaram a capacidade osmorregulatória de camarões *L. vannamei* sob diferentes temperaturas e salinidades, encontraram que a uma mesma temperatura de 28°C não houve diferença na capacidade osmorregulatória dos camarões para três diferentes salinidades 10, 16 e 28‰. De acordo com os autores, a melhor combinação de temperatura e salinidade (28°C e 10, 16 e 28‰) pode ser utilizada na produção de *L. vannamei* pois permite um ponto isosmótico estável de 823 mmol/Kg adequado à sua produção. Perez-Velazquez et al. (2012) trabalhando com pós-larvas de *L. vannamei* concluíram que o crescimento dos animais foi significativamente maior na temperatura de 30°C do que em 26°C. Os resultados do presente trabalho no que tange ao crescimento e sobrevivência corrobora os trabalhos realizados pelos referidos autores.

Tabela 1. Estatística descritiva e analítica das variáveis de qualidade da água em experimento comparando o cultivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema de recirculação em água clara e bioflocos, com e sem restrição de ração.

	Água Clara	Bioflocos	Anova Bifatorial p (0.05)	Sem Restrição	Com Restrição	Anova Bifatorial p(0.05)
OD	5.75 ± 0.10	5.92 ± 0.23	0.184	5.78 ± 0.10	5.99 ± 0.25	0.379
OS	82.55 ± 1.19	83.32 ± 0.39	0.246	82.92 ± 1.12	82.95 ± 0.78	0.984
Sal	16.00 ± 0.00	16.00 ± 0.00	0.468	16.00 ± 0.00	16.00 ± 0.00	0.310
Temp	29.70 ± 0.24	30.10 ± 1.28	0.503	29.62 ± 0.31	30.18 ± 1.23	0.440
pH	8.45 ^a ± 0.05	8.50 ^b ± 0.00	0.017	8.48 ± 0.04	8.47 ± 0.05	0.470
Alc	143.75 ^a ± 1.42	159.17 ^b ± 5.62	0.000	149.38 ± 7.02	153.54 ± 9.72	0.124
NH ₄ ⁺	0.18 ± 0.04	0.19 ± 0.003	0.488	0.17 ± 0.03	0.19 ± 0.03	0.336
NO ₂ ⁻	0.53 ^a ± 0.13	0.94 ^b ± 0.18	0.007	0,77 ± 0.25	0.70 ± 0.26	0.543

OD: Oxigênio Dissolvido; OS: Oxigênio Saturado; Sal: Salinidade; Alc: Alcalinidade; NH₄⁺: Amônia Total; NO₂⁻: Nitrito.

Na figura 3 é possível observar a distribuição da temperatura nos diferentes tratamentos ao longo do período experimental. A maior perda de calor nos sistemas RAS causou maior oscilação da temperatura em comparação com o sistema BFT. O uso de aquecedores com termostatos foi maior aumentando a demanda energética do sistema. Fato que deve ser levado em consideração quando do emprego do sistema RAS no cultivo de *L. vannamei*.

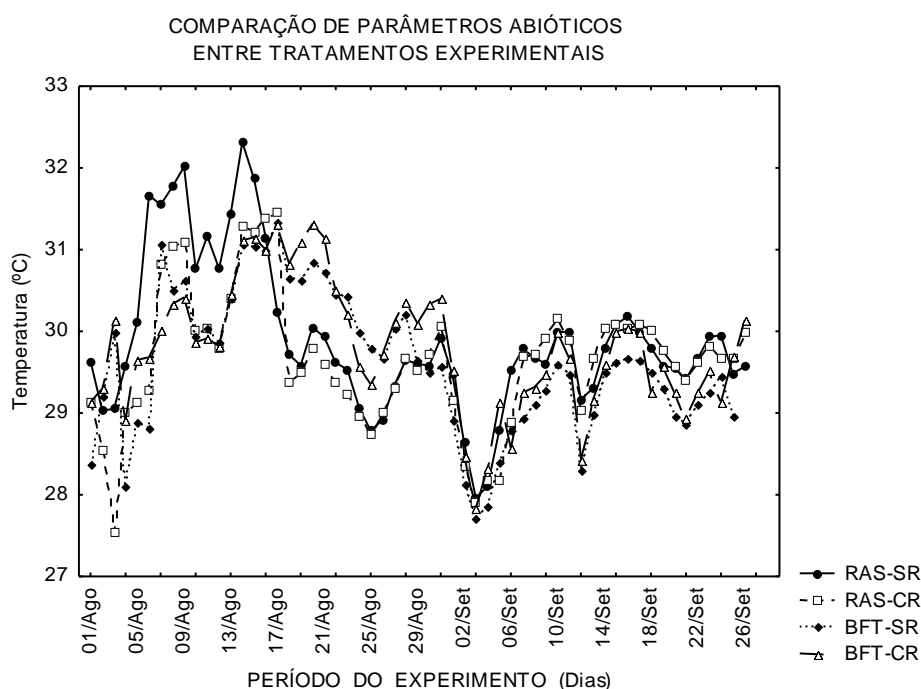


Figura 3. Dados de temperatura nos tratamentos testados ao longo de 60 dias de experimento com juvenis de *L. vannamei*. RAS-SR - recirculação sem restrição de ração; RAS-CR - recirculação com restrição de ração; BFT-SR - bioflocos sem restrição de ração; BFT-CR - bioflocos com restrição de ração.

A manutenção da alcalinidade acima de 130 mg/L CaCO_3 contribuiu com a estabilidade do pH nos meios de cultivo. O pH pode flutuar como resultado dos processos de respiração, fotossíntese e nitrificação (Van Wyk and Scarpa, 1999). No presente trabalho foi possível observar uma variação do pH ao longo do experimento nos diferentes tratamentos testados (Fig. 4). Um maior cuidado foi verificado com os níveis de amônia, pois com pH acima de 8, a proporção de amônia não ionizada, acima de 0,5 mg/L, já pode assumir potencial toxicológico.

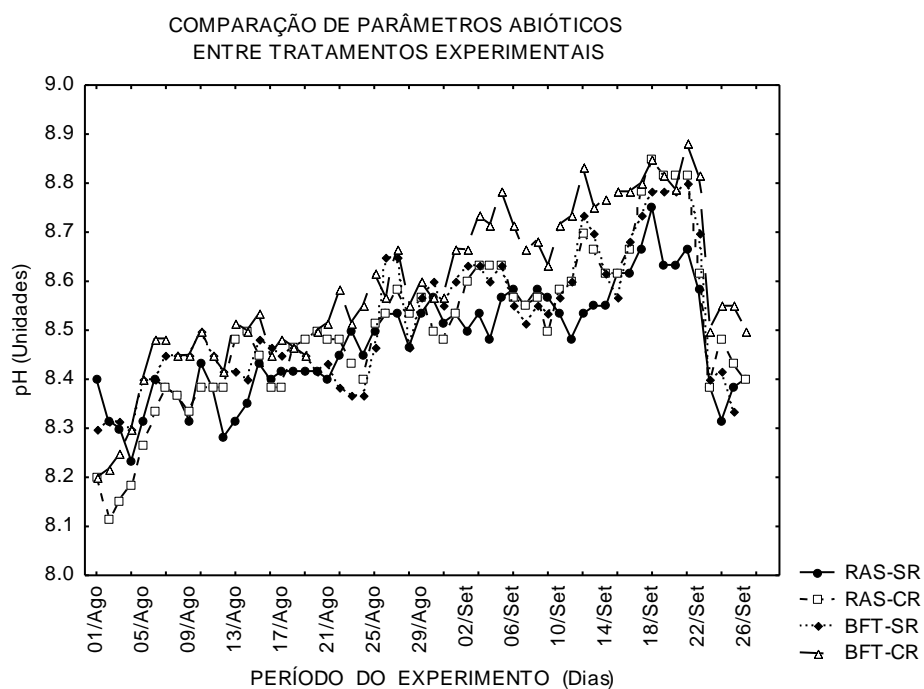


Figura 4. Dados de pH nos tratamentos testados ao longo de 60 dias de experimento com juvenis de *L. vannamei*. RAS-SR - recirculação sem restrição de ração; RAS-CR - recirculação com restrição de ração; BFT-SR - bioflocos sem restrição de ração; BFT-CR - bioflocos com restrição de ração.

As concentrações de oxigênio dissolvido e a sua saturação no meio aquático são mostrados na figura 5. Os percentuais de saturação demonstram que os sistemas estiveram sempre acima dos 76%, com valores médios superando 81% (Tab. 2) e com concentrações acima de 5,2 mg/L, com médias superando $5,75 \pm 0,10$ mg/L de oxigênio dissolvido, considerados, como já relatado, dentro do ideal para o cultivo de camarões peneídeos (Van Wyk e Scarpa, 1999; Boyd e Clay, 2002).

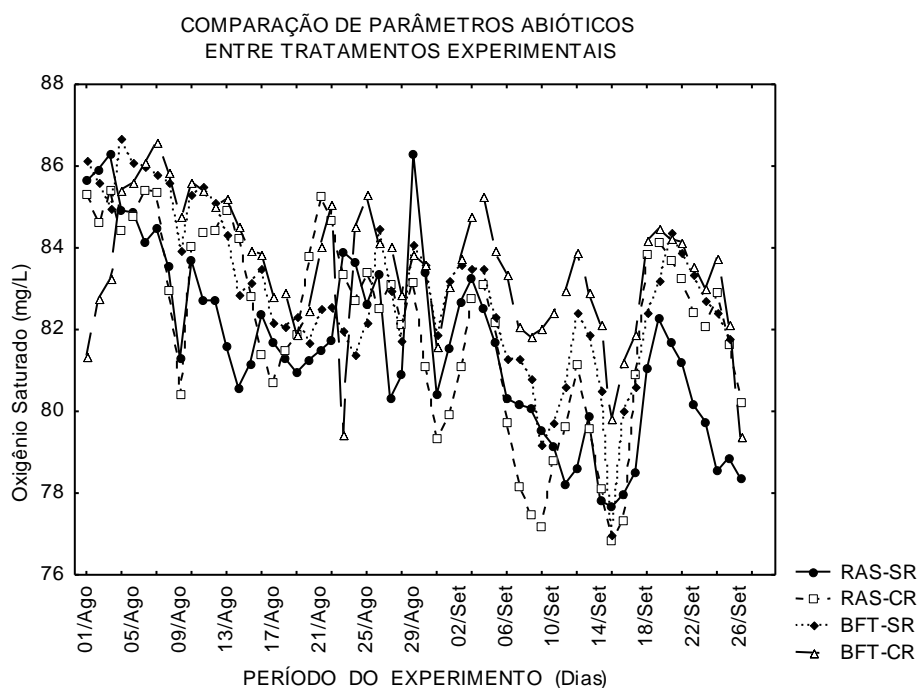
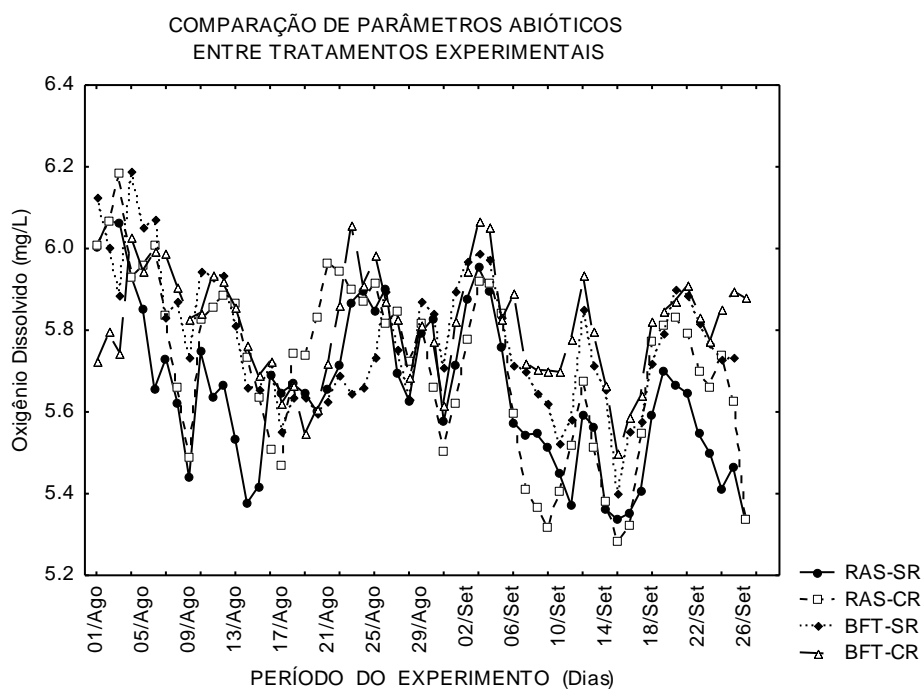


Figura 5. Concentração de oxigênio dissolvido (A) e % de oxigênio saturado (B) nos tratamentos testados com juvenis de *L. vannamei*, ao longo de 60 dias de experimento. RAS-SR - recirculação sem restrição de ração; RAS-CR - recirculação com restrição de ração; BFT-SR - bioflocos sem restrição de ração; BFT-CR - bioflocos com restrição de ração.

Os compostos nitrogenados, amônia e nitrito, foram mantidos estáveis e com médias inferiores aos níveis de segurança (amônia = 0,3 mg/L N-NH₃, Frías-Espericueta (1999); nitrito = 6,1 mg/L N-NO₂⁻, Lin e Chen (2003)) estimados para *L. vannamei*. Os valores

médios de amônia não ionizada e de nitrito estiveram em $0,18 \pm 0,04$ mg/L nos sistemas RAS e $0,19 \pm 0,003$ nos sistemas BFT para N-NH₃, abaixo do estipulado por Frías-Espéricuera (1999), e em $0,53 \pm 0,04$ nos sistemas RAS e $0,94 \pm 0,18$ para N-NO₂⁻ nos sistemas BFT também inferiores ao especificado na literatura como citado por Lin e Chen (2003), ficando sempre abaixo nível de segurança para a espécie. Os resultados obtidos são expressivos no que se refere à garantia da salubridade dos meios testados.

A qualidade da água também tem ligação com microrganismos patogênicos. A produção de tilápia em água salinizada está se tornando comum e sua produção consorciada com camarões marinhos tem sido capaz de controlar o crescimento de *V. harveyi* nos tanques de carcinicultura (Wang et al., 1998). O uso de tilápias vermelhas no presente trabalho resultou em animais sem vibriose. Em alguns países a doença causada por *Vibrio harveyi* é um dos maiores problemas na carcinicultura (Lavilla-Pitogo et al., 1998). Estudos têm demonstrado que o uso de água verde (com fitoplâncton) pode provocar biorremediação (Thompson et al., 2002; Tendência et al., 2004), uma vez que na água verde encontram-se agentes que atuam como probióticos (Core et al., 2005).

Segundo Core et al. (2005), *V. harveyi* faz parte da microfauna natural em águas marinhas e em sistemas de convencionais de produção de camarões, podendo ser observado sua proliferação após a primeira troca de água na carcinicultura convencional causando, inclusive, mortalidades significativas após 30 dias de cultivo. Contudo, os autores observaram que a água verde do consórcio com tilápias melhorou o crescimento, sobrevivência e produção dos camarões além de conferir maior resistência contra *V. harveyi*.

Desempenho zootécnico

Na figura 6 e na tabela 3 observa-se que não houve diferença na sobrevivência entre os tratamentos ao longo do experimento, para os diferentes tratamentos testados. A baixa sobrevivência pode ser explicada pela pequena área disponível para manter os camarões em laboratório durante o período experimental. Resultados semelhantes foram relatados por Spelta et al. (no prelo) em trabalho realizado com juvenis *L. vannamei* testando diferentes salinidades em condições laboratoriais. Os autores descreveram que a baixa sobrevivência esteve relacionada ao uso de tanques com área limitada para o cultivo de camarões.

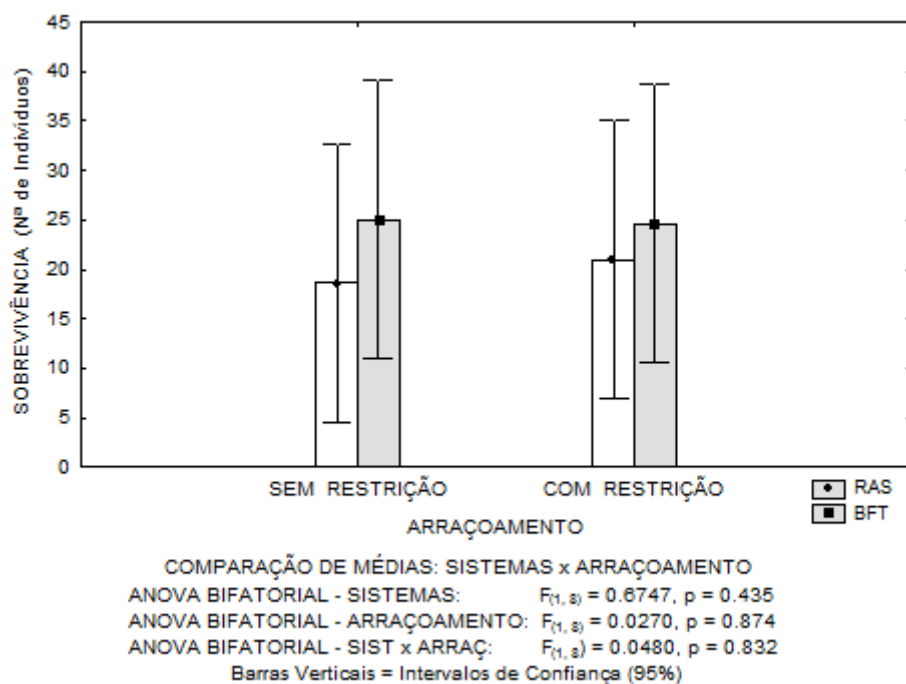


Figura 6. Sobrevivência de juvenis de *Litopenaeus vannamei* mantidos em restrição de ração e sem restrição de ração, em água clara e em bioflocos, após 60 dias de experimento.

Observando aos dados de peso médio dos camarões mantidos com restrição de ração e sem restrição de ração, nos sistemas de cultivo em RAS e em BFT, não foram observadas diferenças estatísticas. Os camarões não conseguiram compensar o crescimento com o consumo de biofloco. Apresentaram crescimento com a ração, sem interação entre os tratamentos (CR e SR) e entre os diferentes sistemas de cultivo (RAS e BFT). A acurácia no arraçoamento e nas suas correções diárias diminuiu a influência da ração e sua interação com o crescimento entre os tratamentos, como pode ser visualizado na figura 7, que compara as médias de crescimento entre os cultivos do camarão *L. vannamei* em sistema RAS e em BFT e entre tratamentos CR e SR. Na referida figura e na tabela 3 ficou demonstrado que os tratamentos CR ou SR não foram diferentes quando comparados entre os mesmos sistemas de cultivo. No entanto, existe diferença ($P < 0,02$) com relação aos tratamentos CR e SR de ração, dentro de um mesmo sistema de cultivo, RAS e BFT, e que independente do sistema de cultivo. A taxa de crescimento específico (Fig. 8; Tab. 3) também demonstra o maior crescimento dos animais sem restrição de ração, em comparação com os consortes não alimentados durante dois dias.

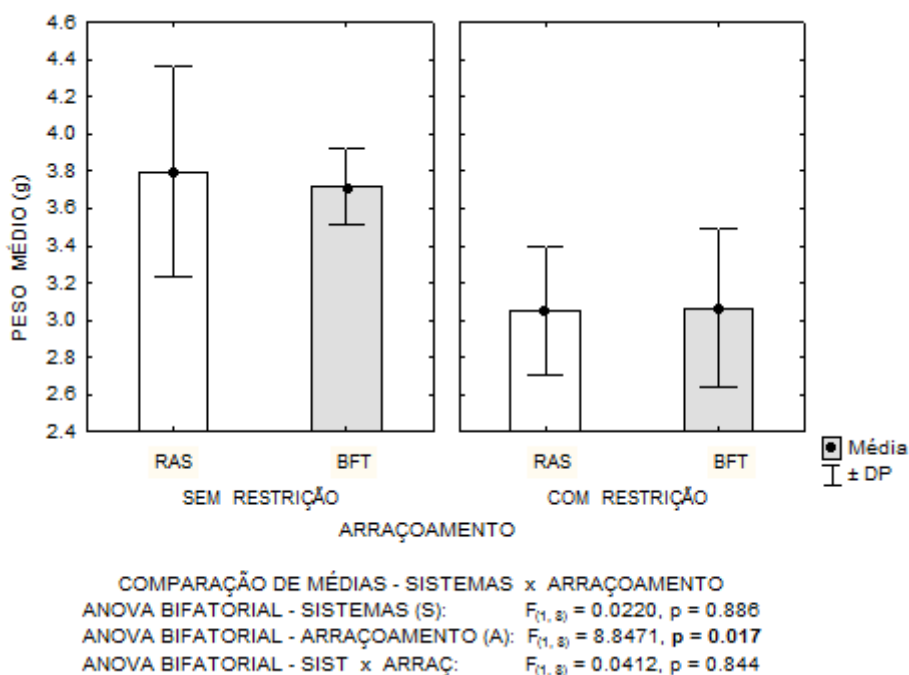


Figura 7. Comparação entre as médias de crescimento de *Litopenaeus vannamei* em água clara e em bioflocos e entre restrição de ração e sem restrição de ração, após 60 dias de experimento.

Na figura 9 são mostradas as regressões lineares simples para os diferentes tratamentos testados. Em todas as regressões nota-se elevada significância ($P < 0,05$) entre ração e o crescimento dos animais tornando possível uma predição do crescimento em relação ao arraçoamento. Os sistemas de cultivos apresentaram elevados coeficientes de determinação RAS-SR ($R^2 > 0,705$) e BFT-CR ($R^2 > 0,705$) demonstram a força da regressão, tornando notória a dependência da ração para o crescimento dos camarões, refletindo nos tratamentos com restrição alimentar no sistema BFT. Da mesma forma, o coeficiente de Pearson ($r > 0,8$) (Fig. 8) e a conversão alimentar (Tab. 3) traduzem a forte correlação entre ração e crescimento, corroborando o que fora descrito anteriormente.

Adicionalmente, comparando as análises de regressão (Fig. 9) ficou demonstrada a força que teve o experimento ao não encontrar diferenças estatísticas entre os tratamentos ocorridos em sistemas tão distintos onde esperava-se que o bioflocos pudessem alterar positivamente o crescimento dos camarões.

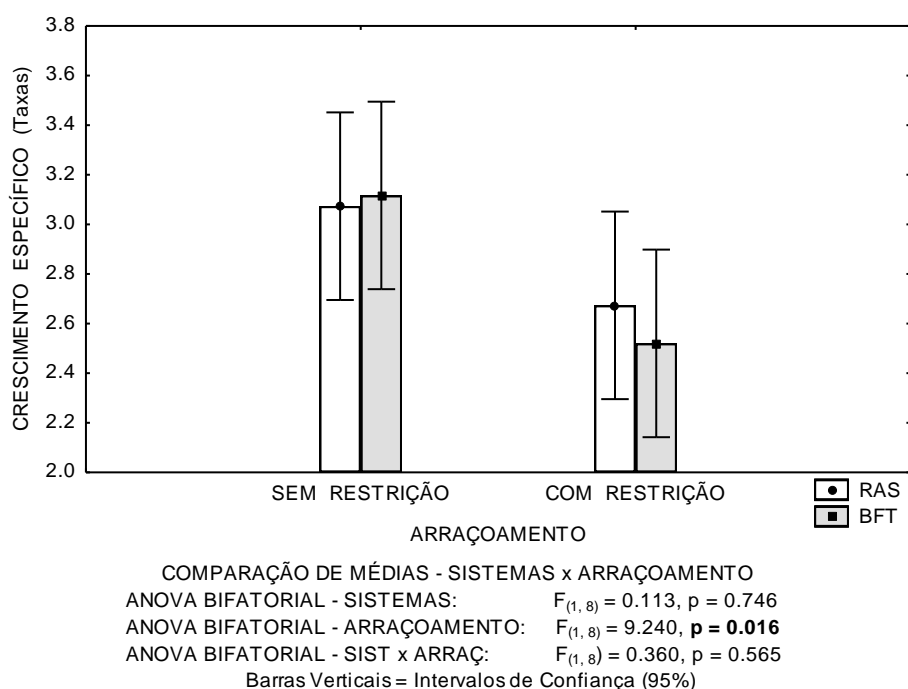


Figura 8. Taxa de crescimento específico de *Litopenaeus vannamei* mantidos em restrição de ração e sem restrição de ração, em água clara e em bioflocos, após 60 dias de experimento.

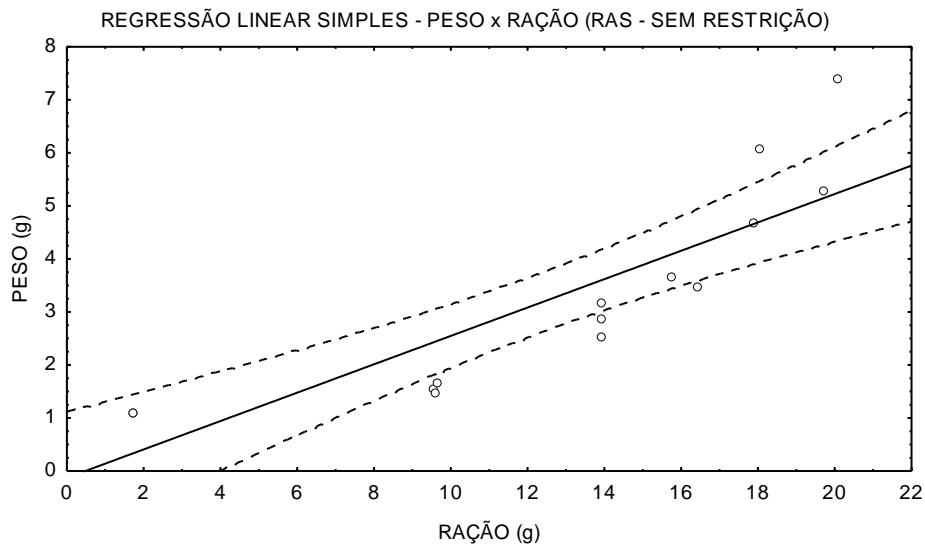
Tabela 2. Comparação entre as médias de desempenho zootécnico de *Litopenaeus vannamei* em água clara e em bioflocos e entre restrição de ração e sem restrição de ração, após 60 dias de experimento.

	Água Clara	Bioflocos	ANOVA Bifatorial	Sem Restrição	Com Restrição	ANOVA Bifatorial
			p(0.05)			p(0.05)
PM(g)	3,42 ± 0.54	3.39 ± 0.42	0.886	3.76 ± 0.35	3.06 ± 0.32	0.018
QMR(g)	10.56 ± 1.69	10.77 ± 1.66	0.353	12.31 ± 0.41	9.02 ± 0.16	0.000
CAM	1.31 ± 0.23	1.35 ± 0.07	0.6802	1.34 ± 0.13	1.32 ± 0.20	0.879
TCE(%/d)	2.87 ± 0.37	2.82 ± 0.32	0.7459	3.10 ± 0.19	2.60 ± 0.28	0.016
Sob(%)	19.53 ± 8.35	8.35 ± 8.93	0.4352	21.83 ± 4.37	22.83 ± 11.94	0.874

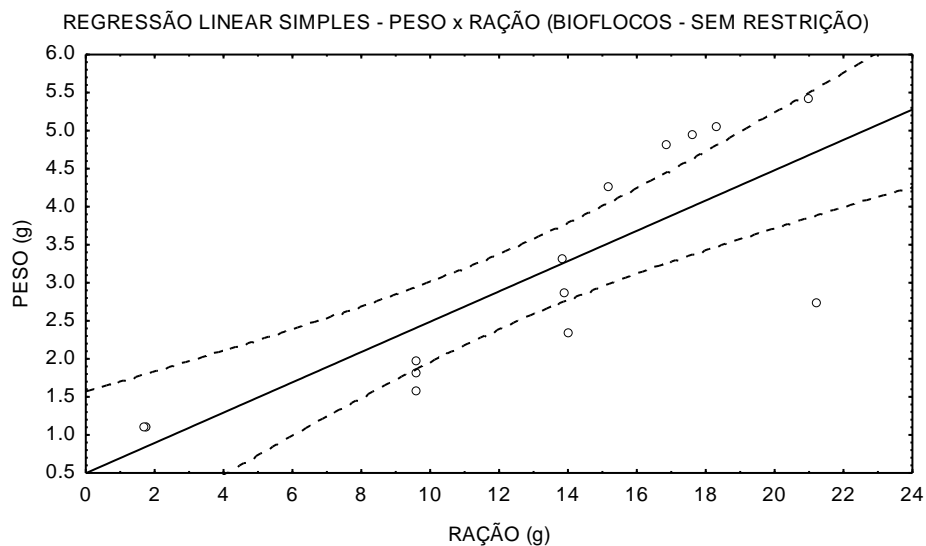
PM: Peso Médio; RM: Quantidade Média de Ração; CAM: Conversão Alimentar Média; TCE(%/d): Taxa de Crescimento Específico (%/dia); Sob(%): Sobrevivência Final.

Conforme relatado por Farbridge et al. (1992), a restrição do crescimento durante o período de privação de ração pode ser sucedida de uma fase de rápido crescimento quando a alimentação é restabelecida, conhecida como crescimento compensatório. Este crescimento compensatório, geralmente, está relacionado a um aumento na taxa e eficiência de ganho em peso durante o período de recuperação (Dobson e Holmes, 1984). Reservas energéticas corporais, tais como lipídios, têm sido considerados como responsáveis pela indução do crescimento compensatório. Diminuição de lipídio corporal e de proteínas depende de diferentes fatores como espécie pesquisada e tamanho ou fase de desenvolvimento, duração da restrição alimentar, qualidade nutricional do alimento ingerido

dentre outros (Wang et al., 2000). No presente trabalho, período experimental não foi suficiente para que houvesse o crescimento compensatório por parte dos animais mantidos com restrição de ração de dois dias/semana, mesmo sendo alimentados até saciedade aparente nos dias sem restrição de ração.



Equação da Reta: $y = -0.1273 + 0.2676 \cdot x$
Coeficiente de Correlação Pearson $r = 0.8691$
Coeficiente de Determinação $R^2 = 0.7554$
 $p = 0.0001$



Equação da Reta: $y = 0.4986 + 0.1991 \cdot x$
Coeficiente de Correlação Pearson $r = 0.8396$
Coeficiente de Determinação $R^2 = 0.705$
 $p = 0.0002$

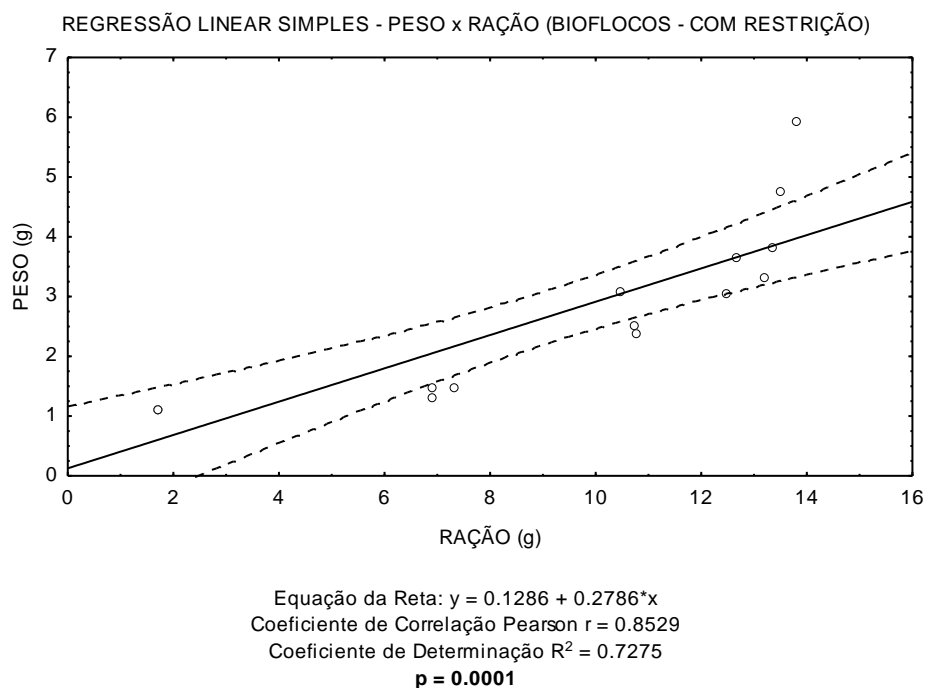
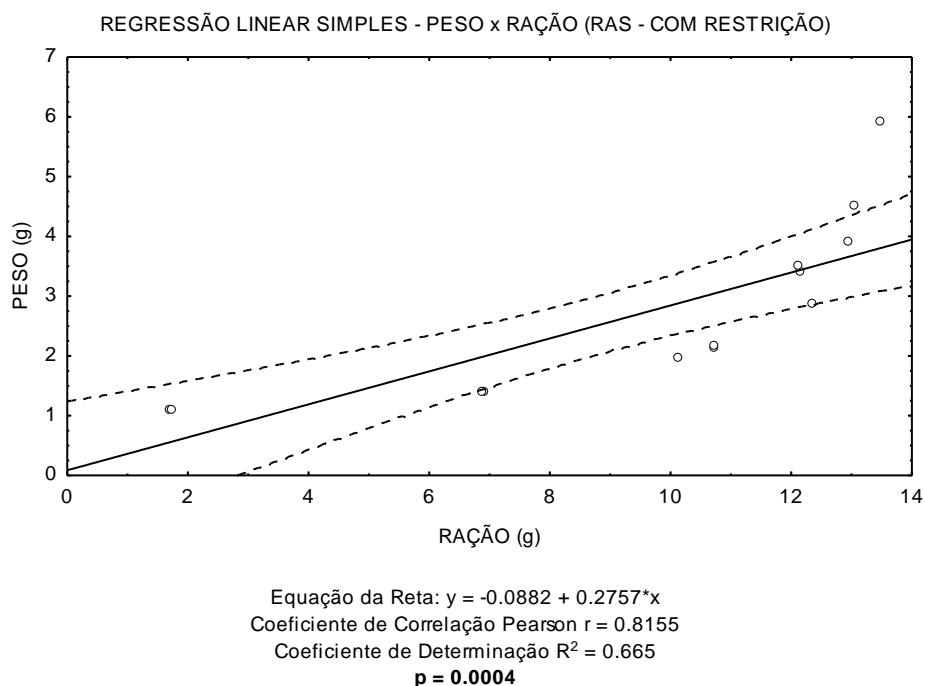


Figura 9. Regressões lineares simples para os diferentes tratamentos testados (recirculação em água clara – A e B; bioflocos – C e D, sem e com restrição de ração), levando em consideração os dados de crescimento de *Litopenaeus vannamei* em relação à oferta de ração após 60 dias de experimento.

Isso se deu provavelmente porque o período experimental de 60 dias foi curto e realizado com juvenis de *L. vannamei* durante o período de engorda. A maioria dos trabalhos com camarões peneídeos submetidos à restrição alimentar, foram realizados durante a fase

de berçário com uso de pós-larvas (Fóes et al., 2006). O presente trabalho foi um dos primeiros a usar juvenis de *L. vannamei* visando o estudo de crescimento compensatório.

Dos poucos estudos com juvenis de camarão peneídeo, Wu et al. (2001a), trabalhando com *F. chinensis* (~2,19 g) durante 10 dias de restrição de alimentação (4 a 12% de peso corporal por dia) e depois alimentando-os *ad libitum* durante um período de recuperação de 30 dias, relatou que 12% do grupo recuperou o peso corporal em comparação com o grupo controle. Ciclos de fome e realimentação, como 1: 4, 2: 8, 4:16 e 8:32, foram testados por Wu e Dong (2002a), e os referidos autores relataram que juvenis de *F. chinensis* submetidos aos diferentes ciclos apresentaram maior ganho de peso do que o grupo controle (alimentado *ad libitum*). No entanto, após 32 dias de estudo, nenhum dos ciclos atingiu o mesmo peso corporal que o grupo controle.

Lara et al. (2016) demonstraram que camarões juvenis ($1,14 \pm 0,38$ g) produzidos em sistema de bioflocos e com adoção de técnicas de restrição de alimento inerte, com 8 taxas de alimentação diferentes, utilizando baixas taxas de alimentação e divididos em dois períodos de cultivos, um de 21 dias com restrição de alimento artificial e outro de 29 dias com realimentação artificial em bioflocos, demonstraram um crescimento compensatório parcial no segundo período e com elevada sobrevivência (médias superiores a 95%), resultando em economia de 24,79% na alimentação com ração comercial.

Lara et al. (2017) encontraram altos índices de produtividade na criação de *L. vannamei* em sistema de bioflocos durante 60 dias de cultivo. O estudo foi realizado com seis diferentes tratamentos com densidade de 400 indivíduos/m² variando-se os regimes de restrição alimentar com ração por meio de taxas de conversão alimentar fixas. O período de restrição alimentar e realimentação não afetou o crescimento dos camarões nos diferentes tratamentos. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas na sobrevivência entre os tratamentos que receberam alimentação inerte (médias superiores a 95%). Da mesma forma, não foram encontradas diferenças significativas quanto ao peso final, crescimento semanal e produtividade final entre os tratamentos com maior arraçoamento. Isso indica que se pode obter uma economia de 25% na produção de camarões em sistema de bioflocos reduzindo-se o emprego de ração comercial dos mesmos.

Fóes et al. (2016) trabalhando com pós-larvas de 20 dias (PL 20) de *L. vannamei* na fase de berçário, empregando densidade de estocagem superadensada (2.000 PL/m²), testaram dois diferentes tratamentos, um de longo prazo: 144 dias e outro de curto prazo (berçário tradicional): 18 dias. Muitas vantagens estão relacionadas ao uso de berçários, tais

como: estocagem de juvenis maiores e mais saudáveis em viveiros de engorda, períodos mais curtos de cultivo com maiores taxas de crescimento (Cavalli et al., 2008) e menor risco de introdução de doenças e mortalidades (Samocha et al., 2000). Assim, Fóes et al. (2016) procuraram estudar os índices zootécnicos para *L. vannamei* e seu crescimento compensatório após serem liberados nos tanques de cultivo definitivos. Nesse estudo ficou demonstrado pelos valores de taxas de crescimento específico, que após a transferência para os tanques de cultivo definitivos com densidade de estocagem menor (tanques de engorda), os camarões apresentaram crescimento compensatório depois de longo período submetidos a estocagem estressante na fase de berçário. As taxas de crescimento foram similares às obtidas em cultivos tradicionais sem submeter as PL ao estresse induzido. Esse estudo demonstrou que *L. vannamei* pode ser mantido em berçários por longos períodos de estocagem em altas densidades sem prejuízos à produção, uma vez que seu crescimento compensatório pode ser ativado quando mantidos posteriormente em ambiente menos estressante.

A maioria dos trabalhos que trata de restrição alimentar e crescimento compensatório em crustáceos peneídeos, principalmente voltados ao uso deste protocolo alimentar à espécie *L. vannamei*, utilizou animais ainda na fase de berçário (menor que 1,0 g), passando-os para ambientes com maior área de cultivo (período de engorda). Desta forma é mais claro evidenciar o crescimento compensatório com camarões nesta fase de desenvolvimento (Wu e Dong, 2002; Wasiesleky, 2013; Fóes, 2016; Zhu et al., 2016). Seria o caso de se aplicar ferramentas científicas mais específicas para determinação do efeito da restrição alimentar e crescimento compensatório em animais que se encontrem em fases mais desenvolvidas de vida, ou seja, juvenis acima de 1,0 g (período de engorda), como as utilizadas por Oliveira Cesar (2006) e outras mais avançadas em nível molecular, como análises de expressão gênica de miostatina por exemplo, que permitam investigações na musculatura abdominal determinando níveis de inibidores ou estimuladores de crescimento (Watabe, 2001; Chauvigné, 2003; Oliveira Cesar, 2006; De Sanctis, 2011).

Em estudo relacionado à produção de camarão ambientalmente amigável, Zhu et al. (2016) descreveram que curtos períodos de jejum ocasionaram diminuição na quantidade de fezes e diminuição de fósforo na água por lixiviação de ração não consumida. E após o restabelecimento da alimentação, estes curtos períodos de jejum também apresentaram uma maior eficiência de conversão alimentar, o que acabou por ocasionar uma diminuição na descarga fósforo na água por meio das fezes quando comparado ao grupo controle.

Estudos têm demonstrado que a carcinicultura em bioflocos pode ter um melhor aproveitamento dos nutrientes dos alimentos consumidos pelos camarões pois, aparentemente os bioflocos fornecem enzimas extracelulares como proteinases, além de fornecer proteínas pelo consumo dos microrganismos, o que permite que seja reduzida proteína bruta da ração de 40 para 25% sem perdas na produtividade, além de permitir significativa redução no uso de farinha de peixes na ração para os camarões (Xu et al., 2012). Assim, embora os dados do presente experimento não tenham demonstrado estatisticamente a superioridade do sistema de BFT sobre o sistema de RAS, a facilidade no manejo e menor gasto com energia elétrica além de uma maior sobrevivência numérica ao final do experimento nos permite sugerir que o sistema BFT seja mais viável que sistema RAS do ponto de vista de produtividade.

Conclusão

No presente trabalho, a restrição alimentar, em 60 dias de cultivo, não se mostrou eficiente para juvenis de *L. vannamei*. Não foram verificadas diferenças estatísticas entre os dois sistemas de cultivo, RAS e BFT, bem como para o uso de um protocolo de restrição de ração comercial visando crescimento compensatório.

A criação em diferentes sistemas não influenciou a sobrevivência e crescimento dos camarões no presente estudo.

Referências bibliográficas

- Ali, M., Nicieza, A., Wootton, R.J., 2003. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish Fish.* 4:147-190.
- Avnimelech, Y., 2006. Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquacult. Eng.* 34:172-178.
- Avnimelech, Y., 2014. *Biofloc Technology - A practical guidebook*, 3rd Edition. World Aquaculture Society, WAS.
- Avnimelech, Y., 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176:227-235.
- Barbieri-Junior, R.C., Ostrensky-Neto, A., 2001. *Camarões marinhos reprodução, maturação e larvicultura*. Aprenda Fácil Ed. Viçosa. Vol. 1, 255 p.

- Barros, L.C., Barreto, O.J.S., Henriques, M.B., 2014. The economic viability for the production of live baits of White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in recirculation culture system. *Aquacult. Int.* 22:1925-1935.
- Bauer, W., Prentice-Hernandez, C., Tesser, M.B., Wasielesky, W., Poersch, L.H., 2012. Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 342-343:112-116.
- Boyd, C.E., 2003. Mineral salts correct ionic imbalances in culture water. *Sustainable Aquaculture Practices. Global Aquaculture Advocate*, 56-57.
- Boyd, C.E. 1989. *Water quality management and aeration in shrimp farming*. 2nd ed. Alabama Fisheries and Allied Aquacultures Departmental. Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama, USA.
- Boyd, C.E., Clay, J.W., 2002. Evaluation of Belize Aquaculture, Ltd: A super intensive shrimp aquaculture system. Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium, 17 p.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., Mcintosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2003. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *Aquaculture* 232:525-537.
- Bürkle, L.F., Barón, B., Hernández, M., 2006. Osmoregulatory capacity of the shrimp *Litopenaeus vannamei* at different temperatures and salinities, and optimal culture environment. *Rev. Biol. Trop.* 54:745-753.
- Cavalli, R.O., Lehnen, T.G.L, Kamimura, M.T., Wasielesky, W.J., 2008. Desempenho de pós-larvas do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* alimentadas com diferentes frequências durante a fase de berçário. *Acta Sci. Biol. Sci.* 30(3):231-236.
- Chauvigné, F., Gabillard, J.C., Weil, C., Rescan, P.Y., 2003. Effect of refeeding on IGFI, IGFII, IGF receptors, FGF2, FGF6, and myostatin mRNA expression in rainbow trout myotomal muscle. *Gen. Comp. Endocrinol.* 132:209-215.
- De Santis, C., Wade, N.M., Jerry, D.R., Preston, N.P., Glencross, B.D., Sellars, M.J., 2011. Growing backwards: an inverted role for the shrimp ortholog of vertebrate myostatin and GDF11. *J. Exp. Biol.* 214:2671-2677.
- Dobson, S.H., Holmes, R.M., 1984. Compensatory growth in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.* 25:649-656.

- Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and heterotrophic removal of ammonia - nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257:346-358.
- Emerenciano, M., Ballester, E.L.C., Cavalli, R.O., Wasielesky, W., 2012. Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquacult. Res.* 43:447-457.
- Farbridge, K.J., Flett, P.A., Leatherland, J.F., 1992. Temporal effect of restricted diet and compensatory increase dietary intake on thyroid function, plasma growth hormone levels and tissue lipid reserves of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 104:157-174.
- Fóes, G., Fróes, C., Krummenauer, D., Poersch, L.H., Wasielesky, W.J., 2011. Nursery of pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* in biofloc technology culture system: survival and growth at different stocking densities. *J. Shellfish Res.* 30:367-373.
- Frías-Espericueta, M.G., Harfush-Melendez, M., Osuna-López, J.I., Páez-Osuna, F., 1999. Acute toxicity of ammonia to juvenile shrimp *Penaeus vannamei* Boone. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 62:646-652.
- Helfrich, L.A., Libey, G., 2003. *Fish farming in Recirculating Aquaculture Systems*, Department of Fisheries and Wildlife Sciences, Virginia Tech, Virginia, USA.
- Jory, D., Cabrera, T., Dugger, D., Fegan, D., Berger, C., Orrantia, J., 2001. A global review of shrimp feed management: status and perspectives. *Aquaculture* 2001.
- Krummenauer, D., Cavalli, R.O., Peixoto, S., Poersch, L.H., Wasielesky, W.J., 2011. Superintensive culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a biofloc technology system in Southern Brazil at different stocking densities. *J. World Aquac. Soc.* 42(5):726-733.
- Lara, G., 2017. Manejo alimentar de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de bioflocos: efeitos da restrição alimentar e diferentes taxas de arraçoamento sobre os parâmetros zootécnicos. Tese Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. Universidade Federal do Rio Grande - FURG, RS, Brasil
- Lara, G., Hostins, B., Bezerra, A., Poersch, L., Wasielesky, W.J., 2016. The effects of diferente feeding rates and re-feeding of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc culture system. *Aquacul. Eng.* 77:20-26.
- Lin, Y-C., Chen, J-C., 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*, 224:193-201.

- Lin, X-T., Pan, J-X., Xu, Z-N., Zhuo-Jia, L., Huo, L., 2008. Effect of periodic starvation on feeding, growth and defecation of *Litopenaeus vannamei*. *Acta Hydrobiol. Sin.* 32:403-407.
- Moss, S.M., Divakaran, S., Kim, B.G., 2001. Stimulating effects of pond water on digestive enzyme activity in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquacult. Res.* 32:125-131.
- Oliveira Cesar, J.R., Zao, B., Malecha, S., Hako, H., Yang, J., 2006. Morphological and biochemical changes in the muscle of the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* during the molt cycle. *Aquaculture* 261:688-694.
- Ostrensky, A., Marchiori, M.A., Poersch, L.H., 1992. Toxicidade aguda da amônia no processo produtivo de pós-larvas de *Penaeus paulensis* Pérez-Farfante, 1967. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 64(4): 383-389.
- Perez-Velazquez, M., Davis, D.A., Roy, L.A., González-Félix, M.L., 2012. Effects of water temperature and Na⁺:K⁺ ratio on physiological and production parameters of *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity water. *Aquaculture* 342-343:13-17.
- Piérri, V., Severino, D.V., Oliveira, K.G., Espírito-Santo, C.M., Vieira, F.N., Seiffert, W.Q., 2015. Cultivation of marine shrimp in biofloc technology (BFT) system under different water alkalinities. *Braz. J. Biol.* 75(3):558-564.
- Samocha, T.M., Cordova, J., Blacher, T., Wind, A., 2000. High-density nursery of *Litopenaeus vannamei* in white-spot infected area utilizing raceway system with limited water discharge in Ecuador. *Global Aquacult. Adv.* 3:66-68.
- Schryver, P.D.; Crab, R.; Defoirdt, T.; Boon, N.; Verstraete, W., 2008 The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277:125-137.
- Sheridan, M.A., Mommsen, T.P., 1991. Effects of nutritional state on in vivo lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 81:473-483.
- Spelta, A.C.F., Lorenzini, J.P.S., Neves, L.C., Rodrigues, L.S., Marques, R.V., Napoli, M.Y.R., Nakayama, C.L., Alves, G.M., Miranda-Filho, K.C., (Submetido). Evaluation of water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system using artificial brackish water. *Aquaculture*.
- StatSoft, Inc., 2007. STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.

- Tendência, E.A., Dela Peña, M.R., Fermin, A.C., Lio-Po, G., Choresca, C.H., Inui, Y., 2004. Antibacterial activity of tilapia *Tilapia hornorum* against *Vibrio harveyi*. *Aquaculture* 232:145-152.
- Thompson, F.L., Abreu, P.C., Wasielesky, W.J., 2001. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. *Aquaculture* 203:263-278.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 1983. Chemical methods for use in marine environmental monitoring. Paris: Intergovernmental Oceanographic Commission, 53 p.
- Van Wyk, P.M., 2013. Farming marine shrimp in freshwater systems: an economic development strategy for Florida: Final Report. Harbor Branch Oceanographic Institution. FDACS Contract #4520. Florida Department of Agriculture Consumer Services, Tallahassee, Florida.
- Van Wyk, P.M., Scarpa, J., 1999. Water quality requirements and management. In: Van Wyk, P.M.; Davishodgkins, M.; Laramore, R. *et al.* *Farming marine shrimp in recirculating freshwater system*. Harbor Branch Oceanographic Institution. 1999. cap. 8, p 141-161.
- Wang, Y., Cui, Y., Yang, Y., Cai, F., 2000. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in seawater. *Aquaculture* 189:101-108
- Wasielesky, W.J., Froes, C., Fóes, G., Krummenauer, D., Lara, G., Poersch, L., 2013. Nursery of *Litopenaeus vannamei* reared in a biofloc system: the effect of stocking densities and compensatory growth. *J. Shellfish Res.* 32(3):799-806.
- Wasielesky, W.J.; Atwood, H; Stokes, A.; Browdy, C.L., 2006. Effect natural production in a zero-exchange suspended microbial floc based super-intensive culture for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258:396-403.
- Watabe, S., 2001. Myogenic regulatory factors. *Fish Physiol.* 24:19-41.
- Whitfield, M., 1974. The hydrolysis of ammonium ions in sea-water. A theoretical study. *J. Mar. Biol. Assoc.* 54(3):565-580.
- Wu, L., Dong, S., 2002. The effects of repetitive starvation-and-refeeding cycles on the compensatory growth response in chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis* (Osbeck, 1765) (Decapoda, Penaeidae). *Crustaceana* 74(11):1225-1239.
- Wu, L., Dong, S., Wang, F., Tiang, X., 2000. Compensatory growth response following periods of starvation in Chinese shrimp, *Penaeus chinensis* Osbeck. *J. Shell Res.* 19:717-722.

- Wu, L., Dong, S., Wang, F., Tian, X., Ma, S., 2001. The effect of previous feeding regimes on the compensatory growth response in Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*. J. Crust. Biol. 21:559-565.
- Xu, W-J., Pan, L-Q., Zhao, D-H, Huang, J., 2012. Preliminary investigation into the contribution of bioflocos on protein nutrition of *Litopenaeus vannamei* fed with different dietary protein levels in zero-water exchange culture tanks. Aquaculture 350-353:147-153.
- Ying, L., Baoliang, L., Guoxiang, S., 2015. Recirculating Aquaculture Systems in China- Current application and prospects. Fish. Aquac. J. 6:3
- Zar, J.H., 2010. Biostatistical Analysis - 5th edition, 960 p. Pearson Prentice Hall Inc. - New Jersey - USA.
- Zhu, Z-M., Lin, X-T., Pan, J-X., Xu, Z-N., 2016. Effect of cyclical feeding on compensatory growth, nitrogen and phosphorus budgets in juvenile *Litopenaeus vannamei*. Aquacult. Res. 47:283-289.

Considerações finais

A carcinicultura marinha em sistema de bioflocos é uma realidade viável, técnica e economicamente comprovada. Entretanto, maiores estudos são necessários para que este sistema de produção possa obter a maior produtividade que se puder extrair e com o maior conhecimento possível, para que assim se possa assegurar aos produtores uma atividade econômica capaz de gerar empregos e renda com os menores riscos possíveis.

A adoção de curtos períodos de restrição de arraçamento na carcinicultura em sistema de bioflocos pode levar a uma economia de 25% nos custos com ração (Fóes et al, 2011, Emerenciano et al, 2012, Lara et al 2017), fora a economia com folha de pagamento de pessoal para atividades de arraçamento e demais atividades diárias em uma carcinicultura em larga escala, podendo-se ter um simples sistema de plantonistas com quadro reduzido o que, no Brasil, pode significar uma redução de 10% com pagamentos de horas extras e encargos salariais de folha de pessoal.

Assim, a adoção de um protocolo de restrição no arraçamento poderá contribuir para diminuição dos custos de operação, redução de nutrientes metabólicos dissolvidos na água, resultantes da digestão dos camarões e da lixiviação de ração não consumida na água, que podem levar à depleção da qualidade da água de cultivo e, por conseguinte, aumentar a quantidade de ciclos em que se poderá reutilizar a mesma água para produções consecutivas.

Como visto em diversas pesquisas de diferentes autores, os bioflocos podem ser um ingrediente adequado na alimentação de camarões. Esta opção pode oferecer à indústria do camarão um meio de mitigar os impactos dos resíduos das carciniculturas, enquanto produz um substituto para as proteínas tradicionais. Além disso, os bioflocos produzidos poderiam potencialmente ser utilizados como ingrediente de alimentação para uma classe diferente de espécies aquáticas, pelo benefício adicional de vir a ser uma substituição adequada para farinha de peixe que poderia aliviar pressões sobre pescarias dos estoques naturais de peixes.

Anexos



Figura A1. Unidades experimentais, com repetições experimentais e macrocosmo com tilápias (*Oreochromis* sp.).



Figura A2. Comedouro para correção arraçoamento



Figura A3. Cone de Imhoff - medição de sólidos suspensos

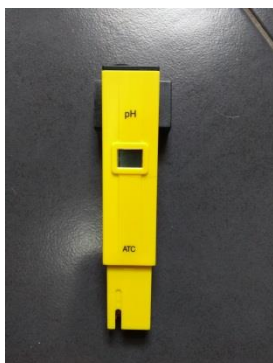


Figura A4. pHmetro.



Figura A5. Refratômetro (salinômetro).



Figura A6. Oxímetro Ysi 550A S22.



Figura A7. Espectrofotômetro Biochrom Libra.



Figura A8. Medições diárias de parâmetros de qualidade de água.



Figura A9. Camarão se alimentando do flake.



Figura A10. Imagem camarão com 60 dias de cultivo.



Figura A11: Imagem externa estufa experimental Maricultura UFMG



Figura A12: Imagem externa estufa experimental Maricultura UFMG



Figura A13: Imagem interna estufa experimental Maricultura UFMG

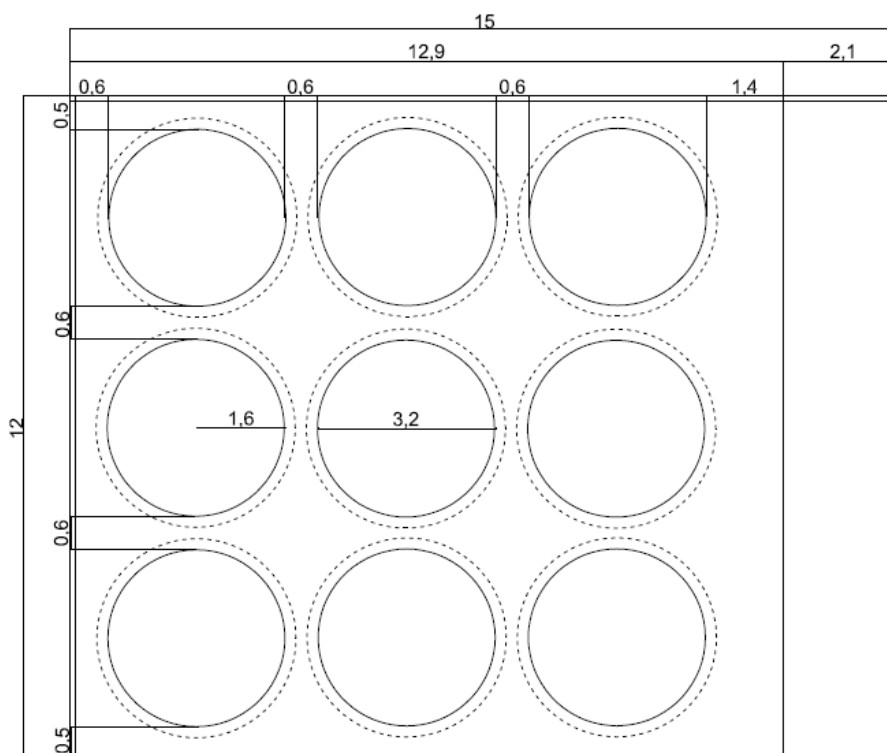


Figura A14: Planta baixa estufa experimental Maricultura UFMG.

Autoria: Julio Cesar Maciel e *Pattrol Pavimentos e Traçados.*