



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

**DESIDRATAÇÃO DO LODO DO CULTIVO DE
Litopenaeusvannamei EM BIOFLOCOS EM LEITO DE
SECAGEM**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do título de Mestre em Aquicultura.

Orientador: Luis Alejandro Vinatea Arana
Co-orientadora: Katt Regina Lapa

Bruno Junckes de Carvalho

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Carvalho, Bruno Junckes de

Desidratação do lodo do cultivo de *Litopenaeus vannamei*
em bioflocos em leito de secagem / Bruno Junckes de
Carvalho ; orientador, Luis Alejandro Vinatea-Arana ;
coorientadora, Katt Regina Lapa. - Florianópolis, SC, 2014.
50 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-
Graduação em Aquicultura.

Inclui referências

1. Aquicultura. 2. desaguamento. 3. efluente. 4.
tratamento. 5. dimensionamento. I. Vinatea-Arana, Luis
Alejandro. II. Lapa, Katt Regina. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Aquicultura. IV. Título.

Desidratação do lodo do cultivo de *Litopenaeus vannamei* em bioflocos em leito de secagem

Por

BRUNO JUNCKES DE CARVALHO

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM AQUICULTURA

e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Aqüicultura.

Prof. Alex Pires de Oliveira Nuñez, Dr.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:

Dra. Katt Regina Lapa – *Coorientadora*

Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez

Dr. José Luiz Pedreira Mouriño

Dr. Luis Hamilton Pospissil Garbossa

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos envolvidos com o presente trabalho em especial aos meus pais, Luiz e Rosangela por todo apoio durante minha vida acadêmica, aos orientadores da pós-graduação Dr. Luis Alejandro Vinatea Arana e Dra. Katt Regina Lapa por toda dedicação e atenção, aos colegas do Laboratório de Camarões Marinhos – UFSC, Isabela, Helena, Ana Clara e Rafael Arantes por todo apoio e ajuda durante os experimentos e aos funcionários do LCM, Carlos, Davi e Seu Francisco por sempre me ajudarem e estarem presentes quando alguma dúvida surgia. A todos o meu sincero obrigado.

“Quem tem medo tem coragem”
Rob, O Grande.

RESUMO

A intensificação da atividade aquícola gera descargas de efluentes que são responsabilizados pela poluição da água por um excesso de materiais orgânicos e nutrientes. Foram realizados dois testes (Setembro/2013 e Dezembro/2013) do mesmo experimento e, como unidades experimentais, foram utilizadas tubulações de PVC de 300 mm de diâmetro com três tratamentos de espessura de camada filtrante diferentes, T52, T67 e T82 com 52,5 cm, 67 cm e 82,5 cm respectivamente. A taxa de aplicação de sólidos analisada foi de 37,47 kg/m² em média. A quantidade de sólidos totais (ST) na torta de lodo dos leitos de secagem mostrou a crescente concentração de sólidos. De acordo com a análise estatísticas, os tratamentos não apresentaram diferença significativa quando analisados em conjunto. Em relação às condições de secagem onde os lodos foram aplicados, o tempo de desaguamento até 40% de umidade foi de quatro (4) dias e, em todos os tratamentos, a estabilização da umidade foi de 20%. Todos os tratamentos se mostraram adequados para o desaguamento de lodo gerado na carcinicultura superintensiva de camarões marinhos e o tratamento com as espessuras mínimas da camada filtrante delineados no experimento (T52) foi o mais viável economicamente.

Palavras-chave: Aquicultura, desaguamento, efluente, tratamento, dimensionamento.

ABSTRACT

The intensification of aquaculture activity generates effluent discharges that are blamed for water pollution by an excess of organic materials and nutrients. Two tests were made (September / December 2013 and / 2013) and the same experiment as experimental units were made of PVC pipes of 300 mm diameter were used with three different treatments filter layer thickness, T52, T67 and T82 with 52.5 cm , 67 cm and 82.5 cm respectively. The application rate of analyzed solids was 37.47 kg/m² on the average. The amount of TS in the sludge cake drying beds showed an increasing solid concentration. The treatments did not differ significantly when analyzed together. Concerning to the drying conditions where the sludge was applied, the dewatering time up to 40% moisture was four (4) days and, in all treatments, stabilization of humidity was 20%. All treatments were suitable for dewatering of sludge generated in the super intensive shrimp farming of marine shrimp, treatment with the minimum thickness of the filter layer (T52) was the most economically viable.

Keywords: Aquaculture, dewatering, effluent, treatment, testing and design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Delineamento experimental dos leitos de secagem em escala de bancada.....	35
Figura 2 – Umidade da torta de lodo ao longo das semanas de realização do experimento do cultivo superintensivo de camarões marinhos.....	39
Figura 3 – Concentração de sólidos totais ao longo das semanas de realização do experimento na torta de lodo proveniente do cultivo superintensivo de camarões marinhos.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de Taxa de Aplicação de Sólidos do lodo bruto no Ciclo 1 e Ciclo 2 (kg/L).....	37
Tabela 2 – Concentração de sólidos totais retidos nos leitos de secagem, no percolado e na superfície do lodo.....	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS.....	26
2.1. OBJETIVO GERAL.....	26
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
3. CAPÍTULO 1	27
INTRODUÇÃO	30
MATERIAIS E MÉTODOS	32
RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
CONCLUSÃO	45
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

INTRODUÇÃO

A aquicultura tem como objetivo a produção de organismos aquáticos para produção de alimentos. Dentre as diversas espécies cultiváveis, tem-se a produção de camarões em cativeiro denominada de carcinicultura, praticada em mais de 50 países do mundo com maior destaque para países asiáticos como China, Índia, Tailândia, Vietnã e Indonésia.

Esta atividade aquícola experimenta um crescimento constante sendo atualmente a responsável pelo abastecimento de 50% de todo o camarão consumido no mundo (FAO, 2012). Somente no ano de 2010, a carcinicultura mundial produziu cerca de 5,7 milhões de toneladas de crustáceos, sendo que a produção no Brasil neste mesmo ano foi de 69.522 toneladas, o que equivale a uma renda aproximada de 213,5 milhões de dólares para o país (FAO, 2012).

Como acontece em outros setores de produção de alimentos, a carcinicultura vem buscando novas tecnologias que aumentem a produtividade e a rentabilidade desta atividade. O principal fator que ocasiona perdas econômicas no setor aquícola é o surto de enfermidades nos cultivos (BURFORD et al., 2003). No Brasil, duas enfermidades abalaram a indústria de cultivo de camarões nos últimos anos. A primeira foi ocasionada pelo vírus da Mionecrose Infecciosa Muscular (*IMNV – Infectious Myonecrosis Viral*) disseminada nos cultivos da região Nordeste. A segunda foi ocasionada pelo vírus da Mancha Banca (do inglês WSSV – White Spot Syndrome Virus) disseminada nos cultivos de Santa Catarina (SEIFFERT et al., 2006).

Para aumentar a produtividade e contornar os problemas causados pelas enfermidades é necessária a intensificação dos modelos de produção, produzindo mais biomassa em áreas menores. Para atingir o sucesso produtivo, é preciso atender uma série de requisitos básicos de biossegurança, tais como:

1. Utilização de água de boa qualidade através da filtragem e desinfecção utilizando cloro. Neste modelo de produção biosegura não é feita a renovação de água, apenas é adicionado o volume que é perdido através da evaporação;
2. Aquisição de pós-larvas livres de doenças de notificação obrigatória provenientes de laboratórios idôneos que prezam pela qualidade do produto, assim como a aquisição da raça deve ser de alta qualidade;
3. Em relação às unidades de cultivo, as mesmas devem ser isoladas por membranas plásticas, evitando o contato dos animais cultivados

com o solo e que muitas vezes possuem vetores de doenças virais como caranguejos e micro crustáceos;

4. Realização de cultivo em estufas para manutenção da temperatura e para proteger fisicamente o sistema de vetores e predadores como aves em geral.

Este conjunto de ações colabora para o aumento da biossegurança do sistema, evitando a proliferação de doenças e aumentando a produtividade.

A tecnologia de cultivo com bioflocos (do inglês *BFT* - *bioflocotechnology*) foi desenvolvida para controlar o acúmulo de compostos nitrogenados (amônia e nitrito) excretados pelos animais. Os compostos nitrogenados, quando em elevadas concentrações na água, podem ser tóxicos para os camarões principalmente quando cultivados em elevadas densidades (AVNIMELECH, 2007). As principais características desse sistema de cultivo são alta densidade de estocagem, intensa aeração, baixa ou nenhuma renovação de água e a elevada entrada de matéria orgânica (BROWDY et al., 2001).

Os bioflocos formados durante o cultivo são parte integrante do sistema de produção e, quando consumidos diretamente, podem incrementar a dieta dos organismos cultivados (McINTOSH et al., 2000) servindo assim de suplemento alimentar. A maior quantidade de alimento natural e a variedade de grupos de organismos presentes no cultivo heterotrófico propiciam em uma dieta melhor balanceada do ponto de vista nutricional (RAY et al., 2009). Além disso, a estabilidade nos padrões físicos e químicos da água de cultivo fornece aos animais maior conforto. Esse conjunto de características pode favorecer a expressão do potencial real de crescimento e do sistema imunológico, já que os índices de compostos nitrogenados e fósforo são menores neste sistema (RAY et al., 2009).

Uma das formas para a quantificação dos bioflocos é através da análise de sólidos suspensos totais (SST), ou seja, a determinação da quantidade de material particulado presente na água. A elevação dos sólidos é ocasionada pela elevada entrada de matéria orgânica e as altas taxas de crescimento das bactérias heterotróficas (VAN WYK, 2006). No cultivo com bioflocos, a concentração de SST tende a ser alta apesar da reposição de água perdida pela evaporação.

As bactérias heterotróficas são importantes agentes que retiram o nitrogênio inorgânico presente na água, processo o qual depende da relação carbono:nitrogênio (C:N) (DENNET, 1987). As bactérias e as microalgas controlam os compostos nitrogenados no cultivo e diferentes

grupos de micro-organismos interferirem no metabolismo trófico (HARGREAVES, 2006).

Além do ajuste da relação C:N do substrato orgânico, Van Wyk (2006) cita que a taxa de remoção de sólidos também pode interferir sobre qual componente da biota (grupos de bactérias/microalgas) será mais atuante no controle dos compostos nitrogenados. Embora utilizem diferentes princípios analíticos, os sólidos suspensos totais, a turbidez e os sólidos sedimentáveis são parâmetros físicos de qualidade de água, utilizados para monitorar a quantidade de bioflocos em tanques de cultivo tanto de peixes quanto de camarões (AVNIMELECH, 2007).

Um dos problemas enfrentados nos cultivos heterotróficos é que os flocos bacterianos tendem a se acumular na água, podendo gerar problemas aos animais quando em altas concentrações (RAY et al., 2009). Ray et al. (2010) afirmam que concentrações próximas a 460 mg/L de sólidos suspensos totais na água do viveiro promovem ótimo crescimento do *L. vannamei*. Por sua vez, Almeida et al. (2011) afirmam que o SST deve ser mantido próximo a 500 mg/L. Já Schweitzer et al. (2013) afirmam que as melhores concentrações de 400 e 600 mg/L. Assim, neste tipo de cultivo é necessário que parte da água passe por um sistema de remoção dos sólidos quando estes se encontram em excesso para, em seguida, retornar aos tanques aumentando assim o tempo de uso da água (VAN WYK, 2006).

Devido ao maior grau de dificuldade para a análise dos SST, Avnimelech (2009) sugeriu o uso da medida de turbidez para quantificação dos sólidos nos tanques para planejar e executar sua remoção. Os sólidos distinguem-se de acordo com o tamanho das partículas podendo ser (a) dissolvido, (b) coloidal e (c) particulado, sendo os sólidos suspensos formados pelas duas últimas categorias (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Para executar a remoção de sólidos, existem algumas técnicas aplicáveis na aquicultura dentre elas a renovação de água, a sedimentação, a filtração e a flotação (TIMMONS & EBELIG, 2007). Cada metodologia apresenta características únicas e, conseqüentemente, características de manejo, custos, volume gasto de água, estrutura física e aplicação em efluentes distintos, podendo assim gerar diferentes resultados zootécnicos, financeiros e ambientais no final do ciclo.

A utilização de decantadores, que tem como objetivo retirar os sólidos sedimentáveis da água por meio da decantação, feita em um tanque acoplado e em paralelo ao tanque de cultivo, é uma das técnicas que vêm sendo utilizada de maneira eficiente na remoção de sólidos,

uma vez que a água do tanque de cultivo é enviada via *air-lift*, por bombeamento para o decantador, um recipiente cilindro-cônico de fibra de vidro com capacidade para 200 L. Este equipamento pode ser operado de forma contínua ou intermitente para manter o nível ou concentração de sólidos em suspensão na água de cultivo. A definição da forma de manejo do decantador poderá influenciar tanto o volume de sólidos retirado quanto a concentração desse parâmetro. Isto dará origem ao lodo de excesso do cultivo que, por sua vez, necessita de adequado tratamento para disposição final. A sedimentação ocorre de maneira eficiente, podendo chegar a valores superiores a 85% de eficiência da retirada de sólidos da água, dependendo do fluxo e do tipo de decantador (HENDERSON & BROMAGE, 1988).

A retirada do lodo é realizada de maneira simples com o uso de decantadores convencionais. O lodo sedimentado no decantador é retirado do fundo do mesmo, após a drenagem do sobrenadante, o fluxo de água que passa por este é retido e a água presente dentro do mesmo é destinada de volta ao tanque principal, e de maneira sensível, sem agitação para que os sólidos sedimentados não sejam revolvidos. Após a retirada da parte líquida, sobrenadante, em quase sua totalidade, o lodo adensado pode ser retirado e destinado para o seu desaguamento nos leitos de secagem ou em outros equipamentos de desidratação.

Apesar disto, a produção do lodo e sua estabilização são realizadas em meio líquido e geram um material de alto teor de umidade, que pode chegar em ~95% (JORDÃO, 1982). Por isso, o lodo necessita ser desaguado para reduzir os custos de tratamento ou transporte do mesmo para locais apropriados. Assim, reduz-se seu volume por meio da redução de água.

O lodo resultante de processos de tratamento de efluentes é constituído basicamente de sólidos: materiais orgânicos (sólidos voláteis) e minerais (sólidos fixos) e água. Suas propriedades e composição dependerão da origem e da forma pelo qual o mesmo foi tratado. A parte sólida deve ainda ser tratada para destinação final em aterros sanitários ou na agricultura.

A água presente no lodo pode ser dividida em quatro classes distintas, de acordo com a facilidade de separação de fases (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994):

1. Água livre: Pode ser removida por gravidade (adensamento, flotação);
2. Água absorvida: Pode ser removida por forças mecânicas ou pelo uso de floculante;

3. Água capilar: Mantém-se adsorvida; fase sólida por força capilar; distingue-se da água absorvida pela necessidade de uma força maior para sua separação;

4. Água celular. É parte da fase sólida, e só pode ser removida pela mudança no estado de agregação da água, através de congelamento ou evaporação.

A umidade altera as propriedades mecânicas do lodo, influenciando o manuseio e a disposição final do mesmo. A relação entre a umidade e as propriedades mecânicas é que caracterizam o lodo quanto à sua consistência. À medida que a percentagem de água do lodo diminui, o lodo se torna pastoso, perdendo a característica de um fluido, tornando-se uma torta semissólida.

O lodo retirado dos decantadores do cultivo possui alta concentração de sólidos e um grande teor de umidade que deve ser removida para facilitar principalmente o transporte e a destinação final.

Entre os processos naturais de secagem de lodo se destacam a utilização de leitos de secagem, lagoas de lodo e a disposição do lodo no solo. Parâmetros como temperatura, umidade do ar, ventilação e viscosidade do lodo afetam o método de desidratação natural (CORDEIRO, 1999) e estes métodos apresentam características que os tornam dependentes do clima, favorecendo sua adoção em regiões quentes (SILVA, 2007).

Durante o período de secagem no leito, o lodo passa por transformações físicas, químicas e biológicas, incluindo a decomposição biológica da matéria orgânica, a produção de amônia e a desidratação (US EPA, 2003). Segundo Melo (2006), o leito de secagem é constituído de camada de areia sobre as de brita, sendo o fundo plano e impermeável, com uma ligeira declividade para os tubos drenos que, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2011), devem ter diâmetro mínimo de 100 mm.

Segundo Jordão & Pessoa (2005), os leitos de secagem podem ser caracterizados pelas seguintes partes: tanques de armazenamento, camada drenante e cobertura. Os tanques podem ser construídos em concreto, alvenaria ou terra compactada e podem ainda ser cobertos ou descobertos. A camada drenante é constituída por camada suporte, meio filtrante e sistema de drenagem descritos a seguir.

A camada suporte é constituída de tijolos recozidos com afastamento de 2 a 3 cm e preenchida com areia grossa. O modo com que os tijolos são dispostos facilita a remoção do lodo e a reposição de tijolos defeituosos que se quebram durante a raspagem do lodo seco durante a limpeza.

O meio filtrante é constituído por camadas de pedras de granulometrias diferentes arrumadas de modo que a camada inferior tenha granulometria maior do que a da camada superior.

O sistema de drenagem é constituído por tubos perfurados dispostos abaixo do meio filtrante drenando o lodo através das camadas superiores. Este líquido acumulado no fundo dos leitos de secagem é chamado de percolado. Geralmente, o percolado retorna ao processo de tratamento de efluentes, a menos que os parâmetros analíticos da água estejam de acordo com a legislação para lançamento de efluentes e manutenção do enquadramento do corpo receptor (JORDÃO & PESSOA, 2005). Em alguns casos, os leitos de secagem possuem cobertura de proteção contra chuvas, para acelerar o processo de desaguamento natural. Estas coberturas podem ser feitas com os mais diferentes tipos de matérias, como telhas, vidro, plástico, etc. Além disso, as coberturas dos leitos de secagem podem auxiliar na higienização do lodo provocada pela elevação da temperatura (MELO, 2006). O funcionamento dos leitos de secagem é fundamentado em um processo natural de perda de umidade, que se desenvolve devido aos seguintes fenômenos (JORDÃO & PESSOA, 2005):

1. Liberação dos gases submetidos à pressão atmosférica nos leitos de secagem;
2. Liquefação, devido à diferença do peso específico aparente do lodo e da água, estabelecendo a flotação do lodo e rápida drenagem da água;
3. Evaporação natural da água devido ao contato íntimo com a atmosfera e
4. Evaporação devido ao poder calorífico do lodo.

A capacidade de desaguamento do lodo relaciona-se diretamente ao tipo de sólido e à forma como a água está ligada às partículas sólidas (ANDREOLI, 2001). O dimensionamento do leito de secagem deve atender às características que melhor favoreçam a secagem e a maior retenção de sólidos.

A sociedade tem se preocupado em minimizar os impactos das atividades antrópicas sobre o meio ambiente, assegurando a qualidade ambiental para as próximas gerações. A intensificação do cultivo de camarões marinhos em sistema de bioflocos produz grande volume de efluentes, os quais necessitam de tratamento e disposição final adequados. O leito de secagem é uma tecnologia barata e sustentável que tem como objetivo desidratar o lodo proveniente de cultivos de camarões marinhos, diminuindo seu volume a partir da utilização da energia solar.

Sendo de extrema importância, o estudo da diminuição do volume destes efluentes facilita o manejo dos dejetos e os transforma em insumos agrícolas. Entretanto a falta de literatura disponível sobre o desaguamento de lodos de cultivos intensivos de camarões marinhos dificulta o dimensionamento e a operação deste sistema.

O presente estudo caracteriza-se por uma inovação tecnológica na área aquícola, uma vez que será adaptada à tecnologia aplicada ao tratamento de efluentes doméstico para o tratamento de efluentes aquícolas.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é contribuir com desenvolvimento da carcinicultura marinha estudando a técnica de desaguamento do lodo gerado em cultivos superintensivos de camarões marinhos da espécie *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos utilizando leito de secagem.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este estudo pretende especificamente, construir e avaliar o funcionamento de leitos de secagem, em escala de bancada, para desidratação do lodo gerado no cultivo superintensivo de camarões marinhos, sob a taxa de aplicação de lodo, o teor de umidade e a parâmetros de concentração de sólidos.

2. CAPÍTULO 1

Desidratação do lodo do cultivo de camarões marinhos *litopenaeusvannamei* em bioflocos em leito de secagem.

Artigo a ser submetido à revista **AquaculturalEngineering**.

QUALIS CAPES A2, área de Zootecnia e Recursos Pesqueiros, e fator de impacto igual a 1,406.

Bruno Junckes de Carvalho^a, Katt ReginaLapa^a, LuisVinateaArana^{a,*}

^a Laboratório de Camarões Marinhos, Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, 88061-600, Brasil.

* Autor correspondente: Laboratório de Camarões Marinhos, Servidão dos Coroas s/n (fundos), Barra da Lagoa, Florianópolis, SC 88061-600, Brasil.Tel.: +55 48 3231 3400

Email: vinatea@mbx1.ufsc.br (L. Vinatea)

RESUMO

A intensificação da atividade aquícola gera descargas de efluentes que são responsabilizados pela poluição da água por um excesso de materiais orgânicos e nutrientes. Foram realizados dois testes (Setembro/2013 e Dezembro/2013) do mesmo experimento e, como unidades experimentais, foram utilizadas tubulações de PVC de 300 mm de diâmetro com três tratamentos de espessura de camada filtrante diferentes, T52, T67 e T82 com 52,5 cm, 67 cm e 82,5 cm respectivamente. A taxa de aplicação de sólidos analisada foi de 37,47 kg/m² em média. A quantidade de sólidos totais (ST) na torta de lodo dos leitos de secagem mostrou a crescente concentração de sólidos. De acordo com a análise estatísticas, os tratamentos não apresentaram diferença significativa quando analisados em conjunto. Em relação às condições de secagem onde os lodos foram aplicados, o tempo de desaguamento até 40% de umidade foi de quatro (4) dias e, em todos os tratamentos, a estabilização da umidade foi de 20%. Todos os tratamentos se mostraram adequados para o desaguamento de lodo gerado na carcinicultura superintensiva de camarões marinhos e o tratamento com as espessuras mínimas da camada filtrante delineados no experimento (T52) foi o mais viável economicamente.

Palavras-chave: desaguamento, efluente, tratamento, ensaio, dimensionamento.

INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por alimentos buscou-se intensificar a produção de camarões marinhos, aumentando a densidade de cultivo e diminuindo a área de produção. O cultivo intensivo do camarão branco *Litopenaeus vannamei* apresenta grande potencial de desenvolvimento quando cultivado no sistema de bioflocos.

A tecnologia de bioflocos é baseada no consumo do nitrogênio inorgânico (TAN, NO_2^- -N, e NO_3^- -N) pela presença da comunidade microbiana presente na água de cultivo (AVNIMELECH, 2006) que deve ser controlada a partir do ajuste da relação C:N, utilizando como fonte de carbono o melaço de cana e como fonte nitrogenada a ração comercial.

A formação dos bioflocos é realizada por bactérias heterotróficas que utilizam amônia e compostos nitrogenados orgânicos para sintetizar novas células pelo consumo de carboidratos utilizando, simultaneamente, matéria orgânica e sólidos suspensos (HARGREAVES, 2006).

Este sistema é operado sem renovação de água e apenas é adicionada água perdida por evaporação, o que aumenta a concentração de sólidos no ambiente de cultivo e permite o cultivo em altas densidades. Outro problema é o aparecimento de doenças geralmente relacionadas ao estresse da alta densidade. Para evitar este problema, a biossegurança é um fator muito importante deste sistema, uma vez que a água utilizada é tratada antes do cultivo, diminuindo os riscos de propagação de doenças através da água de abastecimento. São utilizados tanques de fibra para o cultivo, evitando o contato da água com o solo e vetores de patógenos, que são instalados dentro de estufas, que mantém a temperatura na faixa ideal para o cultivo, 28-30 ° C e que evitam a propagação de doenças pelas aves, crustáceos e roedores (vetores).

O declínio da qualidade de água está relacionado com o aumento de sólidos no sistema, que por sua vez contribuem para o estresse dos organismos cultivados (BRAATEN et al., 1986). Os sólidos podem causar impacto direto nas brânquias dos animais através da asfíxia parcial das mesmas ou do impacto indireto por proporcionar um ambiente adequado para a proliferação de bactérias heterotróficas e conseqüentemente para organismos patogênicos (BRAATEN et al., 1986; LILTVED & CRIPPS, 1999). Para contornar este problema, são utilizados decantadores de fibra que realizam o processo de sedimentação, no qual as partículas em suspensão apresentam movimento descendente no meio líquido de menor massa específica

devido à ação da gravidade (DIBERNARDO et al., 2002). A decantação ocorre de maneira eficiente, podendo chegar a valores superiores a 85-90 % de eficiência na retirada de sólidos da água, dependendo do fluxo e do tipo de decantador (HENDERSON & BROMAGE, 1988). O lodo é coletado no fundo e depositado nos leitos de secagem. Em seguida ele é removido do sistema para remover a concentração de nitrogênio em excesso.

Segundo Tsangand Vesilind (1990), a umidade contida nos lodos é classificada em quatro categorias: umidade livre (que não está ligada às partículas), umidade intersticial (ligadas por forças de capilaridade entre os flocos de lodo), umidade superficial (ligada por forças adesivas) e a umidade limite.

Segundo LyesBennamoun (2013), a secagem é considerado um processo de alto consumo de energia, o que significa uma operação de alto custo. Pesquisas científicas e tecnológicas estão voltadas para fontes alternativas de energia, em particular a energia solar.

O leito de secagem é uma tecnologia de baixo custo que vem sendo utilizada nos últimos 20 anos para o tratamento de lodo (1-7% de sólidos) produzidos nas estações de tratamento de águas residuais (LIÉNARD et al., 1990; UGGETTI et al., 2010).

Os leitos de secagem são descritos como uma tecnologia adequada para o tratamento de efluentes de piscicultura (SUMMERFELT et al., 1999). Entretanto, a pouca literatura disponível sobre esta tecnologia dificulta a identificação de como este sistema pode contribuir para redução de volume de lodo produzido no cultivo superintensivo de camarões marinhos em bioflocos. A utilização de leitos de secagem leva em consideração apenas a ação da gravidade e da radiação solar. Isto constitui a principal vantagem. Possuem algumas vantagens em relação aos outros métodos de desidratação, pois não há energia elétrica e produtos químicos. Além de possuírem baixo custo de implantação e manutenção, quando comparados às demais tecnologias, como centrífugas, filtros-prensa, etc...

A evaporação da água de uma superfície é um processo físico de passagem da água do estado líquido para o gasoso, no qual a radiação solar é a fonte principal de energia consumida neste processo. A temperatura, o déficit de saturação do ar e a velocidade do vento são os fatores que determinam a demanda evaporativa da atmosfera.

A massa de lodo possui cerca de 90% de água e o seu transporte de um local para outro ponto de disposição ou reuso é o fator de maior custo em seu manejo (BLACK & VEATCH, 1995; REED et al., 1995), por isso a necessidade de seu desagüamento antes de ser transportado.

Com a legislação cada vez mais restritiva, visando a preservação ambiental, empreendimentos aquícolas devem se adequar e reduzir os danos ao meio ambiente, uma vez que, na maioria das vezes, o mesmo ambiente que recebe o efluente também abastece propriedades agrícolas e aquícolas. O cultivo superintensivo de camarões marinhos produz lodo e este lodo necessita de tratamento para posterior destinação em locais ambientalmente corretos ou outras utilizações possíveis visando o aproveitamento do mesmo. Neste sentido, são necessários estudos que visem o domínio das técnicas de tratamento e desaguamento do lodo de excesso produzido nos cultivos, a fim de se obter informações que contribuam com o desenvolvimento sustentável da carcinicultura e fortaleçam o delineamento do pacote tecnológico deste tipo de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) do Departamento de Aquicultura pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina, localizada na cidade de Florianópolis, Santa Catarina, no período de Outubro a Dezembro de 2013.

OBTENÇÃO E COLETA DO LODO

O lodo gerado era proveniente de um tanque circular de 50 m³ contendo camarões reprodutores da espécie *Litopenaeus vannamei* mantido sem sistema superintensivo em bioflocos, na densidade de 50 camarões por metro quadrado, totalizando 2.500 animais com 32 g em média de peso. Estes animais foram alimentados com ração comercial com 35% de proteína bruta, ofertadas três vezes ao dia, com adição de melaço de cana na relação de 15:1 de carbono e nitrogênio. Para controle dos sólidos em suspensão, foi utilizado um decantador circular de fibra com fundo cônico, operado de modo intermitente, ou seja, somente quando a concentração de sólidos suspensos totais na água de cultivo atingisse o valor médio de 600 mg/L.

O lodo proveniente do fundo do decantador era acumulado em um recipiente cônico de fibra até atingir aproximadamente 60 L para posterior aplicação nos leitos de secagem experimentais. Deste modo, para cada repetição do experimento foram coletados 60 L de lodo gerado em 3 dias de funcionamento do decantador.

Após coletado, o lodo era misturado com auxílio de uma pá de madeira. De posse do lodo homogeneizado, foram realizadas as coletas de amostras para posterior análise em laboratório dos parâmetros sólidos totais, fixos e voláteis, segundo a metodologia do Standard Methods Números (APHA, 2005).

Foram aplicados em cada leito experimental o equivalente a 5,54 kg de lodo de uma única vez, tendo o cuidado para não danificar a superfície dos leitos, formando uma lâmina de 15 cm de altura de lodo.

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para a construção dos leitos de secagem em escala de bancada, foram utilizadas 9 tubulações de PVC de 300 mm de diâmetro, com 1 m de altura cada. No fundo dos tubos, foram fixadas placas de PVC perfuradas que receberam sobre elas o meio filtrante e a camada suporte. Este meio filtrante foi constituído de areia fina e de camadas de brita com diferentes granulometrias e espessuras, conforme o dimensionamento apresentado na Figura 1. A camada suporte foi formada com tijolos recozidos preenchido com cinco cm de areia grossa para todos os tratamentos.

O sistema de drenagem foi constituído por um recipiente de plástico, perfurado, disposto abaixo do meio filtrante, de modo a recolher o líquido (percolado) removido do lodo para posterior análise de parâmetros de qualidade de água.

O lodo desaguado ficou retido na camada suporte de tijolos. Este lodo foi monitorado em termos de teor de umidade e sólidos ao longo do tempo necessário para o desaguamento.

CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Foram testados três dimensionamentos comumente utilizados para desaguamento de lodo de esgoto sanitário que estão diagramados na Figura 1. Os três tratamentos foram denominados T52, T67 e T82. Esta denominação se deve ao comprimento total do meio filtrante e essas espessuras do meio filtrante foram testadas visando o melhor desempenho na secagem do lodo e na remoção de sólidos do percolado.

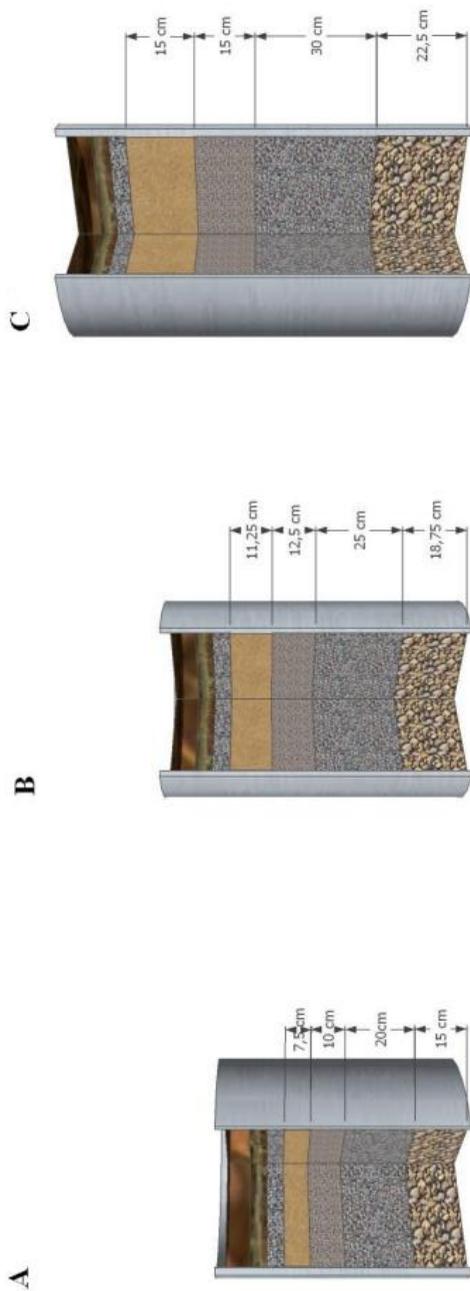
No primeiro tratamento denominado de T52, foram dispostos em ordem ascendente os seguintes materiais com suas respectivas espessuras: 15 cm de brita nº 4; 20 cm de brita nº 3 e 4, previamente misturadas; 10 cm de brita nº 1 e 2, também previamente misturadas; 7,5 cm de areia fina; 5

cm de área grossa e tijolos cortados em cubos de 6,5 x 5 x 5, simetricamente dispostos com afastamento médio de 2 cm entre eles.

No segundo tratamento denominado de T67, foram dispostos em ordem ascendente os seguintes materiais com suas respectivas espessuras: 18,75 cm de brita nº 4; 25 cm de brita nº 3 e 4, previamente misturadas; 12,5 cm de brita nº 1 e 2, também previamente misturadas; 11,25 cm de areia fina; 5 cm de área grossa e tijolos cortados em cubos de 6,5 cm x 5 cm x 5cm, simetricamente dispostos com afastamento médio de 2 cm entre eles.

Já o terceiro tratamento denominado de T82, foram dispostos em ordem ascendente os seguintes materiais com suas respectivas espessuras: 22,5 cm de brita nº 4; 30 cm de brita nº 3 e 4, previamente misturadas; 15 cm de brita nº 1 e 2, também previamente misturadas; 15 cm de areia fina; 5 cm de área grossa e tijolos cortados em cubos de 6,5cm x 5,0cm x 5,0 cm, simetricamente dispostos com afastamento médio de 2 cm entre eles.

Figura 1 – Delineamento experimental dos leitos de secagem em escala de bancada: (a) tratamento T52, (b) tratamento T67 e (c) tratamento T82.



Foram realizados dois testes, com três tratamentos em triplicata com o lodo proveniente do fundo do decantador, caracterizando dois ciclos do mesmo experimento. Um ciclo no período de 16 de outubro de 2013 a 1º de novembro de 2013 e outro ciclo no período de 14 de dezembro de 2013 a 28 de dezembro de 2013.

TAXA DE APLICAÇÃO DE SÓLIDOS

Foi calculada a Taxa de Aplicação de Sólidos (TAS) nos dois testes de acordo com metodologia descrita em Metcalf&Eddy (2007). Sendo assim, o experimento de desaguamento em leito de secagem foi realizado com lodo fresco, logo após a coleta nos decantadores instalados no tanque de cultivo do Laboratório de Camarões Marinhos – UFSC. Em seguida foi calculada a quantidade de sólidos em quilogramas aplicados em um metro quadrado de área do leito de secagem. A TAS pode ser calculada através da Equação 1:

$$TAS \text{ (kg/m}^2\text{)} = ST \text{ (kg/L)} \times \text{Volume (L)} / \text{área do leito (m}^2\text{)} \quad (1)$$

MONITORAMENTO EXPERIMENTAL

A taxa de umidade do lodo e as concentrações de sólidos totais foram monitoradas ao longo do tempo nos três tratamentos. A frequência adotada para medição do teor de umidade foi de 24 horas após a aplicação do lodo nos leitos e durante o período de secagem duas vezes por semana. Uma amostra de 5g era coletada e depois de 2 dias em estufa a 65° C era novamente pesada e, pela diferença de peso, era calculada a quantidade de água evaporada no período. Para as análises de sólidos da torta de lodo retida no leito foram realizadas coletas de amostras uma vez por semana. Todas as metodologias para análises comparativas dos ensaios de bancada seguiram os protocolos descritas em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos dados foi realizada através de análise de Regressão.

RESULTADOSE DISCUSSÃO

Na primeira e na segunda repetição do experimento a temperatura atmosférica teve como média 21,49° C e 24,01° C, respectivamente e, apenas durante a primeira repetição, houve um período de quatro dias de chuvas. Não houve problemas com infiltração da água da chuva para dentro dos leitos devido à cobertura de fibra instalada sobre os leitos.

TAXA DE APLICAÇÃO DE SÓLIDOS

No início de cada experimento foram tomadas amostras de lodo para quantificação dos sólidos totais e o cálculo da Taxa de Aplicação de Sólidos (TAS), que mede a massa de sólidos (em kg) presente em 1 (um) metro quadrado de área dos leitos de secagem projetados. A TAS foi calculada através da equação 1 apresentada em Material e Métodos e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Taxa de Aplicação de Sólidos do lodo bruto na Ciclo 1 e Ciclo2 (kg/L).

	Ciclo 1	Ciclo 2
TAS (kg/L)	38,81 (54,8% de ST) ^a	36,14 (51,1% de ST) ^a

UMIDADE DA TORTA DE LODO

O desaguamento apenas remove uma parte da umidade livre e intersticial. A outra parte permanece na torta de lodo sendo que o número de rachaduras na torta de lodo aumenta com a redução da umidade.

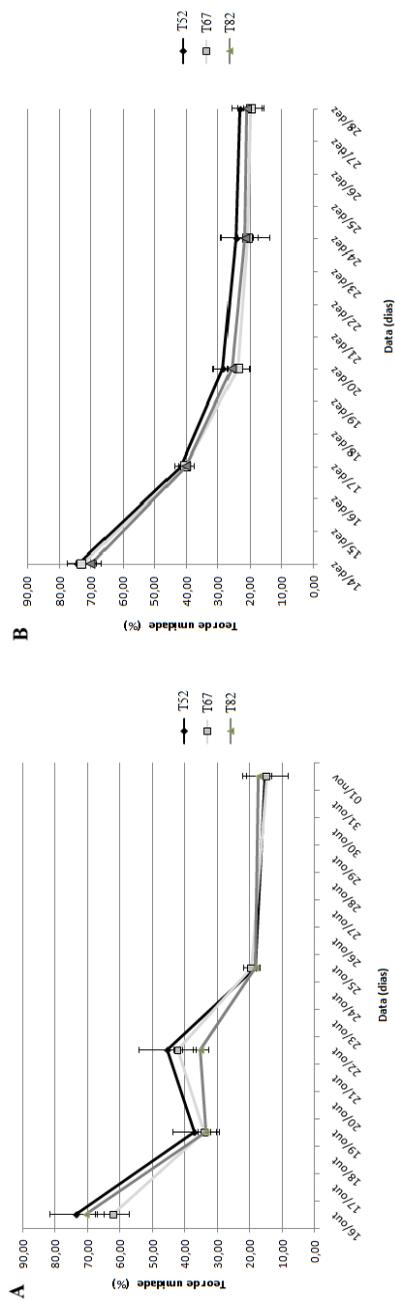
A umidade inicial foi analisada e obteve concentrações estatisticamente iguais para os três tratamentos. A umidade na torta de lodo dos leitos de secagem apresentou características semelhantes, atingindo a umidade de 20% em 10 dias. O ganho de umidade no Ciclo 2 se deve ao período de 4 dias de chuvas e ventos fortes, ocasionando o aumento da umidade da torta de lodo dos leitos, mesmo cobertos por telhado. Em ambas as repetições, a umidade final se estabilizou com 20% em 11 dias.

Em ambas as repetições, a torta de lodo atingiu 40% de umidade em quatro dias em todos os tratamentos. Após este período, a torta de lodo da Ciclo 1 levou 6 (seis)dias para atingir 20% de umidade. Já a Ciclo 2

levou 7 (sete) dias para a estabilização em 23% (Figura 2). Chuvas, ventos, umidade relativa do ar e temperatura durante o desaguamento geralmente resultam em variações da redução de umidade e prolongam o processo de secagem do lodo (MUNGRAY, 2007).

Dois experimentos conduzidos em Ghana testaram a secagem de lodo doméstico utilizando leitos de secagem. No primeiro experimento foi obtida torta de lodo com 63,41% de umidade após 10 (dez) dias de secagem (KUFFOUR et al., 2009) e no segundo, o período de secagem variou de uma semana a dois meses, devido às variações climáticas ao longo do tempo, principalmente em períodos de chuva. Entretanto, em média, cada experimento ou tratamento teve duração de duas semanas (80% de umidade). Este resultado também foi obtido nas pesquisas realizadas por Pescod (1971) e Heinss et al. (1998). Na figura 2 estão apresentados os dados de umidade da torta de lodo ao longo do tempo nos dois ciclos testados. Os leitos de secagem se mostraram eficientes na secagem do lodo e os tratamentos (ciclos) não apresentaram diferença significativa em relação ao tempo de secagem. Pode ser observado que em aproximadamente 10 (dias) ocorreu a desidratação do lodo de ~70% de umidade para menos de 20% de umidade. A partir de 10 (dias) houve a estabilização do teor de umidade da torta de lodo.

Figura 2 – Umidade da torta de lodo ao longo das semanas de realização do experimento do cultivo superintensivo de camarões marinhos: (a) Ciclo 1 e (b) Ciclo 2.



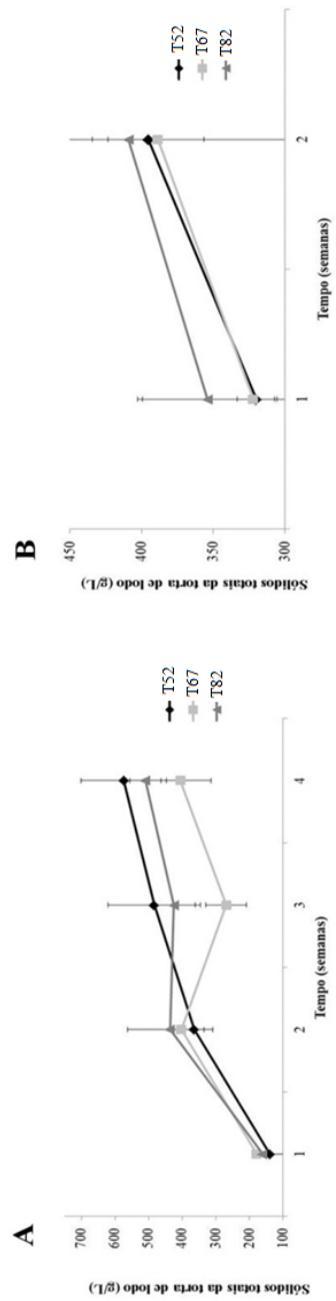
Salihoglu et al. (2007) compararam leitos de secagem cobertos e descobertos em relação a perda de umidade de lodo proveniente de ETE de esgoto sanitário e verificaram que o lodo aplicado nos leitos descobertos com umidade inicial de 80% necessitou de um período de secagem de 55 (cinquenta e cinco) dias até atingir a umidade de 57%. Já nos leitos cobertos foi aplicado o lodo com umidade inicial de 80% e após 55 (cinquenta e cinco dias) a umidade atingiu 14%, o que demonstra a eficiência da cobertura dos leitos, principalmente em locais onde existem períodos de chuvas.

SÓLIDOS TOTAIS DA TORTA DE LODO

A quantidade de sólidos totais (ST) na torta de lodo foi monitorada durante o experimento de secagem nos dois ciclos (Figura 3). A quantidade de ST na torta de lodo dos leitos de secagem mostra a crescente concentração de sólidos de acordo com a redução de umidade. Este resultado já era esperado, pois é resultado da separação dos meios líquido e sólido. O Ciclo 1 (Figura 3A) apresenta um incremento de umidade relacionada com o período de 4 (quatro) dias de chuva que fez com que a concentração de ST aumentasse, ou seja, a torta de lodo incorporou uma certa quantidade de água nos tratamentos T52, T67, T82 de 8,34%, 8,16% e 1,68% de umidade, respectivamente. O tratamento T52 foi o que obteve a maior incorporação de água e a menor variação de ST neste período, demonstrando que quanto maior o teor de umidade, menor a concentração de sólidos no lodo.

O Ciclo 2 (Figura 3B) é representado por 3 retas, mostrando um padrão durante a secagem, já que durante este período não houve incremento de umidade ocasionada por chuvas. Sendo assim, à medida que a torta de lodo perdeu umidade a concentração de sólidos totais aumentou e não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

Figura 3 – Concentração de sólidos totais ao longo das semanas de realização do experimento na torta de lodo proveniente do cultivo superintensivo de camarões marinhos: (a) ST da torta de lodo do Ciclo 1 e (b) ST da torta de lodo do Ciclo 2.



RETENÇÃO DE SÓLIDOS NO LEITO DE SECAGEM

Os valores de remoção de ST entre os lodos aplicados nos três tratamentos se mostraram estáveis, seguindo o mesmo padrão nas duas Repetições do experimento.

A Tabela 2 apresenta o resultado da massa de lodo retida na superfície do leito (torta de lodo), a porção de lodo retido dentro do leito entre as camadas de meio filtrante e a porção de sólidos que percolou juntamente com a água em relação aos 100% de sólidos totais contidos no lodo bruto. Foi possível observar que no Ciclo 1, os 3 tratamentos retiveram grande parte de sólidos na superfície, resultando em média 86,13% da massa de sólidos retida na camada superficial dos leitos. Apenas 4,8% dos ST em média percolaram pelo leito de secagem e, por diferença, 16,56% dos ST em média ficaram retidos no interior do leito de secagem. Foi possível observar na Ciclo 2, os 3 tratamentos retiveram a maior parte dos sólidos retidos na superfície, resultando em média 77,84% da massa de sólidos retida na camada superficial dos leitos. Apenas 4,41% em média de ST percolaram pelo leito de secagem. A quantidade de sólidos retidos no interior dos leitos foi de 9,71% em média.

O aumento da superfície de contato pelo aumento de volume de camada filtrante não resultou em maior retenção de sólidos.

Kuffour et al. (2009) utilizaram leitos de secagem pilotos com camada filtrante de 45 cm de espessura e granulometrias de areia diferentes em lodo doméstico (36,64 de ST), resultaram na concentração 30 g/L de ST em média (81,9% de ST) na torta de lodo, valores semelhantes obtidos no presente trabalho, e percolados com 9,66 g/L de ST em média (23,36% de ST), valores estes superiores em relação os obtidos neste trabalho. Aparentemente, a maior concentração de ST do lodo de carcinicultura superintensiva faz com que os sólidos se sedimentem na camada superficial de areia, dificultando a passagem dos ST para dentro do leito de secagem, gerando o percolado com menor concentração de sólidos.

A concentração de sólidos do efluente gerado no sistema de bioflocos é significativamente superior quando comparado com o efluente de uma fazenda comercial de tilápias em sistema de recirculação com 2% de ST, o acúmulo de sólidos na torta de lodo foi de 10% após secagem (Palacios, 2001).

Segundo Cofie et al. (2006) em leitos de secagem construídos com 40 cm de espessura de camada filtrante nos quais aplicados 30 cm de espessura de lodo (30,45 g/L de ST) de esgoto sanitário, o tempo

médio de secagem foi de 2 semanas. Os leitos retiveram 80% de ST, semelhante os valores obtidos no presente trabalho.

Porém, foi possível observar a variação de ST retidos no T65 durante a Ciclo 2, provavelmente devido a acomodação dos sólidos retidos nos espaços vazios dentro das camadas de brita. Yamaoka&Hata (2003) encontraram uma camada formada dentro do leito de secagem, em escala piloto, que obstruía a passagem da água livre, ocasionando um acúmulo maior de ST dentro dos leitos de secagem.

Durante o período de 4 dias de chuva T65 foi o tratamento que apresentou maior ganho de umidade, 8,34%. Esta umidade ocasionou uma nova percolação de água livre, resultando em diminuição da concentração de ST da torta de lodo, fazendo com que uma quantidade maior de sólidos permanecesse retida dentro dos leitos de secagem.

Tabela 2 – Concentração de sólidos totais na torta de lodo, no percolado e retidos no interior dos leitos de secagem ao fim do experimento com lodo proveniente do cultivo superintensivo de camarões marinhos.

Análises	Ciclo 1 – Tratamentos			Ciclo 2 - Tratamentos		
	T52	T67	T82	T52	T67	T82
Lodo Bruto (100% de ST) (g/L)	548,7	548,7	548,7	511	511	511
Torta de Lodo (g/L)	404,96±68,5 (73,80%) ^a	503,82±93,4 (91,82%) ^a	509,15±35,9 (92,79%) ^a	395,41±28,7 (77,37%) ^a	388,83±63 (76,09%) ^a	409,18±10,3 (80,07%) ^a
Percolado (g/L)	29,06±1,19 (5,29%) ^a	28,34±3,27 (5,16%) ^a	21,72±0,45 (3,95%) ^a	25,08±1,92 (4,90%) ^a	22,76±2,39 (4,45%) ^a	19,98±0,96 (3,90%) ^a
ST retido dentro dos leitos (g/L)	97,08±6,72 (17,88%) ^a	92,82±10,32 (16,91%) ^a	81,83±8,74 (14,91%) ^a	114,67±14,6 (22,44%) ^a	16,53±3,37 (3,23%) ^a	17,81±3,18 (3,48%) ^a

CONCLUSÃO

Todos os tratamentos se mostraram adequados para o desaguamento de lodo gerado na carcinicultura superintensiva em bioflocos. O aumento da espessura das camadas filtrantes não influenciou a quantidade de sólidos totais na torta de lodo, já que 75-90% dos sólidos ficaram retidos na camada superficial de tijolos e 4,4-4,8% dos sólidos percolaram com a água. Esses resultados mostraram que o aumento da superfície de contato (volume maior de agregados finos e graúdos) das camadas filtrantes não influenciou a filtragem dos sólidos.

O menor teor de umidade do lodo foi de ~20%, o qual foi obtido após 10 (dez) dias de tempo de percolação, independente das espessuras das camadas filtrantes testadas neste estudo. O tratamento com as espessuras mínimas da camada filtrante (T52) apresentou desempenho estatisticamente igual aos demais tratamentos, sendo portanto o mais recomendado por utilizar quantidade menor de material para sua construção, tornando-se mais econômico para aplicação em larga escala.

Nas condições de secagem onde os lodos foram aplicados, o tempo de desaguamento de até 40% de umidade foi de 4 (quatro) dias, quando o lodo já pode ser transportado para seu destino final, como aterros sanitários. A cobertura de telhas transparentes de fibras e mostrou eficiente no bloqueio da entrada de água proveniente das chuvas e fez com que o tempo de secagem não fosse prolongado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 10.004 - Resíduos sólidos. 2ªEd. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2004.
- ACKEFORS, H.; ENELL, M. Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas. **Ambio**, n. 119, p. 28–35, 1990.
- ACKEFORS, H.; ENELL, M. The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. **Journal Apply Ichthyology**, n. 10, p. 225–241, 1994.
- AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, n. 176, p. 227–235, 1999.
- AVNIMELECH, Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. **Aquaculture**, v. 264, n. 1–4, p. 140–147, 2007.
- BERGHEIM, A. S.; SANNI, G. I.; HOLLAND, P. Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating microsieves. **Aquaculture Engineering**, n. 12, p. 97–109, 1993.
- BLACK; VEATCH. **Wastewater biosolids and water residuals: reference manual on conditioning, thickening, dewatering, and drying**. The Electric Power Research Institute, Community Environment Center. St. Louis, MO: Washington University, 1995.
- BOYD, C.E.; CLAY, J.W. Shrimp aquaculture and the environment. **Scientific American**, n. 278, p. 58–65, 1998.
- BRAATEN, B.; POPPE, T.; JACOBSEN, P.; MARONI, K. Risks from self-pollution in aquaculture: evaluation and consequences. **In: GRIMALDI, E.; ROSENTHAL, H. (Eds.). Efficiency in Aquaculture Production: Disease and Control. Proceedings of the 3rd International Conference on Aquafarming 'Aquacoltura'86**. Verona, Italy, 1986. p. 139–165.
- BROWDY, C. L.; BRATVOLD, D.; STOKES, A. D.; McINTOSH, R. P. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. **In: BROWDY, C. L.; JORY, D. E. (Eds.). The new wave, proceedings of**

the special session on sustainable shrimp culture. **World Aquaculture Society**. Baton Rouge, Louisiana, 2001. p. 20-30.

BURFORD, M., THOMPSON, P., MCINTOSH, R., BAUMAN, R., PEARSON, D., 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zeroexchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture** 219, 393-411.

CHAZARENC, F.; BRISSON, J.; COMEAU, Y. Slag columns for upgrading phosphorus removal from constructed wetland effluents. **Water Sci. Technol.**, v. 56, n. 3, p. 109–115, 2007.

CHEN, S.; COFFIN, D. E.; MALONE, R. F. Sludge production and management for recirculating aquaculture systems. **Journal World Aquaculture Society**, n. 28, p. 303–315, 1997.

CHU, C. P.; LEE, D. J. Moisture distribution in sludge: Effects of polymer conditioning. **Journal of Environmental Engineering**.

COFIE, O. O.; AGBOTTAH, S.; STRAUSS, M.; ESSEKU, H.; MONTANGERO, A.; AWUAH, E.; KONE, D. Solid-liquid separation of fecal sludge using drying beds in Ghana: implications for nutrient recycling in urban agriculture. **Water Research**, n. 40, p. 75–82, 2006.

COMEAU, Y.; BRISSON, J.; CHAZARENC, F.; CHAOUKI, J. Déphosphatation d'effluents piscicoles par marais artificiel et lit absorbant en série, et par bioreacteur à lit mobile absorbant. **Rapport technique, SORDAC**, 2006.

CORDEIRO, J. S. Remoção de água de lodos de ETAs através de filtração forçada. In: REALI, M.A.P. (Coord.). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES, p. 107 – 124, 1999.

CRIPPS, S.J.; KELLY, L.A. Reductions in wastes from aquaculture. In: BAIRD, D.J.; BEVERIDGE, M. C. M.; KELLY, L. A.; MUIR, J. F. (Eds.). Aquaculture and Water Resource Management. Oxford: Blackwell, 1996. p. 166–201.

DENNET M. R.; GOLDMANN J. C.; CARON D. A.; Regulation of gross efficiency and ammonium regeneration in bacteria by substrate C:N ratio. **Limnology and Oceanography**, v. 32, p. 1239--1252, 1987.

DRIZO, A.; FORGET, C.; CHAPUIS, R.P.; COMEAU, Y. Phosphorus removal by electric arc furnace steel slag and serpentinite. **Water Research**, v. 40, n. 8, p. 1547–1554, 2006.

DUCHÈNE, P. H.; GORINI, D. A study of activated sludge dewatering in experimental reed-planted or unplanted sludge drying beds. **Water Science and Technology**, v.32, n.3, p.251–261,1995.

EWART, J.W.; HANKINS, J.A.; BULLOCK, D.State policies for aquaculture effluents and solid wastes in the northeast region.Dartmouth, MA: University of Massachusetts, Bulletin n. 300,1995.

GOWEN, R.J.; ROSENTHAL, H.; MIKINEN, T.; EZZI, I. Environmental impacts of aquaculture activities. **In:de PAUW, N.; BILLARD, R. (Eds.). Aquaculture Europe'89 — Business Joins Science. Bredene, Belgium: European Aquaculture Society, Special Publication, n. 12., pp. 257–283, 1990.**

HARGREAVES, J. A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. **Aquaculture Engineering**,n. 34, p. 344–363, 2006.

HSU, C. C. Limits of sludge dewaterability. **Water Science & Technology**, v.36, n.11, p.87-91, 1997.

JOHANSSON, L. Blast furnace slag as phosphorus sorbents — column studies. **Sci. Total Environ.**,v. 229, n. 1–2, p. 89–97, 1999.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4ª Ed. Rio de Janeiro, 2005. 932 p.

KRISTIANSEN, R.; CRIPPS, S.J. Treatment of fish farm wastewater using sand filtration. **J. Environ.Quality**, n. 25, p. 545–551, 1996.

LIÉNARD, A.; ESSER, D.; DEGUIN, A.; VIRLOGET, F. Sludge dewatering and drying in reed beds: an interesting solution?General

investigation and first trials in France. In: COOPER, P.F.; FINDLATER, B.C. (Eds.). **Constructed Wetlands in Water Pollution Control. Advances water pollution control n°11**. United Kingdom: Pergamon Press, 1990. p. 183–192.

LILTVED, H.; CRIPPS, S.J. Removal of particle associated bacteria by prefiltration and ultraviolet irradiation. **Aquaculture Research**, n. 30, p. 445–450, 1999.

LOSORDO, T.M.; WESTERS, H. System carrying capacity and flow estimation. In: TIMMONS, M. B.; LOSORDO, T. M. (Eds.). **Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management**. Amsterdam: Elsevier, p. 9–60.

MELO, A. S. de. Contribuição para o dimensionamento de leitos de secagem de lodo. 2006.f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências e Tecnologia) – Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

NBR. NBR 12.209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: NBR, 2011.

PESCOD, M.B. Sludge handling and disposal in tropical developing countries. **Journal Water Pollution Control Fed.**, v. 43, n.4, p. 555–570, 1971.

PILLAY, T.V.R. **Aquaculture and the Environment**. Oxford, UK: Fishing News Books, 1992.

RAY, A.J., SHULER, A.J., LEFFLER, J.W., BROWDY, C.L., 2009. Microbial ecology and management of biofloc systems. In: Browdy, C.L., Jory, .E. (Eds.), *The Rising Tide, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Farming*. **World Aquaculture Society**, Baton Rouge, Louisiana, USA, pp. 231–242.

REED, S.C.; CRITES, R.W.; MIDDLEBROOKS, E.J. **Natural systems for waste management and treatment**. 2ªEd. New York: McGraw-Hill, 1995.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.A.; COSTÓDIO, P.F.S.; SANTO, C.M.E.; ARANA, L.A.; SEIFFERT, W.Q.; ANDREATT, E.R. Effect of

different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. **Aquaculture Engineering**, n. 56, p. 59-70, 2013.

SEIFFERT, W. Q.; BELTRAME E.; ANDREATTA E.R.; MAGGIONI, D. Enfermidades: uma oportunidade para repensar o cultivo de camarões marinhos. **Panorama da Aquicultura**, v.16, n.97, p. 32-38, 2006.

SILVA, R. F. da. Compostagem e solarização para higienização de lodo de esgoto e uso no cultivo de cássia amarela (*Senna siamea* Lam). 2007. f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2007.

SUMMERFELT, S.T.; ADLER, P.R.; GLENN, D.M.; KRETSCHMANN, R.N. Aquaculture sludge removal and stabilization within created wetlands. **Aquaculture Engineering**, v. 19, n.2, p. 81–92, 1999.

TSANG, K.R.; VESILIND, P.A. Moisture distribution of sludges. **Water Science and Technology**, v. 22, n. 12, p. 135–142, 1990.

TWAROWSKA, J.G.; WESTERMAN, P.W.; LOSORDO, T.M. Water treatment and waste characterization of an intensive recirculating fish production system. **Aquaculture Engineering**, n. 16, p.133–147, 1997.

UGGETTI, E.; FERRER, I.; LLORENS E.; GARCÍA, J. Sludge treatment wetlands: a review on the state of the art. *Biores. Technol.*, n. 101, p. 2905–2912, 2010.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (including domestic septage). Environmental regulations and technology. EPA, 2003.

VAN HAANDEL. A. C; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos - Um manual para região de clima quente**. Campina Grande: 1994.

VAXELAIRE, J.; CEZAC, P. Moisture distribution in activated sludges: A review. **Water Research**, v. 38, n. 9, p. 2214-2229, 2004.

Water Science & Technology, v.40, n.8, p.211-219, 1999.

WELCH, E. B.; LINDELL, T. **Ecological effects of wastewater. Applied limnology and pollutant effects.** London: Chapman & Hall, 1992. p. 76–81.

WHEATON, F.W. **Aquacultural Engineering.** Chichester, UK: Wiley, 1977.

YAMAOKA, M.; HATA, K. Improvements in drying beds for non-concentrated sludge. **Advances in Environmental Research**, n. 7, p. 721–725, 2003.