

1112 - OTIMIZAÇÃO DE LEITOS DE SECAGEM PARA O TRATAMENTO DO LODO PROVENIENTE DA CARCINICULTURA EM SISTEMA BIOFLOCOS

Katt Regina Lapa⁽¹⁾

Engenheira civil, mestre e doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento (USP). Pós-doutora em Engenharia Ambiental pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa (MARETEC-IST-ULisboa). Atualmente é Professora Associada da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Florianópolis, atuando na área de Sistemas de Recirculação Aquícola e Saneamento Aquícola. Coordenadora do Grupo de Pesquisa em Engenharia Hidráulica e Saneamento Aquícola (GEEHSA) da pós-graduação em Aquicultura da UFSC.

Yuri Malaquias Gauglitz Gatto⁽²⁾

Engenheiro de Aquicultura (UFSC). Mestrado em Aquicultura e Recursos Pesqueiros pelo Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atualmente é líder de P&D da Villa Camarão, Salvador, BA; e coordenador técnico da Moana Aquacultura Ltda, Canéia, SP.

Arcângelo Loss⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRJ (2005) e Mestrado (2008), Doutorado (2011) e Pós-Doutorado (2012) em Agronomia (Ciência do Solo) pela UFRJ. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, atuando na área de Gênese, Morfologia e Classificação de Solos da Pós-graduação em Agroecossistemas da UFSC.

Maria Fernanda Oliveira da Silva⁽⁴⁾

Engenheira de Aquicultura pela Universidade Federal de Santa Catarina (2011), Mestrado em Aquicultura (2013) e Doutorado em Aquicultura (2023) pela mesma Universidade. Servidora Técnica na Área de Engenharia/Pesca na UFSC atuando no Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI) desde 2014.

Suhellen Barcelos⁽⁵⁾

Engenheira de Aquicultura pela Universidade Federal de Santa Catarina (2016), Técnica em Saneamento pelo IFSC (2017), MBA em gestão da Qualidade pela Unyleya (2020), Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Uniassilve (2024). Atualmente é coordenadora de qualidade de água e tratamento de efluentes sanitários do grupo Habitasul.

Endereço⁽¹⁾: Laboratório AQUOS, Servidão Caminho do Pôrto, fundos – Itacorubi, Florianópolis – Santa Catarina – Brasil - 88034-257 - Tel: +55 (48) 99928-6663 - e-mail: katt.lapa@ufsc.br

RESUMO

A tecnologia de bioflocos (BFT) é reconhecida como importante ferramenta na intensificação da produção de camarões marinhos *Penaeus tila* por proporcionar maiores produtividades, reduzindo a disseminação de doenças e o uso de recursos ambientais. Apesar das vantagens do modelo e suas vertentes, observam-se gargalos na destinação do seu principal passivo ambiental: o lodo proveniente das remoções do excesso de sólidos em suspensão. A inadequada destinação do lodo, material rico em nutrientes, pode levar a eutrofização de corpos hídricos causando prejuízos ambientais, econômicos e sociais. O estudo visou avaliar a eficácia de leitos de secagem, em escala piloto, para desidratar o lodo proveniente do cultivo de *P. vannamei* em sistema BFT, com objetivos de reduzir a produção de efluentes, concentrar sólidos e estabilizar o lodo através da diminuição de SST, compostos nitrogenados, fósforo total e demanda química de oxigênio. Foram construídos em escala piloto, seis leitos de secagem de 0,25 m² para o desaguamento, testando dois tratamentos com três repetições cada, sendo i) taxa de aplicação de 8,6 kg SST m⁻² e ii) taxa de aplicação de 11,5 kg SST m⁻². Semanalmente, coletas de percolado (fração líquida) foram realizadas para posterior análise dos parâmetros físico-químicos da água. Após a estabilização do teor de umidade (29 dias), amostras da torta de lodo (fração sólida) foram coletadas para realizar análise da composição centesimal e parâmetros físico-químicos do solo. Os resultados obtidos indicam a redução de 97% de fósforo total (P total) no percolado, a redução de 87% na demanda química de oxigênio (DQO) e 57% na concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT), além da redução de 20 vezes no volume total de sólido, em ambos os tratamentos, comparados aos parâmetros do lodo inicial. As taxas de aplicação de 8,6 e 11,5 kg SST m⁻² foram eficientes na redução do efluente final do cultivo de *P. vannamei* em sistema BFT em leitos de secagem após 29 dias, independente da taxa de aplicação utilizada.

PALAVRAS-CHAVES: Aquicultura; Carcinicultura intensiva; *Penaeus vannamei*; Tratamento de efluentes.

INTRODUÇÃO

A aquicultura, setor crucial na produção alimentar global, desempenha um papel significativo no suprimento de pescados para a crescente demanda da população (FAO, 2022). O rápido crescimento da indústria aquícola enfrenta desafios ambientais, sendo a produção de efluentes um dos aspectos mais importantes. À medida que as operações se expandem para atender à demanda por proteínas, a produção de efluentes pode ter impactos substanciais nos ecossistemas aquáticos circundantes. A produção de efluentes, como um subproduto inevitável da aquicultura intensiva, é reconhecida como uma fonte potencial de degradação ambiental (MOLNAR *et al.*, 2013). Esses efluentes, compostos por resíduos orgânicos e nutrientes (CHEN, 1997) podem impactar negativamente os ecossistemas aquáticos. Essa problemática ressalta a necessidade de estratégias de gestão sustentável para a conservação ambiental na aquicultura, tendo papel crucial para assegurar a continuidade do setor. Como uma estimativa da importância do tema, para cada 1,0 kg de camarão produzido são gerados em torno de 0,16-0,25 kg de sólidos suspensos totais (SST) (EBBELING, 2006; ARANTES *et al.*, 2013). Nesse contexto, apenas no Brasil, convertendo-se a produção brasileira de camarões em 2022 de 113,3 mil toneladas (IBGE, 2023), estima-se a geração de cerca de 28,35 mil toneladas de SST anualmente.

A carcinicultura é uma das atividades do agronegócio com maior expansão na última década, alcançando crescimento médio de 5,2% ao ano e produção de 6,5 milhões de toneladas em 2019 (FAO, 2022). Tal resultado provém dos esforços de produção principalmente no sudeste Asiático e América Latina, em conjunto da demanda dos principais consumidores: Estados Unidos da América, China, Espanha e Japão, impulsionando a indústria (FAO, 2020). Apesar da alta taxa de crescimento, a atividade enfrenta constantes desafios sanitários devido ao acometimento de enfermidades causando perdas e prejuízos econômicos aos empreendimentos. Dentre as soluções para mitigação de doenças, muitos países têm adotado a intensificação do cultivo com avanço em protocolos de biossegurança, tratamento prévio de água e uso de pós-larvas de rápido crescimento e/ou SPF (do inglês, *Specific Pathogen Free*), o que pode permitir cultivos mais estáveis e previsíveis (TAW, 2010).

Neste contexto, a intensificação do cultivo de camarões desenvolveu-se em duas principais vertentes: (i) a tecnologia Bioflocos (do inglês, *Biofloc Technology* - BFT) com maturação microbiana e redução das trocas de água; (ii) cultivos com altas renovações, baixa carga bacteriana e baseado na limpeza constante dos fundos nos “*shrimp toilets*” (AVNIMELECH *et al.*, 2012; EMERENCIANO *et al.*, 2022). Dentre os modelos, o BFT possui como princípios o controle da relação C/N (carbono/nitrogênio) e a intensificação da aeração (>30 HP/ha) com movimentação constante da coluna de água. Essa movimentação possibilita o desenvolvimento de uma comunidade de organismos vivos (bactérias, cianobactérias, microalgas, fungos, protozoários, nematoides e rotíferos) e não vivos (restos de ração, matéria orgânica e nutrientes dissolvidos) em forma de macro agregados microbianos conhecidos como bioflocos. (AVNIMELECH *et al.*, 2012; SAMOCHA *et al.*, 2017). A presença deste conjunto de microrganismos participa do controle de compostos nitrogenados (ex. vias de biossíntese pelas microalgas, hidrólise e assimilação bacteriana, nitrificação e desnitrificação) com limitado uso de água, permitindo menores produções de efluentes, além da reciclagem de nutrientes pela alça microbiana através do pastoreio dos flocos pelos camarões (HARGREAVES, 2013).

Embora a tecnologia BFT possua positivo apelo ambiental entre pesquisadores, produtores e órgãos ambientais licenciadores, a destinação do lodo excedente durante a produção ainda é um importante aspecto a ser gerido e desenvolvido. Como prática operacional dos cultivos intensivos, o excesso de sólidos suspensos totais (SST) é concentrado e removido das unidades de produção ao atingir concentrações limitantes ao desenvolvimento dos animais e à qualidade de água (SCHVEITZER, *et al.* 2013). Ao decorrer do ciclo de cultivo, com o crescimento da biomassa de camarões, maiores cargas de ração e nutrientes são aportadas resultando no desenvolvimento da produtividade natural e consequente aumento na concentração de SST (GAONA *et al.*, 2015). Devido à limitação no uso de água do sistema BFT, ocorre o acúmulo de SST e caso não sejam feitas intervenções de manejo pode acarretar concentrações que causam a obstrução das brânquias dos camarões, pressão excessiva no sistema de aeração, desbalanço na comunidade microbiana e, por fim, prejuízo ao desenvolvimento e saúde dos animais (RAY; DILLON; LOTZ, 2011). Neste sentido, definir estratégias de remoção, tratamento e disposição ao meio ambiente são premissas operacionais básicas e importantes para minimizar impactos às áreas próximas. Tipicamente, a fração de lodo produzido por produções intensivas da carcinicultura são caracterizadas por altas concentrações de compostos nitrogenados (ex. nitrogênio amoniacal total, nitrito e nitrato), fosfatos, sólidos totais, demanda biológica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO) e carbono orgânico total (COT) (HOPKINS *et al.* 1994; ARANTES *et al.*, 2014). A inadequada disposição dos efluentes pode levar a eutrofização do corpo hídrico receptor com o aumento na disponibilidade de nutrientes, favorecimento de floração algal, depleção das concentrações de oxigênio dissolvido e degradação da comunidade bentônica. Como resultado geral, tal evento prejudica a qualidade de água impactando na riqueza e abundância das espécies presentes no ambiente

aquático.-

No Brasil, a disposição de efluentes para aquicultura é regulamentada pela Resolução CONAMA n°430/2012 que define padrões de lançamento exigidos durante as etapas de licenciamento ambiental, outorga de captação de água e outorga de lançamento de efluentes (CONAMA, 2011). O efluente da carcinicultura intensiva, por sua vez pode ser dividido em dois tipos: (i) o primeiro provém das drenagens de fundo dos tanques de cultivo e/ou do acúmulo em sedimentadores, chamados costumeiramente de lodo; (ii) e o segundo provém das ações de despescas e renovações de água, chamados costumeiramente de efluentes. Para o contexto dos sistemas intensivos e das tecnologias para tratamento de águas residuárias e reuso, o lodo possui menor volume (m^3) e altas concentrações de nutrientes (mg L^{-1}), enquanto os efluentes oriundos de despescas possuem maior volume e menores concentrações de nutrientes.

Além disso, o adequado tratamento de águas residuárias é exigido para as principais certificações internacionais como BAP (do inglês, *Best Aquaculture Practices*) e ASC (do inglês, *Aquaculture Stewardship Council*) sendo imprescindível para abertura de canais de exportação, além da exigência cada vez maior por clientes no mercado externo por produtos de origem sustentável. Nesse contexto, inclui-se o olhar atrativo de fundos de investimento com foco ao ESG (do inglês *Environmental, Social and Corporate Governance*) para projetos/empreendimentos que tenham em seus pilares as premissas de preservação ambiental.

OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade do uso de leitos de secagem como alternativa para a desidratação do lodo gerado no cultivo de *Penaeus vannamei* em sistema de bioflocos (BFT), visando a mitigação dos impactos ambientais causados pelos efluentes da carcinicultura.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para isso, foram quantificados os volumes de efluentes gerados, construídos e operados leitos de secagem em escala piloto com avaliação de parâmetros físico-químicos do lodo e do percolado, comparados dados do lodo de BFT com os de uma estação de tratamento de esgoto sanitário em escala comercial, mensurado o tempo de estabilização da desidratação e analisado o potencial de reaproveitamento da torta de lodo por meio de sua composição centesimal.

METODOLOGIA UTILIZADA

O período experimental foi dividido em três fases, a primeira sendo a coleta de lodo dos tanques de produção de camarões marinhos em Bioflocos, enquanto a segunda foi feita para a desidratação de lodo nos leitos de secagem. A terceira e última fase foi realizada na ETE de esgoto sanitário para obtenção de dados comparativos ao uso da tecnologia de leitos de secagem.

Primeira fase - Coleta de lodo

A primeira fase do estudo foi realizada no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Os tanques utilizados para a coleta de lodo do presente estudo fazem parte da Unidade Didática Piloto - LCM/UFSC (Figura 1), onde é feita a engorda de camarões marinhos com objetivo de comercialização. Para isto, são utilizados os manejos tradicionais de produção em Sistema Bioflocos, ampliando a tecnologia produzida pelo laboratório e servindo como unidade demonstrativa aos alunos, indústria e comunidade.

A coleta de lodo foi realizada em seis tanques de produção de fibra de vidro com volume total de 50 m^3 e volume útil de 40 m^3 cada. Para a coleta de lodo, o manejo do cultivo de camarões foi mantido na rotina de trabalho no LCM/UFSC entre os meses de janeiro a março de 2023. Os tanques estavam povoados com camarão-branco-do-pacífico, em densidade de estocagem semelhantes ($350 \text{ camarões m}^{-3}$), abastecidos com 20% de inóculo proveniente de tanques de cultivo com bioflocos maduro, água marinha captada da praia da Barra da Lagoa, Florianópolis (SC) e água doce captada das chuvas. Os camarões foram alimentados com ração comercial Guabi® Poti-Mirim (35% de Proteína Bruta) a lanço e em bandejas de alimentação para realizar ajustes de quantidade quando necessário. Para o fornecimento de ração utilizou-se a tabela de alimentação de Van Wyk & Scarpa (1999), ajustados de acordo ao consumo observado e aos parâmetros de qualidade de água.

Figura 1. Unidade Didática Piloto de cultivo de camarões marinhos no LCM/UFSC utilizado para avaliar a produção e coleta de lodo.



Fonte: arquivo pessoal.

A Unidade Didática possui cobertura em estufa agrícola para manutenção da temperatura e tela sombrite (40%) para diminuição da incidência solar. A aeração era feita por soprador de ar com difusão utilizando dois grupos de grade de aeração com mangueira porosa, sendo uma instalada na lateral provocando movimentação de água no sentido tangencial, e outra ao centro do tanque, sobreposta ao dreno central, para movimentação vertical da água. Os tanques de produção possuíam sedimentadores radiais com volume de aproximadamente 600 L para redução da concentração de SST durante o cultivo, abastecidas através de bomba submersível ($0,35 \text{ L s}^{-1}$). As coletas foram realizadas diretamente nos sedimentadores (Figura 2 e 3), de acordo com a necessidade de retiradas de SST da água de cultivo.

Os valores utilizados para o acionamento dos sedimentadores foram determinados pelo protocolo estabelecido pelos técnicos do LCM, de acordo com SCHVEITZER, *et al.* (2013) e GAONA *et al.*, (2015), de 300 a 500 mg L^{-1} de SST para a manutenção da qualidade de água do cultivo. A análise de SST foi realizada duas vezes por semana (segunda-feira e quinta-feira) pelo Laboratório de Qualidade de Água/LCM. A metodologia utilizada para análise de determinação da concentração de SST foi APHA 2540 D (2017) com adaptações, utilizando 90 minutos como tempo para secagem dos filtros de fibra de vidro.

O início das coletas de lodo foi previsto para coincidir com o aumento da biomassa estocada, na qual há maior fornecimento de ração, e consequentemente, maior produção de lodo no período de cultivo. No início das coletas os camarões possuíam em aproximadamente 2,5-5,0 gramas. Como forma de mensurar a produção de SST, foram avaliados: i) tempo diário de acionamento do sedimentador; ii) vazão de água empregada no sedimentador; iii) volume e concentração de lodo produzido; iv) concentração de SST no sobrenadante no sedimentador e estimativa do seu volume.

Figura 2. Sedimentador para remoção de SST e tanque para cultivo de camarões.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 3. Sedimentador (esquerda inferior) utilizado para as coletas de lodo proveniente dos tanques de cultivo de camarões em sistema BFT.

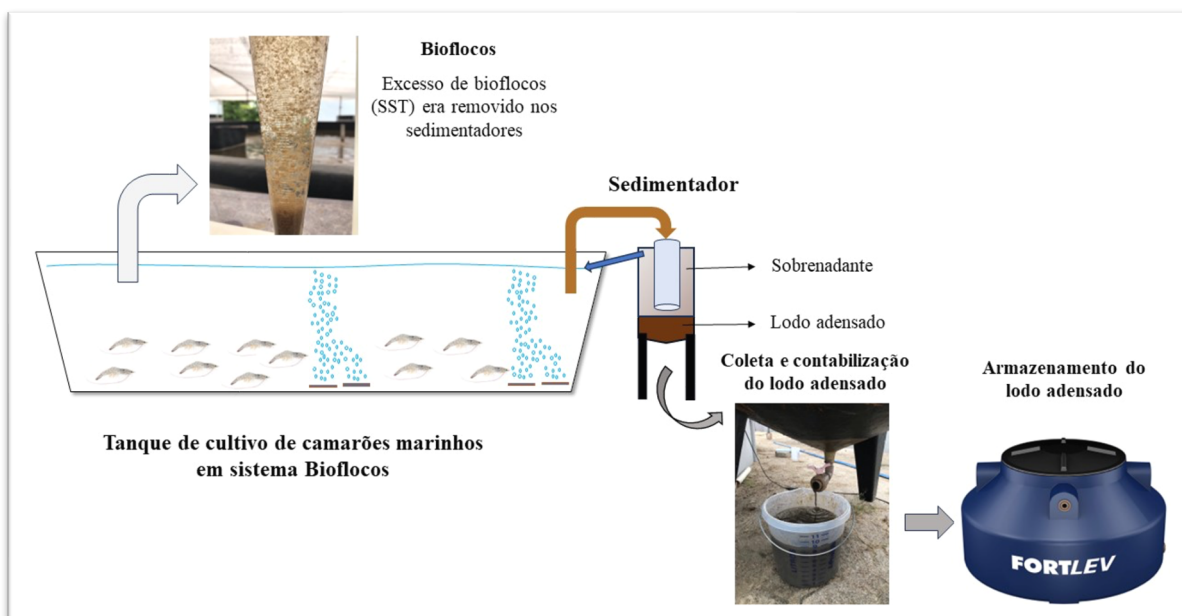


Fonte: Arquivo pessoal.

Método de coleta e armazenamento de lodo

O funcionamento dos sedimentadores eram realizados de acordo ao manejo proposto pelo LCM e aos resultados das análises de SST obtidos pelo seu Laboratório de Qualidade de Água (Figura 4). Os sedimentadores tinham como ciclo de funcionamento o início da manhã (8h) e a conclusão ao fim da tarde (entre 16h e 17h), totalizando aproximadamente 9 h de trabalho. Para as coletas de amostras, após o ciclo de sedimentação, o bombeamento era desligado e com auxílio de uma pá, a água do sedimentador era movimentada de forma a gerar força centrípeta e sedimentar as partículas de sólidos. Em seguida, o sedimentador era deixado em repouso por 40 minutos para decantação. Concluído esse período, ocorria o sifonamento do sobrenadante com uma mangueira de $\frac{3}{4}$ ", concentrando o lodo na porção cônica. Por fim, o lodo era movimentado para homogeneização e a coleta de amostras era realizada. O volume de lodo foi mensurado diariamente com um balde graduado de 10 L e transferido para duas caixas de água de 1.000 L. As caixas de armazenagem permaneciam fechadas durante o período de coleta até atingir o volume necessário a etapa de desidratação nos leitos de secagem. O período de coleta teve duração de 22 dias.

Figura 4. Descrição do método de coleta de lodo na Unidade Didática Piloto LCM/UFSC.



Fonte: desenho esquemático feito pelo autor.

Análises físico-químicas de água dos sedimentadores

As análises de oxigênio dissolvido e temperatura da água (oxímetro YSI 5520) e salinidade (YSI EC300A) foram feitas do sobrenadante dos sedimentadores e do lodo concentrado em cada coleta realizada nos sedimentadores da Unidade Didática – LCM. Os sólidos suspensos totais (SST) e os sólidos suspensos voláteis (SSV) (APHA 2017 – 2540D) foram analisados em duplicata para obtenção da média em cada coleta realizada nos sedimentadores. Para análise de SST foram utilizados filtros de fibra de vidro de $0,5\ \mu\text{m}$ (GF/C – Whatman™). Medidas de sólidos totais (ST) em secagem a 105°C em estufa (APHA 2540 B) e sólidos totais voláteis (SV) foram analisadas em triplicata para as amostras de lodo.

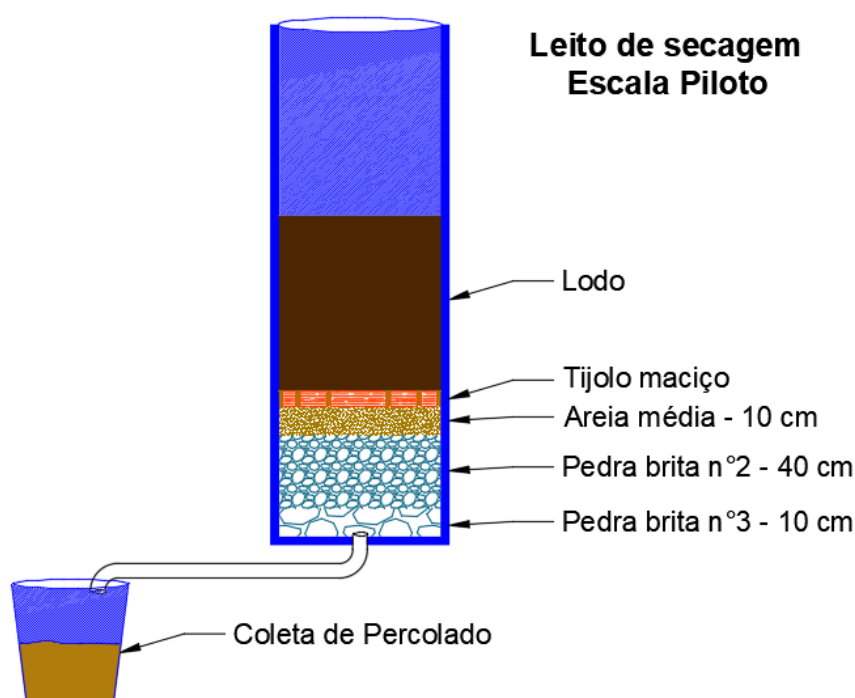
Segunda fase – desidratação de lodo de BFT nos leitos de secagem

A segunda fase do estudo foi realizada no Laboratório de Sanidade de Organismos Aquáticos (AQUOS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Os leitos de secagem utilizados para a desidratação de lodo do presente estudo foram montados com adaptações seguindo as orientações da norma ABNT NBR 12209 (2011). Para realização da segunda fase, o lodo armazenado no LCM/UFSC foi transportado com caixas de transporte tipo “*transfish*” para o AQUOS, e na sequência transferido para os leitos para o início do experimento. O experimento foi realizado entre 16 de março e 14 de abril de 2023 e com duração de 29 dias.

Unidades experimentais dos leitos de secagem

As unidades experimentais dos leitos de secagem (Figura 5) foram montadas com adaptações utilizando duas bombonas de polietileno 200 L cada, sobrepostas (176 cm de altura x 56 cm de diâmetro). Os leitos foram montados ao ar livre e adaptadas de acordo a norma ABNT NBR 12-209 (2011), construídos com: i) uma camada inferior de brita nº4 (camada suporte) com espessura de 10 cm; ii) uma camada intermediária de brita nº2 com espessura de 20 cm; iii) sob a camada de brita nº2, uma camada de areia média com 10 cm; iv) sob a camada de areia foram colocados tijolos maciços como material resistente à operação de remoção do lodo seco, estes tijolos foram instalados de forma intertravada com juntas de 2 cm cobertas com areia média; a área total de drenagem nos tijolos maciços era de 0,25 m² para cada leito de secagem. Foram construídos 6 leitos de secagem, os quais foram utilizados como unidades experimentais.

Figura 5. Esquema representativo dos leitos de secagem projetados para o desague de lodo com a demonstração do dimensionamento adotado das camadas drenantes e da caixa coletora do líquido percolado.



Fonte: arquivo pessoal.

O fundo dos leitos de secagem era plano e impermeável, ao qual foi fixada um flange com diâmetro de 50 mm foi fixada no fundo de cada leito, utilizada como coletor para o escoamento do líquido drenado (percolado). Cada leito de secagem contava com um recipiente volumétrico coletor para o percolado. O percolado era coletado com uma tubulação impermeável flexível com diâmetro de 50 mm e destinados a uma caixa de polietileno de 60 L. As caixas de coletas do percolado possuíam uma tampa impermeável limitando a evaporação, bem como a entrada de água proveniente da chuva.

Para determinação da carga a ser aplicada nos leitos de secagem, previamente ao experimento foi determinada a concentração de SST do lodo objeto de estudo, o qual estava armazenado. Na sequência, para o início do experimento foram utilizadas uma bomba submersível e uma caixa com volume conhecido para transferência do lodo e posterior abastecimento dos leitos de secagem com o lodo oriundo do cultivo de camarões em Sistema BFT. Como forma de confirmação das cargas aplicadas, coletas das amostras de lodo foram realizadas no início, meio e fim das aplicações, para adequada conferência da concentração de SST. Considerando a NBR 12-209 para a definição dos tratamentos, foram realizados 2 (dois) tratamentos em triplicata: (i) 8,6 kg de SST m⁻² e (ii) 11,5 kg de SST m⁻². Dessa forma, a quantificação de lodo utilizada nos tratamentos resume-se na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição do volume de lodo aplicado por cada tratamento realizado em triplicata.

Taxa de aplicação medida em SST	Leito de secagem 0,25 m²	Altura de lodo no leito de secagem
8,6 kg m ⁻²	183 L	45 cm
11,5 kg m ⁻²	228 L	61 cm

O percolado foi coletado nas caixas de drenagem individualizadas dos leitos de secagem uma vez ao dia (16 h). Com auxílio de um balde graduado de 10 L, o líquido drenado foi contabilizado e uma amostra separada para a posterior realização de análises físico-químicas.

Para o acompanhamento da estabilização da torta de lodo foi monitorado diariamente a sua altura (cm) com auxílio de uma vara de madeira e trena métrica. Em conjunto, era coletada uma amostra da torta de lodo a cada três dias para verificação da sua umidade através de secagem em estufa a 105 °C em triplicata conforme TEDESCO *et al.* (1995). Dados meteorológicos como pluviosidade e temperatura do ar foram obtidos da Estação Meteorológica do Itacorubi operado pela EPAGRI/CIRAM (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina), a cerca de 1,0 km de distância do local de execução do experimento.

Terceira fase – avaliação da desidratação em leitos de secagem na ETE de esgoto sanitário

A terceira fase do estudo foi realizada na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da empresa Habitasul, localizada no bairro de Jurerê Internacional em Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. A unidade utiliza como processo de tratamento a tecnologia *Sequencing Batch Reactors* – SBR (do inglês, reatores em batelada sequencial). A ETE conta com 04 (quatro) biorreatores operando sequencialmente com fases aeróbias e anaeróbias de tratamento, estimulando intermitentemente a nitrificação e desnitrificação, e o consumo do material orgânico (DBO₅) pela biomassa de microrganismos presentes. A operação era totalmente automatizada, com monitoramento durante vinte e quatro horas diariamente.

Como tecnologia para desidratação de lodo, a ETE contava com 06 (seis) leitos de secagem com dimensões de 10 x 10 m e cerca de 1,20 m de altura. O abastecimento dos leitos de secagem era feito da drenagem de fundo dos reatores de forma automatizada. O enchimento dos leitos era realizado de forma contínua até o preenchimento de toda sua altura útil para posterior secagem e destinação da torta ao aterro sanitário. O período para estabilização da torta em cada leito de secagem era de aproximadamente 3 a 4 meses para atingir a umidade de 80%, segundo as informações dos operadores da ETE Habitasul. A drenagem do percolado dos leitos era concentrada em um único ponto, no qual uma bomba submersível era responsável por enviar o líquido drenado aos reatores novamente.

Com objetivo de comparação da tecnologia de desidratação em leitos de secagem de lodo proveniente de ETE's em relação ao lodo da carcinicultura marinha em sistema BFT foram realizadas coletas de esgoto sanitário na ETE Habitasul. Na ETE foram coletadas amostras de: (i) lodo de fundo dos reatores – entrada dos leitos de secagem; (ii) percolado dos leitos de secagem; (iii) torta de lodo desidratada – estabilizada. As amostras de lodo e percolado foram coletadas por 8 (oito) dias, entre os dias de 11 de julho a 21 de julho de 2023. Enquanto, as amostras da torta foram obtidas de (2) leitos de secagem com o material estabilizado. Para fim de realização das análises as amostras coletadas foram transformadas em uma amostra composta analisada em triplicata para os parâmetros descritos a seguir.

Análises físico-químicas

a) Abastecimento dos leitos de secagem - Lodo da carcinicultura em Sistema BFT e Lodo ETE.

Ao início do experimento medidas de oxigênio dissolvido, temperatura da água, pH e salinidade (Hanna HI9829) foram obtidas do lodo de abastecimento dos leitos de secagem. Os sólidos suspensos totais (SST) e os sólidos suspensos voláteis (SSV) (APHA 1998 – 2540D) foram analisados em triplicata para obtenção da média de

abastecimento. Para análise de SST foram utilizados filtros de fibra de vidro de 0,5 μm (GF/C – Whatman™). Medidas de sólidos totais (ST) em secagem a 105 °C em estufa (APHA 2540 B) e sólidos totais voláteis (STV) foram analisadas em triplicata para as amostras de lodo.

b) Percolado dos leitos de secagem e Lodo da carcinicultura em Sistema BFT

Em cada coleta do percolado medidas de oxigênio dissolvido, temperatura da água, pH e salinidade (Hanna HI98194) foram obtidas. Para realização dos demais parâmetros físico-químicos as amostras foram conservadas em geladeira após a redução do pH a 2,0 para limitação da atividade microbiana seguindo as orientações do fabricante Hach. Amostras semanais compostas foram analisadas, nitrogênio total (Qualykits) nitrogênio amoniacal total (Qualykits), nitrato (Supelco), fósforo total (Hach) e DQO (Hach) foram analisados em espectrofotômetro (Hach DR 3900).

As análises centesimais foram realizadas das tortas de lodo da carcinicultura marinha em sistema BFT e da torta de lodo da ETE da Habitasul, e seguiram os procedimentos padronizados pela “Association of Official Analytical Chemists” (AOAC, 1999): umidade (secagem a 105°C até peso constante, método 950.01), extrato etéreo (gordura) (Soxhlet, método 920.39C) e cinzas (sólidos fixos) (incineração a 550 °C, método 942.05). Proteína bruta foi determinada pelo analisador de nitrogênio, marca LECO (modelo FP-528). As análises centesimais foram realizadas pelo Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LABNUTRI - UFSC), Florianópolis, Santa Catarina.

Foram realizadas análises físico-químicas da torta de lodo para verificação do seu potencial para culturas agrícolas, bem como, substrato e fertilizante orgânico, conforme descrito abaixo:

Densidade da torta de lodo:

A análise de densidade foi realizada das tortas de lodo da carcinicultura marinha em sistema BFT e da ETE da Habitasul. Esta análise foi feita por meio da coleta das amostras indeformadas, no sentido vertical para a determinação da densidade do solo (D_s). O método utilizado foi do anel volumétrico (Kopecky), que possui volume conhecido (88,20 cm^3), a D_s (g/cm^3) foi calculada pela equação: $D_s = M_s / V_s$; onde M_s = massa seca do solo, em g; e V_s = volume do solo, em cm^3 , conforme descrito em EMBRAPA (1997).

Caracterização do complexo sortivo:

As análises de caracterização do complexo sortivo do solo foram realizadas nas tortas de lodo da carcinicultura marinha em sistema BFT e na torta de lodo da ETE de esgoto sanitário. As análises seguiram procedimentos padronizados por TEDESCO *et al.* (1995): pH em água (acidez potencial pela mudança de pH em solução tamponada); fósforo (P), potássio (K^+) e sódio (Na^{2+}) disponíveis (método do extrator duplo ácido - Mehlich-1); teores trocáveis de Ca^{2+} , Mg^{2+} (extração do solo com sais neutros); teores trocáveis de Al^{3+} , H^+ + Al^{3+} (titulação ácido-base); condutividade elétrica do solo (extrato de saturação). As análises foram realizadas pelo Laboratório de Solos da EPAGRI, Santa Catarina.

Determinação dos teores de carbono e nitrogênio no solo:

O teor de matéria orgânica (MO) foi determinado pelo método de oxidação da MO do solo por solução sulfocrômica com calor externo e determinação no espectrofotômetro de acordo a TEDESCO *et al.* 1995. O teor de nitrogênio total (NT) do solo foi determinado pelo método de Kjeldahl seguindo as determinações de TEDESCO *et al.* (1995). As análises foram realizadas pelo Laboratório de Solos da EPAGRI, Santa Catarina.

Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Levene para verificar a normalidade e homoscedasticidade, respectivamente. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância ANOVA unifatorial e as variáveis de qualidade da água (percolado) foram analisadas por ANOVA unifatorial de medidas repetidas. Quando diferenças estatísticas foram detectadas, os dados foram submetidos ao teste post-hoc de Tukey ao nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Os resultados do monitoramento da coleta de lodo na Unidade Didática Piloto no LCM/UFSC são demonstrados nas Tabelas 2 e 3. O lodo adensado apresentou O.D. médio de $0,23 \pm 0,05$ (mínimo $0,15 \text{ mg L}^{-1}$; máximo $0,28 \text{ mg L}^{-1}$), enquanto o sobrenadante apresentou O.D. superior, com média $dw \ 3,16 \pm 0,80 \text{ mg L}^{-1}$. O valor médio de SST no lodo adensado proveniente do BFT variou entre 26537 e 45631 mg L^{-1} . A relação entre SF e SV foi de 45,3%, demonstrando alta proporção de digestão.

Tabela 2. Resultados de qualidade de água do monitoramento nos sedimentadores.

Parâmetro	Lodo adensado	
	Média	Mínimo - Máximo
SST (mg L^{-1})	34279 ± 5811	26537 ± 45631
ST (g L^{-1})	$66,1 \pm 3,5$	$60,3 - 73,5$
SV (g L^{-1})	$21,1 \pm 1,9$	$17,5 - 24,8$
SF (g L^{-1})	$45,7$	$43,8 - 50,3$
SV / SF	$45,3 \pm 4\%$	$39,5 - 50,9\%$

OBS: N amostral de 12 coletas.

A produção de efluentes proveniente do cultivo intensivo do *P. vannamei* acumulou 1.775,5 L no período de 30 dias de coleta. Em quilos, o acumulado representou 60,86 kg. A estimativa de sobrenadante para a quantidade acumulada foi de 10824 L e foi realizada através do seguinte cálculo: Sobrenadante (L) = (Número de coletas x Volume estimado do sedimentador) – Volume de lodo coletado.

Tabela 3. Resultados da produção de efluentes no cultivo de camarões em sistema BFT.

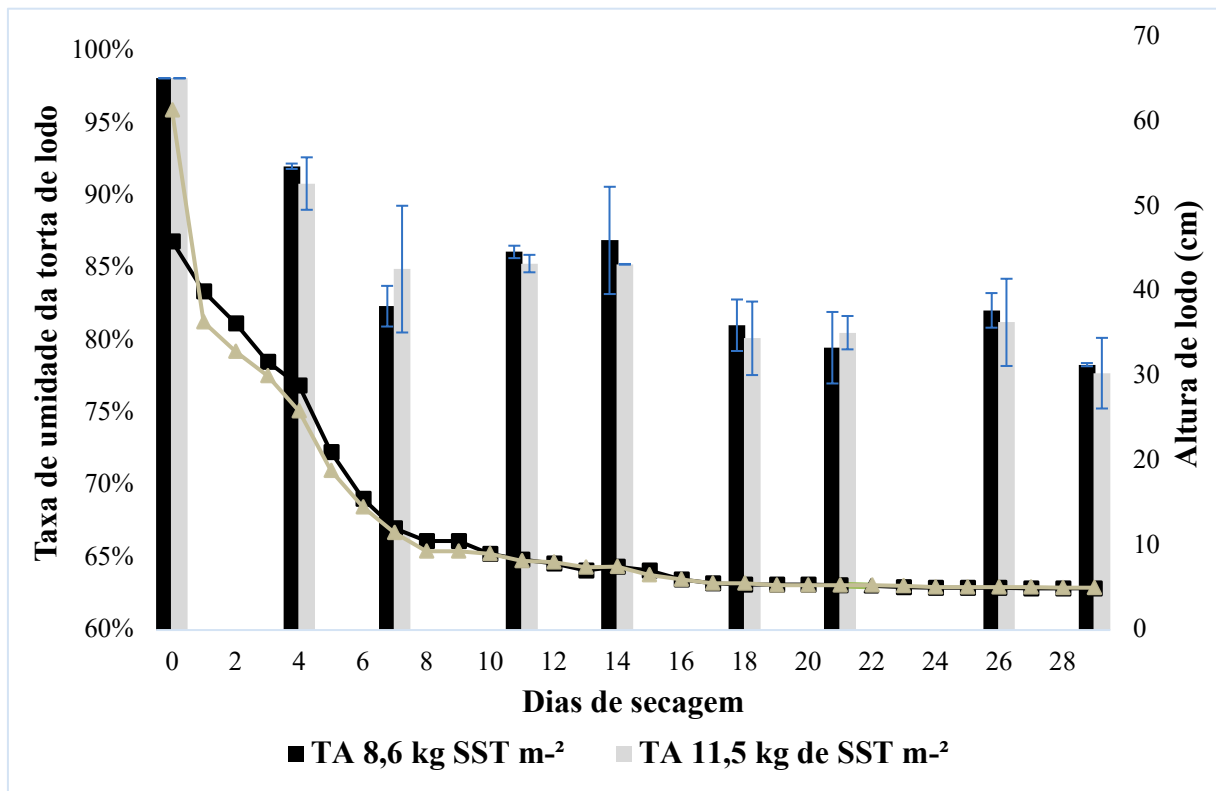
	Lodo concentrado	Sobrenadante	Total
Volume (L)	1.775,5	10.824*	12600*
SST médio (mg L^{-1})	34.279 ± 5.811	-	-
kg de SST	60,86	-	-

***Estimativa de acordo ao volume dos sedimentadores menos o volume de lodo medido.**

Os resultados da desidratação de lodo da carcinicultura em sistema BFT estão apresentados nas Figuras 6 e 7. O período de desidratação da torta de lodo de ambos os tratamentos teve duração de 29 dias. De acordo com a figura 6, houve o decréscimo na altura do lodo em ambos os tratamentos. O tratamento com a taxa de aplicação de $11,5 \text{ kg SST m}^{-2}$ obteve uma redução acentuada no primeiro dia após a aplicação, entretanto após o segundo dia, o comportamento de redução da altura de lodo se equiparou entre os tratamentos. O decréscimo da altura do lodo ocorreu de forma mais acentuada até o 8º dia, e após esse período a diminuição ocorreu de forma atenuada.

Após o 18º dia, pode-se observar a estabilização na altura de lodo para ambos os tratamentos. As taxas de umidade médias observadas nas tortas de lodo ao final do experimento foram de $78,3 \pm 0,1\%$ e $77,8\% \pm 2,4\%$ para os tratamentos com taxas de aplicação de $8,6 \text{ kg SST m}^{-2}$ e $11,5 \text{ kg SST m}^{-2}$, respectivamente.

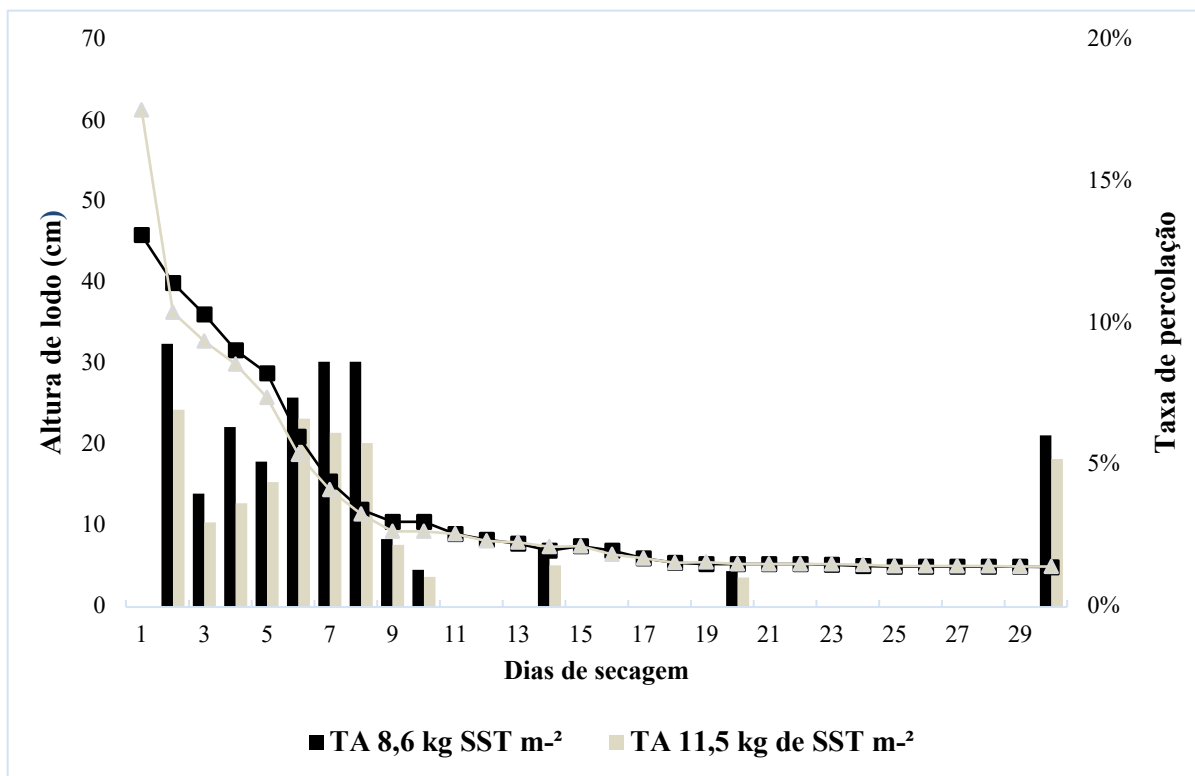
Figura 6. Umidade da torta de lodo em % e altura de lodo em cm monitorados durante o período de desidratação nos leitos de secagem. Barras significam a umidade e as linhas a altura da torta de lodo para as duas taxas de aplicação de lodo de BFT nos leitos de secagem.



A taxa de percolação (figura 7), valor referente ao volume de percolato dividido pelo volume de lodo inicialmente aplicado em cada tratamento, apresentou maior volume de drenagem de percolato até o 10º dia de desidratação de lodo em ambos os tratamentos. Posteriormente a este período observou-se limitadas drenagens de percolato nos leitos de secagem. O tratamento com a menor taxa de aplicação (8,6 kg de SST m⁻²), apresentou maior taxa de percolação no estudo realizado. Ao final do período experimental houve o registro da percolação acumulada da última semana, realizada em coleta única.

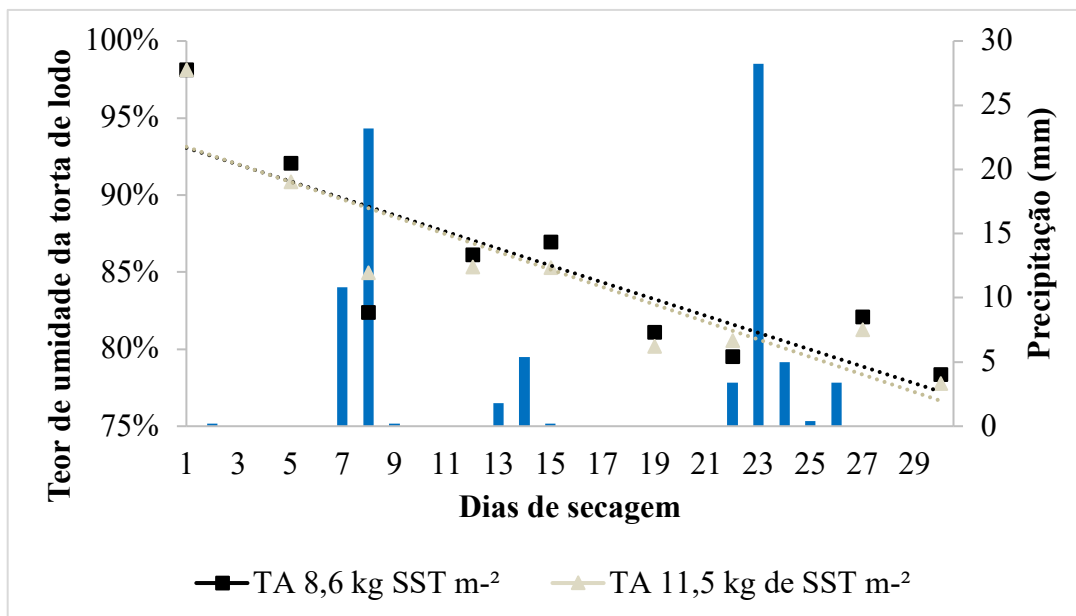
Durante o período experimental a taxa de pluviosidade mensurada pelo Estação meteorológica foi de 82,2 mm (Figura 8). A precipitação dividiu-se em 12 dias durante o período experimental. Após a precipitação, foi observada uma alteração no teor de umidade da torta de lodo em ambos os tratamentos.

Figura 7. Altura da torta de lodo e taxa de percolação durante a desidratação da torta de lodo nos leitos de secagem. Barras significam a umidade e as linhas a altura da torta de lodo para as duas taxas de aplicação de lodo de BFT nos leitos de secagem.



OBS: Devido as pequenas variações não foram incluídas as barras de desvios padrões.

Figura 8. Influência da precipitação na desidratação da torta de lodo da carcinicultura - Barras significam o índice de precipitação (mm) e os pontos o teor de umidade da torta de lodo.



OBS: Devido as pequenas variações não foram incluídas as barras de desvios padrões.

Os resultados de parâmetros físico-químicos obtidos dos sedimentadores da Unidade Didática Piloto LCM/UFSC para cultivo de camarões marinhos em sistema BFT e os resultados obtidos após a aplicação do lodo nos leitos de secagem estão apresentados na Tabela 4 e 5 e os parâmetros de NAT, P total e DQO também podem ser visualizados na Figura 9, no qual a coluna da direita demonstra a o percentual da redução dos parâmetros do tratamento do leito de secagem em porcentagem e as linhas apresentam os valores mensurados pelas análises físico-químicas.

Na tabela 5, podemos observar que o oxigênio dissolvido (OD) mensurado no lodo inicial foi próximo a zero. Após a aplicação do lodo nos leitos de secagem, com a separação das frações sólida e líquida, os níveis de oxigênio dissolvido aumentaram ao longo das semanas, atingindo os valores finais de $11,9 \pm 0,8$ e $11,87 \pm 1,1$ mg L⁻¹ para os tratamentos, respectivamente. A salinidade inicial do lodo de BFT era de 30,4 g L⁻¹ porém, após 4 semanas de tratamento nos leitos de secagem, observou-se uma redução da salinidade no percolado em relação ao lodo inicial. Essa redução pode estar atrelada a fixação de minerais na torta (parte sólida) e também devido a precipitação ao longo do período experimental.

O valor de SST para o lodo inicial do BFT foi de 18.608 ± 427 mg L⁻¹ diferindo estatisticamente dos valores de SST em ambos os tratamentos, a partir da Semana 1. Os resultados de SST nos tratamentos 8,6 kg SST m⁻² e 11,5 kg SST m⁻² apresentaram valores de $609,2 \pm 104,5$ e $378,5 \pm 174,1$ mg L⁻¹ demonstrando um decréscimo de 30 e 49 vezes, respectivamente, já na primeira semana após a aplicação nos leitos de secagem, em comparação ao SST do lodo inicial. Ao final do período experimental, o SST de cada tratamento foi de $206,0 \pm 54,0$ e $228,0 \pm 4,0$ mg L⁻¹.

Os valores demonstram o decréscimo de NAT diferindo estatisticamente entre o período da coleta inicial do lodo de BFT ($191,1 \pm 22,4$ mg L⁻¹) para o período final, para ambas taxas de aplicação no leito de secagem, chegando a valores de $52,1 \pm 34,7$ e $43,2 \pm 12,4$ mg L⁻¹ respectivamente. O comportamento de decréscimo de NAT ocorreu de forma similar para ambos os tratamentos durante o processo de desidratação do lodo (Fig. 8). O decréscimo da concentração de NAT foi de cerca de 70 e 80%, durante os 29 dias experimentais do lodo inicial para o percolado, resultando em um efluente de tratamento final simplificado em relação ao lodo bruto.

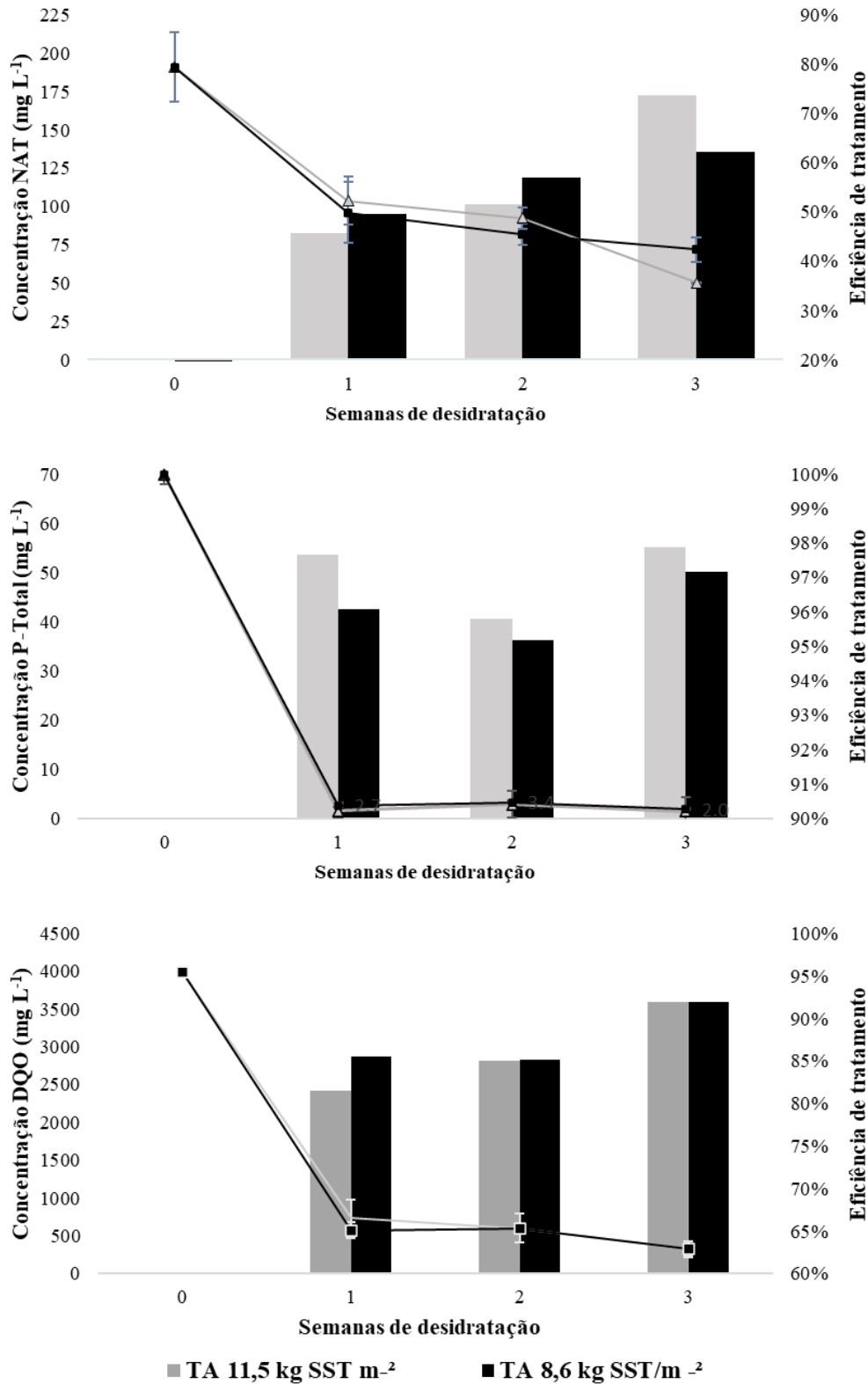
O lodo inicial proveniente do sistema BFT apresentou concentração média de sólidos totais (ST) de $52,88 \pm 0,08$ g L⁻¹. A fração de sólidos voláteis (SV) foi de $14,28 \pm 0,57$ g L⁻¹, enquanto os sólidos fixos (SF) totalizaram $38,61 \pm 0,49$ g L⁻¹. A razão entre sólidos voláteis e totais (SV/ST) foi de $0,37 \pm 0,02$. A porcentagem de sólidos voláteis em relação aos sólidos totais (SSV) foi de $47 \pm 1,6\%$.

Tabela 4. Descrição dos parâmetros físico-químicos observados nos leitos de secagem.

Parâmetro	Semana 0	Semana 1		Semana 2		Semana 3 e 4		Valor de p**		ETE Habitasul***	
	Lodo inicial BFT	8,6 kg m ⁻²	11,5 kg m ⁻²	8,6 kg m ⁻²	11,5 kg m ⁻²	8,6 kg m ⁻²	11,5 kg m ⁻²	trat	tempo	interação	Lodo Reator
OD (mg L ⁻¹)	0,11	0,98±0,3 ^b	1,08±0,8 ^b	2,04±0,3 ^b	2,58±0,7 ^b	11,9±0,8 ^a	11,87±1,1 ^a	0,47	<0,01	0,81	0,01±0,02
Sal. (g L ⁻¹)*	30,5	24,0±2,0 ^a	24,4±0,8 ^a	27,19±1,6 ^a	25,16±3,2 ^a	11,12±0,5 ^b	11,74±1,4 ^b	0,63	<0,01	0,47	0,67±0,03
pH	8,01	7,91±0,1 ^a	7,90±0,1 ^a	8,42±0,1 ^b	8,38±0,1 ^b	8,43±0,1 ^b	8,60±0,3 ^b	0,18	<0,01	0,54	6,77±0,11
Temp. (°C)	28,9	32,08±0,3 ^a	31,98±1,1 ^a	27,11±0,2 ^b	26,67±0,5 ^b	22,73±0,1 ^c	22,67±0,2 ^c	0,50	<0,01	0,76	21,3±0,9
ORP (mV)	-42,5	-127,26±23,8 ^b	-115±133,8 ^b	-22,78±53,2 ^b	-53,56±5,6 ^b	83,33±10,2 ^a	82±2,6 ^a	0,85	<0,01	0,79	-25±9
N-total (mg L ⁻¹)	-	236,3±19,8 ^a	258,7±12,7 ^a	251,6±53,3 ^a	219,6±10,1 ^a	197,4±79,3 ^b	128,1±44,9 ^b	0,07	<0,01	0,50	431,6±62,1
SST (mg L ⁻¹)	18.608±427 ^a	609,2±104,5 ^b	378,5±174,1 ^b	399,9±116,6 ^b	444,5±42,5 ^b	206,0±54,0 ^b	228,0±4,0 ^b	0,60	<0,01	0,75	8.953±900
NAT (mg L ⁻¹)	191,05±22,4 ^{3a}	110,1±27,8 ^b	103,8±15,6 ^b	82,1±8,1 ^{bc}	72,6±34,8 ^b	52,1±34,7 ^c	43,2±12,4 ^c	0,58	<0,01	0,98	242,4±32
NO ₃ (mg L ⁻¹)	0,30±0,08 ^a	1,8±0,2 ^a	1,6±0,5 ^a	0,3±0,1 ^b	0,35±0,1 ^b	0,2±0,1 ^b	0,3±0,1 ^b	0,98	<0,01	0,79	0,1±0,0
P TOTAL (mg L ⁻¹)	69,85±1,99 ^a	2,7±0,3 ^b	2,5±0,8 ^b	3,4±0,4 ^b	2,94±1,0 ^b	2,0±0,2 ^b	1,5±0,3 ^b	0,60	<0,01	0,97	124,9±17,2
DQO (mg L ⁻¹)	3987±40,70 ^a	574,7±106,8 ^b	738,0±245,9 ^b	591,7±36,8 ^b	597,3±190,3 ^b	323,3±104,6 ^c	321,3±99,3 ^c	0,49	<0,01	0,61	5790±705
											283,3±20,8

A salinidade não foi descontada dos valores das amostras. **Anova unifatorial de medida repetida com o tempo (semana 0, 1, 2, 3 e 4) como fator. Letras sobrescritas indicam diferenças estatísticas significativas (p<0,05) pelo teste de Tukey. Para o teste estatístico dos parâmetros de SST, NAT, NO₃, P TOTAL e DQO, os valores de lodo inicial de BFT foram utilizados como semana 0. Para os demais parâmetros, o lodo inicial de BFT não possui réplicas, portanto não foi incluído na análise estatística. *** Os valores coletados da ETE Habitasul não foram utilizados para a análise estatística.

Figura 9. Resultados das análises de nitrogênio amoniacal total (NAT), fósforo total (P-total) e DQO no lodo BFT (semana 0) e do percolado (semanas 1 a 3) após a aplicação em leitos de secagem em dois tratamentos com taxas de aplicação de 8,6 kg m⁻² e 11,5 kg de SST m⁻². As barras referem-se à eficiência de tratamento da tecnologia e as linhas referem-se aos valores de NAT, P-total e DQO.



A mesma tendência foi observada para o parâmetro de Demanda Química de Oxigênio (DQO), com valor inicial mensurado em $3987 \pm 40,7 \text{ mg L}^{-1}$ que decresceu durante as aplicações do lodo nos leitos de secagem, diferindo estatisticamente entre tempos de coleta ($p < 0,05$), chegando a valores 12 vezes menor nos leitos com ambas taxas de aplicação. As concentrações médias resultantes de DQO no percolado nos tratamentos com $11,5 \text{ kg SST m}^{-2}$ e $8,6 \text{ kg de SST m}^{-2}$ foram de $323,3 \pm 104,6$ e $321,3 \pm 99,3 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Na figura 9, podemos observar que a coleta final evidencia a eficiência do tratamento do leito de secagem acima de 90% para ambos tratamentos e a queda nos valores de DQO são significativas quando comparamos o tempo da desidratação do lodo.

Para o parâmetro de Nitrato (NO_3) observamos um acréscimo significativo ($p < 0,05$) na concentração de ambos tratamentos na semana 1, porém o valor mensurado na coleta final é estatisticamente igual ao observado no lodo inicial do BFT. As concentrações de nitrogênio total dos tratamentos com $8,6 \text{ kg de SST m}^{-2}$ e $11,5 \text{ kg de SST m}^{-2}$ decresceram na semana final de coleta, diferindo significativamente ($p < 0,05$) das semanas 1 e 2.

Para o parâmetro fósforo total (P-total) (Tab. 5), os resultados das análises ao longo do experimento de desidratação do lodo em leitos de secagem apresentaram reduções crescentes na concentração de P-total no percolado no decorrer do tempo de tratamento. As concentrações de fósforo total (P total) decresceram de forma significativa, independente da taxa de aplicação utilizada. O valor médio mensurado na coleta inicial do lodo de BFT foi de $69,85 \pm 1,99 \text{ mg L}^{-1}$ e após a desidratação do lodo, as análises do líquido percolado apresentaram concentrações médias de $1,98 \pm 0,2$ e $1,48 \pm 0,3 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. A eficiência do tratamento (Fig. 8) do leito de secagem foi de 97-98%, demonstrando o papel efetivo do sistema sobre o referido parâmetro.

Os resultados da avaliação da composição centesimal das tortas de lodo da carcinicultura marinha em sistema BFT e da ETE de esgoto sanitário estão apresentados na Tabela 6. Para os parâmetros avaliados, não foram observados resultados estatisticamente diferentes. Foi observado que o teor de umidade entre os tratamentos de lodo de BFT apresentam valor similar a torta de lodo da ETE Habitasul, apesar das diferenças da taxa de aplicação e tempo de desidratação das tortas avaliadas. A proteína bruta mensurada foram de $21,10 \pm 0,42$ e $21,61 \pm 0,70\%$ respectivamente, similar ao valor encontrado na torta de lodo da ETE (19,60). O valor de extrato etéreo (gordura) total foi relativamente baixo e também menor do que o valor mensurado na amostra da ETE.

Tabela 5. Composição centesimal da torta de lodo desidratada do BFT e da ETE, expresso em % da matéria seca.

Composição centesimal (% da Matéria Seca)	Torta de Lodo BFT TA $8,6 \text{ kg m}^{-2}$	Torta de Lodo BFT TA $11,5 \text{ kg m}^{-2}$	Valor de p	Torta de Lodo ETE**
Matéria seca	$19,11 \pm 1,40$	$20,16 \pm 1,70$	<i>0,59</i>	21,90
Umidade	$80,90 \pm 1,40$	$79,8 \pm 1,70$	<i>0,46</i>	78,19
Proteína Bruta	$21,10 \pm 0,42$	$21,61 \pm 0,70$	<i>0,34</i>	19,60
Extrato etéreo	$0,90 \pm 0,25$	$0,76 \pm 0,17$	<i>0,45</i>	1,26
Cinzas	$58,7 \pm 1,16$	$58,0 \pm 1,16$	<i>0,50</i>	47,9

****Os valores coletados da ETE Habitasul não foram utilizados para a análise estatística Anova unifatorial.**

Os resultados de parâmetros físico-químicos das tortas de lodo da carcinicultura marinha em sistema BFT e da ETE estão apresentados na Tabela 7. Os valores coletados da ETE não foram submetidos a análise estatística e foram utilizados apenas como valores referência da técnica de desaguamento de lodo em leitos de secagem. As características obtidas da torta BFT após a desidratação apresentaram valores de matéria orgânica ($104,0 \pm 10,39$ e $100,67 \pm 11,02 \text{ g kg}^{-1}$) e argila ($306,67 \pm 28,87$ e $306,67 \pm 41,63 \text{ g kg}^{-1}$) considerados altos, o que pode estar atrelado à baixa densidade do solo encontrada ($0,36 \text{ g cm}^{-3}$).

A relação entre a quantidade de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (N total) foi de $3,38 \pm 0,19$ e $3,82 \pm 1,07$ para os tratamentos de $8,6 \text{ kg de SST m}^{-2}$ e $11,5 \text{ kg de SST m}^{-2}$ respectivamente, valores superiores ao encontrado para a torta de lodo da ETE (relação COT/N de 2,1). Os valores médios de fósforo e potássio foram superiores para ambos os tratamentos do lodo de BFT quando comparamos com o valor médio encontrado na torta desidratada da ETE.

A relação de nitrogênio:fósforo:potássio (N:P:K) encontrada na torta desidratada do tratamento de $8,6 \text{ kg m}^{-2}$ foi de 1:22:68 enquanto que a relação N:P:K da torta desidratada do tratamento $11,5 \text{ kg m}^{-2}$ foi de 1:23:87. Essa relação é importante no que tange o uso posterior das tortas desidratadas, como adubo para aplicações na agricultura, por

exemplo. Já a torta desidratada proveniente ETE apresenta uma relação N:P:K de 1:8:28, valores mais baixos que os encontrados no lodo de BFT. Outra relação importante de ser observada é a relação entre o cálcio e o magnésio (Ca:Mg) que para os tratamentos do lodo de BFT ficou entre 2,62-2,69:1, enquanto que a relação de Ca:Mg da ETE foi superior, de 5,02:1. Os valores elevados de pH em água observados nas tortas de lodo BFT ($7,53 \pm 0,15$; $7,60 \pm 0,10$), por sua vez, podem estar atrelados à fonte água marinha, enquanto a fonte de água da ETE, de característica dulcícola apresenta valor de pH ácido (6,2).

Tabela 6. Resultados da avaliação de parâmetros físico-químicos das tortas de lodo do cultivo de camarão em sistema BFT e da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

Parâmetros físico-químicos	Torta de lodo BFT TA 8,6 kg m ⁻²	Torta de lodo BFT TA 11,5 kg m ⁻²	Valor de p	ETE**
Argila (g kg ⁻¹)	306,7±28,9	306,6±41,6	1,00	280,0
Densidade (g cm ⁻³)	0,4±0,05	0,4±0,1	0,96	
pH H ₂ O	7,5±0,1	7,6±0,1	0,56	6,2
MO (g/kg)	104,0±10,4	100,7±11,0	0,72	70,0
COT (g kg ⁻¹)	60,3±6,0	58,4±6,4	0,72	40,6
N total (g kg ⁻¹)	17,8±1,6	16,0±4,1	0,50	19,5
COT/N*	3,4±0,2	3,8±1,1	0,52	2,1
P (mg dm ⁻³)	386,3±6,254	364,6±32,2	0,35	153,0
K (mg dm ⁻³)	1219,8±8,9	1386,2±148,3	0,12	548,1
Ca (cmolc kg ⁻¹)	9,13±2,7	10,9±1,2	0,36	35,2
Mg (cmolc kg ⁻¹)	24,0±1,1	29,3±6,6	0,24	7,0
Al (cmolc kg ⁻¹)	0	0	-	0
H+Al (cmolc kg ⁻¹)	0,8±0,1	0,9±0,15	0,74	3,2
Sódio (mg dm ⁻³)	19.728,7±1.345	24.711,3±3.643,5	0,09	1.000,0
CE (mS cm ⁻¹)	58,2±4,4 ^a	74,8±15,4 ^b	0,02	18,1
CTC pH7.0 (cmolc kg ⁻¹)	122,9±2,3	152,1±23,1	0,09	51,2
Saturação Bases (V%)	99,3±0,05	99,4±0,1	0,34	93,7
Saturação Na (%)	69,8±3,4	70,7±2,0	0,34	8,5

*COT/N significa a relação carbono/nitrogênio mensuradas nas amostras. **Os valores coletados da ETE não foram utilizados para a análise estatística. Letras sobrescritas significam diferenças estatísticas significativas pelo teste ANOVA unifatorial.

Os valores de sódio da torta de lodo desidratada foram de 19.728,7±1.345 e 24.711,3±3.643,5 mg dm⁻³ respectivamente, devido a salinidade da água utilizada para o cultivo do camarão marinho *P. vannamei*, enquanto que o valor mensurado para o mesmo parâmetro na torta desidratada da ETE foi cerca de 1000 mg dm⁻³. Da mesma forma, a saturação por sódio (Na) foi superior nos tratamentos de lodo de BFT.

A condutividade elétrica (CE) apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos ($p < 0,05$), com valores de 58,2±4,4^a mS cm⁻¹ para a taxa de aplicação de 8,6 kg m⁻² e de 74,8±15,4^b mS cm⁻¹ para a taxa de aplicação de 11,5 kg m⁻², embora os demais parâmetros não tenham apresentado diferenças. A condutividade elétrica representa a abundância de íons, cátions e ânions, e em especial a sódio, apesar que não tenham diferido significativamente entre tratamentos.

DISCUSSÃO

A concentração de sólidos suspensos totais (SST) observada no presente estudo apresentou resultados de SST acima dos obtidos em outros trabalhos avaliando efluentes aquícolas. O método de coleta realizado gerou um maior adensamento e concentração de SST em torno de 34 g L⁻¹ no lodo obtido nos sedimentadores. Operando sedimentadores por períodos prolongados (1 coleta por semana) para o cultivo de camarões em sistema BFT, Ray; Dillon; Lotz *et al.* (2011) obtiveram a concentração de 27 g L⁻¹. Concentrações inferiores de SST em relação a essas foram obtidas nas coletas diárias de sedimentadores em cultivo de camarões utilizando o sistema BFT, conforme documentado por Schweitzer *et al.* (2013) e Arantes *et al.* (2014), que registraram valores de 9,3 a 14,9 g L⁻¹ e 13 a

16 g L⁻¹, respectivamente.

O adensamento de lodo tem grande importância pela redução do volume destinado a digestão em biorreatores e para disposição do efluente em métodos de desidratação. Para ETE's, usualmente são utilizados adensadores por gravidade, atingindo concentrações de SST na ordem 40-80 g L⁻¹ no lodo. O método de adensamento realizado apresentou resultados acima do observado para o lodo bruto (20 g L⁻¹), porém em uma faixa intermediária ao observado em adensadores de lodo em ETE's (GONÇALVES, LUDUVICE, VON SPERLING, 2014).

A separação do lodo em relação ao sobrenadante, este um efluente em maior volume e menor concentração de nutrientes, permite a retenção do material orgânico em relação a fração dissolvida. Isto traz vantagens operacionais importantes como a redução do volume do lodo a ser tratado e/ou desidratada, realojando os nutrientes (JORDÃO & PESSOA, 2005). Em seu estudo, Arantes *et al.* (2014) encontraram que 27% do nitrogênio exportado foi retido no lodo obtido do sedimentador, enquanto 49% a 69% da DBO foi separada do efluente final. Dados como este corroboram a influência positivamente facilitando o tratamento da fração do efluente com maior volume, limitando a mineralização das frações orgânicas e a disponibilização dos nutrientes na coluna d'água.

As características do lodo no presente estudo apresentaram a razão de sólidos suspensos voláteis e sólidos suspensos totais abaixo de 50%, com percentuais específicos de 37% para a relação SV/ST e 47% para a relação SSV/SST. Este valor indica que uma importante fração da matéria orgânica se encontrava estabilizada, podendo o lodo ser destinado diretamente para o desaguamento, sem a necessidade de tratamento prévio. A tecnologia Bioflocos com foco na nitrificação caracteriza-se por possuir uma comunidade microbiana presente e responsável por reciclar os nutrientes aportados durante a alimentação dos animais (Ferreira *et al.*, 2020). A riqueza e diversidade destes microrganismos influenciam diretamente na característica do efluente e do lodo, bem como em seu nível de estabilização.

O lodo bruto proveniente do cultivo de camarões em sistema BFT demonstrou capacidade de desaguamento por meio da tecnologia de leitos de secagem em ambos os tratamentos. A desidratação de lodo da carcinicultura em leitos de secagem representa uma alternativa viável para reduzir a carga de nutrientes, separando a fração orgânica da inorgânica. Não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas nos níveis de umidade da torta obtida entre os dois tratamentos. Isto significa que há possibilidade de aumento de carga aplicada nos leitos de secagem para trabalhos futuros e que o dimensionamento adotado foi adequado para as características do lodo inicial. Neste trabalho as alturas iniciais aplicadas de lodo foram de 47 cm e 61 cm, respectivamente para os tratamentos de 8,6 kg SST m⁻² e 11,5 kg SST m⁻².

No presente estudo, durante o processo de desaguamento, observaram-se reduções na altura do lodo em ambos os tratamentos a partir do oitavo dia. No entanto, a estabilidade da altura do lodo ocorreu apenas no décimo oitavo dia, sem mais reduções, mantendo-se constante até o final do ciclo de secagem. Esses resultados sugerem que é possível considerar a adoção de novas taxas de aplicação de lodo, a partir do décimo dia, que poderiam se tornar uma prática operacional vantajosa para as fazendas de camarão que trabalham com cultivos intensivos, otimizando a área destinada ao tratamento e redução do volume de lodo. Durante esse período, os valores do teor de umidade mostraram redução de aproximadamente 8,46 vezes para o tratamento com taxa de aplicação de 8,6 kg SST m⁻² e de 7,12 vezes para a taxa de aplicação de 11,5 kg SST m⁻².

Em estações de tratamento de efluentes domésticos que utilizam leitos de secagem, são realizadas taxas de aplicação sequenciais após as drenagens de fundo de biorreatores e/ou adensadores de lodo (METCALFY; EDDY; TCHOBANOGLIOUS, 1991). No contexto aquícola, práticas operacionais semelhantes são adotadas em sistemas de produção intensiva, em que o material orgânico concentrado no fundo dos viveiros é removido por meio de drenos conhecidos como “*shrimp toilets*” (TAW, 2015). Em unidades de produção intensiva, o excesso de matéria orgânica pode causar problemas, tais como a diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido, a mineralização e a produção de amônia e nitrito em concentrações tóxicas aos animais, além de servir como substrato para a proliferação de microrganismos potencialmente patogênicos (FURTADO *et al.* 2011; GAONA *et al.* 2011; RAY *et al.* 2010). Por outro lado, o lodo, que é um resíduo ambiental com aproximadamente 27% do nitrogênio total aportado (ARANTES *et al.*, 2014), pode ser submetido a um processo de desaguamento, contribuindo para a redução do impacto ambiental ao corpo receptor. Com base nas condições operacionais dos leitos de secagem e nas taxas de aplicação (TA) analisadas no presente estudo, sugere-se um tempo de ciclo de secagem o período de 18 dias. No 18º dia, as taxas de umidade da torta de lodo foram de 81,1% e 80,2% para as TA's de 8,6 e 11,5 kg de SST m⁻², respectivamente. Valores de umidade da torta de lodo na faixa de 90% e 70% são recomendados para o condicionamento e transporte em caminhão caçamba, brooks e contêiner (USEPA, 1993). No entanto, é possível alcançar valores de até 60% do teor de umidade da torta de lodo em leitos de secagem (METCALFY; EDDY; TCHOBANOGLIOUS, 1991).

No fim do experimento, que ocorreu ao 29º dia, o teor de umidade obtido na torta de lodo foi de 78,3% e 77,8% para

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental **31**

as TA de 8,6 kg de SST m⁻² e 11,5 kg de SST m⁻², respectivamente. Os tratamentos não apresentaram diferenças entre si, apesar da taxa de aplicação de 11,5 kg m⁻² representar 25% de lodo a mais que a taxa de 8,6 kg m⁻². A umidade tem grande importância devido a relação direta com o volume de lodo a retirar do leito de secagem e, posteriormente, destinado no transporte para sua disposição final (GONÇALVES, LUDUVICE, VON SPERLING, 2014). Ou seja, quanto menor o teor de umidade da torta de lodo, menor será o custo unitário de acondicionamento e transporte por quilo de SST desidratado, aumentando a eficiência da operação. Com este objetivo, operações em ETE's podem destinar a torta de lodo para a secagem térmica em estufas ou galpões (NBR, 2011).

Os leitos de secagem podem ser instalados ao ar livre ou cobertos para proteção contra chuvas. Fatores ambientais locais, como índice de precipitação elevado, a temperatura e o teor de umidade do ar, desempenham um papel importante na decisão de recobrir ou não os leitos. No presente estudo, o período experimental registrou uma pluviosidade de 82,2 mm, afetando o padrão de redução das taxas de umidade da torta de lodo em ambos os tratamentos após os episódios de precipitação. No entanto, não foi possível detectar um impacto significativo da pluviosidade durante o período experimental, em relação ao tempo total de desaguamento. Esta prática também é feita em muitas ETEs devido à redução de custos de implantação e à contribuição para desinfecção da microbiota na torta de lodo. Giordani e Abreu (2003), em um estudo que envolveu leitos de secagem cobertos e não cobertos, observaram que a precipitação e taxa de evaporação foram os fatores que mais influenciam o tempo de secagem do lodo produzido na Estação de Tratamento de Águas (ETA). Por outro lado, Lopes, Machado, Pereira (2004), em um trabalho experimental realizado em leitos com e sem cobertura em Belém, Pará, relataram maiores valores de SST no lodo de ETA desaguado no tratamento exposto à radiação solar direta.

A menor taxa de aplicação (8,6 kg de SST m⁻²) demonstrou uma recuperação no volume de percolado de 63%, enquanto a maior taxa de aplicação (11,5 kg de SST m⁻²) apresentou 48%. No caso da taxa de aplicação de 8,6 kg de SST m⁻², em média 77% do volume do percolado foi obtido na primeira semana de secagem, com o restante observado nas semanas subsequentes. Para a taxa de aplicação de 11,5 kg de SST m⁻², a mesma porcentagem de 77% foi registrada na primeira semana de secagem, indicando que as taxas de aplicação não influenciaram significativamente na capacidade de percolação no leito drenante. Na primeira semana de secagem, observou-se a flotação do lodo em ambos os tratamentos, sendo que a presença de água intersticial saturada de gases como CO₂ e CH₄ são característicos de lodos digeridos (GONÇALVES, LUDUVICE, VON SPERLING, 2014). Além disso, o lodo flutuante exerce pressão hidrostática, contribuindo para a percolação da água até a sedimentação dos sólidos, aumentando a influência da evaporação no processo de secagem da torta de lodo.

A partir do 18º dia de secagem, observou-se a formação de fendas de largura média na torta de lodo em ambos os tratamentos, o que, de acordo com Gonçalves, Luduvic, Von Sperling (2014), indica sinais de lodo digerido, embora ainda com teor de água a ser desidratado. Ao final do período experimental, no 29º dia, foram registradas alturas média da torta de lodo com 4,93 ± 0,12 cm e 5,0 ± 0,50 cm para os tratamentos de TA de 8,6 kg de SST m⁻² e 11,5 kg de SST m⁻², respectivamente. A limpeza ao final do ciclo de secagem costuma ser feita manualmente com uso de pás e enxadas com uso de mão-de-obra braçal, em leitos de secagem. As limitações do uso de máquinas para as operações devem-se ao risco de desestruturação da camada drenante responsável pela percolação do lodo. Para aumentar a eficiência das operações em escala comercial, é possível utilizar pequenas máquinas, como *bobcats* e *tobatas*, auxiliando na raspagem e transporte da torta de lodo nos leitos.

O lodo inicial proveniente do cultivo de camarões marinhos em sistema BFT exibiu características físico-químicas típicas de processos anaeróbios devido às concentrações de oxigênio dissolvido (OD) de 0,11 mg L⁻¹ e ao potencial de oxirredução (ORP) de -425 mV observados no momento do preenchimento dos leitos de secagem. A manutenção do lodo adensado após as coletas nos sedimentadores, em caixas sem aeração e movimentação pelo período de 29 dias, criou condições para prevalência dos processos de anaerobiose nos microrganismos presentes.

As concentrações de sólidos suspensos totais (SST) diminuíram em 46% do momento de aplicação do lodo nos leitos de secagem, em comparação à média de SST obtida na coleta do lodo nos sedimentadores. Processos de anaerobiose podem ter contribuído para a redução nas concentrações de sólidos suspensos totais (SST) nas condições de armazenamento prévio ao experimento. No processo de oxidação da matéria orgânica em ambiente restrito em oxigênio, os microrganismos presentes utilizam como vias metabólicas a fermentação e respiração (CHERCHINARO, 2016). Nesses processos, os sólidos (matéria orgânica) são digeridos, e parte dos sólidos suspensos totais (SST) pode ser transformada ou quebrada, resultando na diminuição da concentração de SST. Além do processo de digestão natural, outra variável que pode ter contribuído para as diferenças nas concentrações de SST foi a falta de homogeneização completa do lodo na caixa de equalização no momento de abastecimento dos leitos de secagem.

A taxa de SSV no lodo utilizado para o abastecer as unidades experimentais deste estudo foi de 47%. Em estudo anterior, Poli *et al.* (2019) registrou valores de SSV de 51,1% da água de cultivo de camarões marinhos em sistema

BFT. Por outro lado, em trabalho realizado por Ferreira *et al.* (2020) em camarões na fase de berçário, indicou que estratégias de manejo da qualidade de água, como reuso de água madura em bioflocos e a fertilização inorgânica para estimular a nitrificação previamente ao cultivo, resultaram em elevado grau de estabilização dos sólidos suspensos gerados no cultivo em BFT em relação ao tratamento heterotrófico. Valores abaixo de 50% indicam que a maior parte dos sólidos foi biodegradada, apresentando condições adequadas para a disposição final (METCALFY & EDDY, 1991), sendo uma das possibilidades o processo de desaguamento.

No caso de lodos com elevadas taxas de SSV (% SST) e razão SV/ST, como o observado por Schweitzer *et al.* (2013) e Arantes *et al.* (2014) é indicado a estabilização antes do desaguamento. As duas principais opções de estabilização para disposição são a digestão anaeróbia ou aeróbia (CHEN, 1997), e a estabilização química, alcançada por meio da alcalinização com cal hidratada ou cal virgem. Esta é uma importante premissa, pois o desaguamento de lodo com elevadas frações de sólidos biodegradáveis compromete a eficiência do processo, prolongando o tempo de ciclo devido à digestão simultânea (LUDUVICE, 2014), além de que pode tornar-se fonte de mau odor pela produção de metabólitos na torta de lodo. No presente estudo, houve a redução de 20 vezes no volume total de sólido, em ambos os tratamentos, comparados aos parâmetros do lodo inicial.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro utilizado como indicador do teor de matéria orgânica oxidável em águas residuárias e superficiais (BOYD, 1973). No caso do lodo inicial utilizado para abastecer os leitos de secagem, obteve-se um resultado de DQO de $3.987,0 \pm 40,7 \text{ mg L}^{-1}$. Em estudo conduzido por CHEN *et al.* (1993), no qual foi avaliado o lodo produzido por sistema de recirculação aquícola (RAS) para o cultivo de peixes, os resultados demonstraram média de $1.449 \pm 383,6 \text{ mg L}^{-1}$ para DQO, sendo que aproximadamente 85% dessa contribuição era proveniente da fração particulada. Os resultados do presente estudo contabilizam a redução de 87% na demanda química de oxigênio (DQO).

Com relação aos compostos nitrogenados, os tratamentos com diferentes taxas de aplicação utilizados no presente estudo de desaguamento em leitos de secagem não apresentaram diferenças estatísticas significativamente. Para o lodo, o tempo de residência tem grande influência nos processos bioquímicos e, consequentemente, na dinâmica dos nutrientes inorgânicos produzidos (CONROY & COUTURIER, 2010; VAN RIJN, 2013). O lodo armazenado no presente estudo apresentou concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) de $191,1 \pm 22,4 \text{ mg L}^{-1}$. Essas concentrações elevadas sugerem a ocorrência de processos de amonificação na matéria orgânica (sólidos) devido ao tempo de residência hidráulico utilizado no armazenamento do lodo antes da aplicação nos leitos de secagem. Por outro lado, Arantes *et al.* (2014), em lodo oriundo do cultivo de camarões em sistema BFT e utilizando tempo de detenção hidráulico de apenas um dia no sedimentador, obteve concentração de NAT de $4,5 \pm 0,7 \text{ mg L}^{-1}$. No final do período experimental, houve a redução média de 57% na concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) para ambos os tratamentos.

A concentração de nitrato (NO_3) no lodo inicial foi de $0,30 \pm 0,1 \text{ mg L}^{-1}$, valor similar ao encontrado ao final do período de desidratação para ambos tratamentos. Reduções do nitrato em lodo são atreladas a ocorrência de processos de desnitrificação, com a utilização do oxigênio como aceptor final de elétrons para os processos bioenergéticos de bactérias heterotróficas (VAN RIJN *et al.* 2006). O fósforo é frequentemente considerado um nutriente limitante em ecossistemas aquáticos naturais. No contexto da carcinicultura, a maior parte do fósforo é proveniente das dietas alimentares fornecida aos organismos cultivados. No entanto, é comum que haja um subaproveitamento desse nutriente devido à digestibilidade das rações (MOLNAR *et al.* 2013; VAN RIJN, 2013). Ele é normalmente encontrado nos efluentes aquícolas, seja na forma orgânica particulada (ex. fezes) ou na forma inorgânica (ex. fosfato) (MOLNAR *et al.* 2013). O lodo inicial utilizado para abastecer os leitos de secagem, obteve um resultado de fósforo total (P-total) de $69,9 \pm 2,0 \text{ mg L}^{-1}$. Em estudo conduzido por HOPKINS *et al.* (1994), foram avaliados diferentes manejos de lodo no cultivo intensivo de camarões, nos quais foram encontradas concentrações de P-total de 1.840 mg L^{-1} , utilizando como estratégia a ressuspensão do lodo. CHEN *et al.* (1993), por sua vez, encontraram concentrações de P-total de $19,4 \pm 5,3 \text{ mg L}^{-1}$ no lodo do cultivo de peixes em RAS. Os resultados obtidos no presente estudo indicam a redução de 97% de fósforo total (P total) no percolado em comparação ao lodo inicial do BFT.

No âmbito dos modelos de tratamento de efluentes, as estratégias mais comumente empregadas são as lagoas de estabilização facultativas e aeradas posicionadas em série. Estas lagoas possuem as características de ocupar grandes áreas e possuírem uma limitada eficiência na incorporação dos principais nutrientes: nitrogênio e fósforo. Usualmente em torno de 35% para fósforo (Cavalcanti *et al.* 2001), e para o nitrogênio a eficiência de remoção em lagoas de estabilização gira em torno de 40-50% de acordo ao pH marinho (em torno 8,0-8,4) (Von Sperling, 2017). Como resultado do emprego das lagoas, em muitos casos, há o emprego de grandes proporções de áreas em relação à área produtiva, gerando custos e uma complexidade operacional. Além disso, em muitos casos, devido à limitação da eficiência e controle do sistema de tratamento, os padrões de lançamentos exigidos (ex. P-dissolvido de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, certificação BAP) não são alcançados, sendo necessário maiores usos de insumos para alcançá-los. Por outro lado, a

tecnologia de leitos de secagem pode ser aplicada de diferentes maneiras no uso aquícola, como em lodo oriundo de sistemas bioflocos, sistemas de recirculação de água, aquaponia e cultivos intensivos de peixes e camarões. Apresentando-se como uma alternativa para redução do impacto dos nutrientes no meio ambiente e aumento de eficiência no uso de recursos como a água.

Os resultados da composição centesimal da torta de lodo para os parâmetros de teor de umidade, proteína bruta, nitrogênio total, extrato etéreo (gordura) e cinzas (sólidos fixos) não apresentaram diferenças significativamente entre tratamentos. Os resultados indicam que as diferentes cargas de lodo aplicadas no leito de secagem não impactaram na composição final da torta de lodo, impactando apenas no volume de material gerado ao final do ciclo de desaguamento da torta de lodo.

O estabelecimento de alternativas para o reuso de recursos através de economia circular tem como objetivo reduzir a produção de resíduos e a emissão de compostos potencialmente danosos através da aplicação de práticas transformativas que gerarão coprodutos aplicáveis às cadeias de produção (CHARY *et al.* 2023). Em relação a fazendas de produção, os nutrientes aportados concentram-se em grande parte na forma de sólidos suspensos, compostos metabólicos dissolvidos na água, restos de rações e no solo (JACKSON *et al.*, 2003). No contexto dos cultivos intensivos, como em sistema BFT, definir estratégias de reuso dos nutrientes como a destinação do lodo produzido, pode trazer impactos positivos ao meio ambiente em que a fazenda está incluída, bem como, gerar alternativas de uso sustentável dos resíduos produzidos.

As tortas de lodo obtidas tiveram resultados de proteína bruta de 21,61% e 21,10% para os tratamentos utilizados no presente estudo. Em termos nutricionais, ingredientes proteicos para nutrição animal são caracterizados por possuírem valores de proteína bruta acima de 20% na matéria seca (JOBLING, 2011). Os bioflocos, no entanto, exibem composição proteica variável devido a condições específicas, como a espécie cultivada e seu hábito alimentar, a densidade de estocagem, a idade do floco, a composição da ração fornecida, a relação C/N disponível, a intensidade luminosa, o tipo e a intensidade da aeração, bem como os parâmetros de qualidade de água (KHANJANI *et al.*, 2022). Segundo SAMOCHA *et al.* (2017) e KHANJANI *et al.* (2022), resultados de proteína bruta dos bioflocos podem variar de 12 a 50% devido aos mais diversos fatores citados.

Em estudo conduzido por BAUER *et al.* (2012), que empregou lodo do cultivo de camarões em sistema BFT para produção de farinha de biomassa bacteriana utilizando um método de secagem semelhante ao utilizado no presente estudo, foram observados resultados bromatológicos próximos para a proteína bruta, com 23,39%. No entanto, em relação ao extrato etéreo (gordura), foi encontrado um valor inferior com 0,30%, em comparação a 0,90% e 0,76% obtidos no presente estudo. A umidade da torta de lodo de BAUER *et al.* (2012) foi inferior, registrando 21,08% em contraste com os 79,8% e 80,9% observado no presente estudo. As diferenças na umidade na torta de lodo podem ser atribuídas à pequena altura da camada de lodo (3 cm) durante a secagem, que ocorreu em bandejas expostas ao sol por três dias. Em estudos avaliando a substituição de farinha de peixe por farinha de biomassa bacteriana em conjunto com concentrado proteico de soja para a fase de engorda do camarão-branco-do-pacífico, não foram encontradas diferenças significativas negativas para o desempenho zootécnico dos animais, corroborando os benefícios de seu uso como ingrediente (BAUER *et al.*, 2012; KUHN *et al.*, 2009, 2010).

Os trabalhos conduzidos por KUHN *et al.* (2009) e KUHN *et al.* (2010), empregaram o lodo proveniente da produção de tilápias em sistema de recirculação, com biorreatores SBR (do inglês, *sequential batch reactor*) com suplementação de carbono e outro em MBR (do inglês, *membrane biological reactor*) sem suplementação de carbono. GLENCROSS *et al.* (2014) demonstraram que um produto comercial de microrganismos, o Novacq™, pode ser utilizado como substituto para farinha e óleo de peixe, apresentando propriedades de promoção ao crescimento para camarões da espécie *Penaeus monodon*. ROMBENSO *et al.* (2021), ao utilizar o mesmo produto como suplementação em dietas práticas e comerciais para pós-larvas e juvenis de *Penaeus vannamei*, observaram melhorias significativas no crescimento dos camarões.

Os bioflocos, constituintes dos sólidos suspensos totais (SST) e responsáveis pela formação do lodo, são considerados uma promissora opção como ingrediente ou aditivo na alimentação animal (KHANJANI *et al.*, 2022). Seguindo uma tendência mundial de substituição de ingredientes de origem animal por novos ingredientes sustentáveis como farinha de insetos, farinha de algas e de biomassa bacteriana (CHARY *et al.*, 2023), a farinha de bioflocos, também chamada de farinha microbiana proteica, do inglês “microbial protein meal”, se utiliza de conceitos da economia circular, transformando o resíduo em ingrediente, reaproveitando os nutrientes do próprio sistema de cultivo. Viabilizar a aplicação deste ingrediente passa pela necessidade de definir tecnologias práticas e escaláveis de transformação dos macros agregados microbianos em um ingrediente disponível para a indústria, bem como a padronização dos nutrientes e processamento do lodo em farinhas (EMERENCIANO *et al.*, 2013). Neste sentido, a tecnologia de desaguamento de lodo em leitos de secagem pode colaborar com implantação de unidades de aproveitamento do lodo

de cultivos bioflocos de baixo custo para produção de ingrediente para fabricação de rações.

De acordo aos resultados as tortas oriundas do desaguamento de lodo do cultivo de camarões em sistema BFT indicam que ambas possuem elevadas proporções de matéria orgânica e carbono, relacionando-se à origem do coproduto. A Instrução Normativa nº 61 (08/07/2020) que estabelece regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. As tortas obtidas classificam-se segundo o teor de carbono (C) como fertilizantes orgânicos simples, mistos e compostos fluídos (BRASIL, 2020), pois as tortas de lodo possuem teor de carbono orgânico em torno de 6%, acima do mínimo de 3% exigido pela legislação brasileira (BRASIL, 2020).

No presente estudo, as taxas de C das tortas de lodo estão acima do exigido pela legislação citada para vinhaça (ex. C mínimo de 3%) e abaixo do húmus de minhoca (ex. C mínimo de 10%). Por sua vez, a torta da ETE, apresentou valor de carbono de 4%. Os resultados de densidade do material das tortas também não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Os bioflocos obtidos a partir do desaguamento de lodo em ETE's são caracterizados por apresentar elevadas concentrações de matéria orgânica, o que resulta em uma baixa densidade do volume produzido.

Os resultados de pH em água (H₂O) das tortas apresentaram valores de pH de 7,5 e 7,6 para as tortas de lodo da carcinicultura. Solos saturados em cálcio normalmente apresentam valores de pH de 7,2 a 7,6, enquanto valores acima de 7,8 indicam a presença de sódio adsorvido (LUCAS, 1961). A maioria dos solos agrícolas brasileiros é caracterizado por ter níveis de acidez média a alta, com um pH em água geralmente inferior a 5,5 (VELOSO *et al.* 1992; AMARAL *et al.*, 2002). No entanto, o pH ideal para a maioria das culturas agrícolas está na faixa de 6,0 a 6,5, o que requer a aplicação de corretivos químicos, como calcário dolomítico, para elevar o pH. Nesse contexto, o pH elevado da torta de lodo proveniente do cultivo de camarões apresenta características potenciais para seu uso como corretivo de solo, uma vez que níveis adequados de pH no solo estão relacionados a uma melhor absorção de nutrientes pelas raízes das plantas.

Em relação aos principais macronutrientes necessários para o crescimento vegetal, N (nitrogênio), P (fósforo) e K⁺ (potássio), Mg²⁺ (magnésio) e Ca²⁺ (cálcio), observamos concentrações na torta de lodo com potencial para melhorar a fertilidade e a produtividade dos solos agrícolas (RONQUIM, 2010). O nitrogênio total (N-Total) apresentou valores médios 17,83 e 15,97 g kg⁻¹ para os tratamentos da torta BFT. Segundo Larcher *et al.* (2004) em regiões tropicais, concentrações médias de N no solo é de aproximadamente 2 g kg⁻¹, enquanto as necessidades para as plantas variam de 15 a 25 g kg⁻¹. Para P, por sua vez, as concentrações médias dos solos e de necessidade das plantas são de 0,8 e 1,5-3,0 g kg⁻¹, respectivamente (LARCHER *et al.*, 2000), enquanto as tortas de lodo foram observadas concentrações médias de 1,01 e 1,07 g kg⁻¹, de acordo às transformações feitas com dados de densidade do solo. Para K, as concentrações médias das tortas BFT de 3,38 e 3,85 g kg⁻¹, consideradas inferiores ao recomendado para culturas agrícolas (5-20 g kg⁻¹) LARCHER *et al.* (2000).

Corroborando aos elevados valores de pH e capacidade de troca catiônica (CTC) obtido pelas tortas BFT, observou-se concentrações dos íons cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) em relação aos íons totais presente. Segundo Ronquim (2010), a CTC dos solos representa a graduação de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um longo período, reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes.

Por outro lado, como aspecto negativo à aplicação das tortas BFT para agricultura tradicional, foi observado elevadas concentrações de sódio. A presença de níveis excessivos de sódio pode causar modificação nos balanços dos íons e no potencial hídrico (ex. a planta perde água), afetar a nutrição mineral (ex. Ca²⁺ e K⁺) e o fechamento estomático das células, afetando a eficiência fotossintética e, tendo como resultado reduções no crescimento das plantas cultivadas (SHANNON & GRIEVE, 1999). Para a maioria das culturas, a condutividade elétrica do extrato de saturação é prejudicial às plantas em valores iguais ou acima de 20 a 40 dSc⁻¹ (RICHARDS, 1954;). No presente estudo, no entanto, valores de 58,1 a 74,83 dSc⁻¹ foram observados para a condutividade elétrica nas tortas BFT.

Apesar dos resultados não apresentarem diferenças estatísticas entre os tratamentos para os valores de Na²⁺ resultantes na torta, foi observado um aumento de aproximadamente 30% do cátion no tratamento com taxa de aplicação de 11,5 kg SST m⁻² (24.711±3.643 mg dm³), em relação ao de 8,6 kg SST m⁻² (19728±1345 mg dm³). Para a condutividade elétrica (CE), foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, corroborando para o impacto da maior taxa de aplicação na concentração resultante de íons na torta de lodo final, bem como para sódio. Ressalta-se que o lodo inicial do cultivo BFT possui salinidade de 30,8 g L⁻¹, pois o cultivo era realizado em água marinha. A tecnologia de desaguamento em leito de secagens pode ser aplicada com diferentes condições de salinidade. Por outro lado, a execução de menores taxas de aplicação inicial podem favorecer percolação do líquido drenado, impactando na menor concentração de Na²⁺ na torta de lodo final.

Como alternativa de destinação, as tortas de lodo BFT apresentaram condições de disponibilidade de nutrientes como N, P, K⁻, Ca²⁺ e Mg²⁺, além de pH alcalino (7,5 e 7,6) com poder tampão, entretanto, os níveis de Na²⁺ observados podem limitar a aplicação para culturas agrícolas tradicionais. Nesses casos, alternativas como a mistura com outros compostos podem diluir e limitar a interferência do cátion na cultura, bem como, associar a adequadas técnicas de drenagem e a manutenção de elevados teores Ca²⁺ (DAGAR, 2005). Além disso, o uso da torta BFT associada a solos com textura argilosa com maior número de cargas negativas, podem mitigar a influência desse cátion nos processos fisiológicos das plantas. Nesse contexto, a seleção de espécies de plantas halófitas e plantas de mangue podem ser alternativas viáveis de emprego direto desse coproduto no solo.

CONCLUSÕES

O lodo bruto proveniente do cultivo de camarões em sistema BFT demonstrou capacidade de desidratação por meio da tecnologia de leitos de secagem, em taxas de aplicação de 8,6 e 11,5 kg de SST m⁻² apresentando-se como uma alternativa viável para reduzir a carga de nutrientes do lodo da produção. Com base nas condições operacionais dos leitos de secagem analisadas no presente estudo, sugere-se um tempo de ciclo de secagem o período de 18 (dezoito) dias. A tecnologia de leitos de secagem foi eficiente na redução de 97% do P total, 87% na DQO e 57% de NAT para ambos os tratamentos.

Após o desaguamento, as tortas de lodo continham aproximadamente 21% de proteína bruta, e disponibilidade de nutrientes minerais, podendo ser utilizada como insumo para a agricultura, plantas halófitas e aditivo ou ingrediente para a nutrição animal. Ademais, o presente estudo colabora com informações valiosas sobre o tema e sugere que novas pesquisas podem ser realizadas para testar maiores taxas de aplicação de SST em leitos de secagem, bem como o desenvolvimento de tecnologias que permitam o uso do coproduto gerado ao final do desaguamento para a agricultura, plantas halófitas e nutrição animal, fechando o ciclo da economia circular.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado à pesquisadora Y. M. G. Gatto, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de produtividade. Agradecem, ainda, à empresa SAE Habitasul pelo apoio institucional e financeiro às análises físico-químicas da água, com especial reconhecimento à colaboração de Suhellen Barcellos, Fabiana Thiesen e Sr. Valderi, fundamentais para a realização desta pesquisa, bem como à gerência e diretoria da empresa pelo incentivo à pesquisa pública. Estendem os agradecimentos à equipe do Laboratório de Camarões Marinhos (LCM), do Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LabNutri) e do Laboratório de Sanidade de Organismos Aquáticos (AQUOS/UFSC) pelo suporte técnico e científico. Os autores também agradecem ao Prof. Dr. Arcangelo Loss (NEPEA/UFSC) pelo suporte nas análises físico-químicas das tortas de lodo e interpretação dos dados, e à Profa. Dra. Débora Fracalossi (LabNutri/UFSC) pelo suporte nas análises bromatológicas. Por fim, registram sua gratidão à Pedreira Pedrita Planejamento e Construção Ltda pela doação das pedras britas utilizadas na construção dos leitos de secagem.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, F.C.S.; PEREIRA, D.E., CARVALHO JÚNIOR, E. **Principais limitações dos solos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/tema3/tema3.html>> Acesso em 28. set. 2023.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, and Water Environment Federation, 2017. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 23st. ed. Washington, DC, USA. ISBN 0875530478.
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th ed. **Association of Official Analytical Chemists**. Washington, D.C., USA.
- ARANTES, Rafael da Fonseca. **Caracterização quali-quantitativa dos efluentes gerados no cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos**. 2014. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- ARANTES, Rafael da Fonseca. **Caracterização quali-quantitativa dos efluentes gerados no cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos**. 2014. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992. 12 p
- AVNIMELECH, Yoram et al. **Biofloc Technology - A Practical Guidebook**. 2. ed. New York: World Aquaculture Society, 2012. 258 p.
- BARCELOS, Suhellen Santos. **APLICAÇÃO DE LEITOS DE SECAGEM NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DO CULTIVO DE *Litopenaeus vannamei* EM BIOFLOCO**. 2016. 48 f. **TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Aquicultura, Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis**, 2016.
- BAUER, William et al. Substitution of fishmeal with microbial flocc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 342, p. 112-116, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.02.023>
- BOYD, Claude E. The chemical oxygen demand of waters and biological materials from ponds. **Transactions of the american fisheries society**, v. 102, n. 3, p. 606-611, 1973. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1973\)102<606:TCODOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1973)102<606:TCODOW>2.0.CO;2)
- BRASIL. Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. **Instrução Normativa Nº 61, de 08 de Julho de 2020**. Brasília.
- CAVALCANTI, P.F.F., ADRIANUS VAN HAANDEL, A., VON SPERLING, M., KATO, M.T., LUDUVICE, M.L. e MONTEGGIA, L.O. **Pós-tratamento de efluentes anaeróbios em lagoas de polimento**. In: C.A.L. Chernicharo (coord.), **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, Coletânea de Trabalhos Técnicos**, vol. 2 (este livro). Projeto PROSAB, FINEP. Belo Horizonte, 2001.
- CHARY, Killian et al. Transforming sustainable aquaculture by applying circularity principles. **Reviews in Aquaculture**, 2023. <https://doi.org/10.1111/raq.12804>
- CHEN, Shulin et al. Suspended solids characteristics from recirculating aquacultural systems and design implications. **Aquaculture**, v. 112, n. 2-3, p. 143-155, 1993.
- CHEN, Shulin; COFFIN, David E.; MALONE, Ronald F. Sludge production and management for recirculating aquacultural systems. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 28, n. 4, p. 303-315, 1997. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1997.tb00278.x>
- CHERCHINARO, Carlos Augusto de Lemos. Fundamentos da Digestão anaeróbia. In: CHERCHINARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2016. p. 31-95.
- CONROY, Jessica; COUTURIER, Michel. Dissolution of minerals during hydrolysis of fish waste solids. **Aquaculture**, v. 298, n. 3-4, p. 220-225, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.013>
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA 430: **RESOLUÇÃO No 430, de 13 de maio de 2011**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. 9 p.
- DAGAR, J. C. Salinity research in India: An overview. **Bulletin of the National Institute of Ecology**, v. 15, p. 69-80, 2005.
- DI BERNARDO, Luiz. Desaguamento natural. In: DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela di Bernardo; VOLTAN, Paulo Eduardo Nogueira. **Métodos e técnicas de tratamento de águas**. 3. ed. São Carlos: Ldibe, 2017. Cap. 12. p. 1025-1030.
- DI BERNARDO, Luiz. Procedimentos para realização de ensaios de tratabilidade dos resíduos gerados nas ETAs: desaguamento. In: BERNARDO, Luiz di; DANTAS, Angela di Bernardo; VOLTAN, Paulo Eduardo Nogueira. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: Ldibe, 2011. Cap. 8. p. 371-394.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. In: Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**. Rio: Centro Nacional de **ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental** 37

Pesquisa de Solos, 1997. p. 212.

EMERENCIANO, M.G.C.; Rombenso, A.N.; Vieira, F.d.N.; Martins, M.A.; Coman, G.J.; Truong, H.H.; Noble, T. H.; Simon, C.J. Intensification of Penaeid Shrimp Culture: An Applied Review of Advances in Production Systems, Nutrition and Breeding. **Animals** 2022, 12, 236. <https://doi.org/10.3390/ani12030236>.

EMERENCIANO, Maurício; GAXIOLA, Gabriela; CUZON, Gerard. **Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry**. Biomass now-cultivation and utilization, v. 12, p. 301-328, 2013.

FAO. 2020. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020**. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.

FAO. **Fishery Statistical Collection**. Global Aquaculture Production. Disponível on-line: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/en> (acessado em 22/04/2022).

FERREIRA, Gabriela Soltes et al. Strategies for ammonium and nitrite control in *Litopenaeus vannamei* nursery systems with bioflocs. **Aquacultural Engineering**, v. 88, p. 102040, 2020.

FURTADO, Plínio S.; POERSCH, Luís H.; WASIELESKY JR, Wilson. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bioflocs technology (BFT) systems. **Aquaculture**, v. 321, n. 1-2, p. 130-135, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.034>

GAONA, C. A. P. et al. The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc technology culture system. 2011. <https://doi.org/10.21061/ijra.v12i1.1354>

GAONA, Carlos Augusto Prata; ALMEIDA, Marcos Souza de; VIAU, Veronica; POERSCH, Luis Henrique; WASIELESKY, Wilson. Effect of different total suspended solids levels on *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) BFT culture system during biofloc formation. **Aquaculture Research**, [S.L.], v. 48, n. 3, p. 1070-1079, 14 dez. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/are.12949>.

GIORDANI, S.; ABREU, B. P.; (2003). Avaliação da viabilidade de implantação de sistemas naturais de secagem de lodo de ETA através de estudo de variáveis meteorológicas: Estudo de caso para o Estado do Paraná. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23., 2003, Joinville, Brasil. Anais eletrônicos.

GLENCROSS, Brett et al. Effective use of microbial biomass products to facilitate the complete replacement of fishery resources in diets for the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. **Aquaculture**, v. 431, p. 12-19, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.02.033>.

GONÇALVES, Ricardo Franci; LUDUVICE, Maurício; VON SPERLING, Marcos. Remoção da umidade de lodos de esgotos: leitos de secagem. In: ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando (ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2014. Cap. 5. p. 182-193. (6).

HARGRAVES, John A. Biofloc production systems for aquaculture. Auburn: **Srac**, v. 4503, 2013. Anual.

HOPKINS, J. Stephen; SANDIFER, Paul A.; BROWDY, C. L. Sludge management in intensive pond culture of shrimp: effect of management regime on water quality, sludge characteristics, nitrogen extinction, and shrimp production. **Aquacultural engineering**, v. 13, n. 1, p. 11-30, 1994. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0144-8609(94)90022-1)

JACKSON, Christopher et al. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm. **Aquaculture**, v. 218, n. 1-4, p. 397-411, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00014-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00014-0)

JOBLING, Malcolm. National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp: **The National Academies Press**, Washington, DC, 2011, 376+ XVI pp, £ 128 (Hardback), ISBN: 978-0-309-16338-5. 2012.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 4ª Edição. **Rio de Janeiro**, 2005.

KHANJANI, Mohammad Hossein et al. Biofloc: A sustainable dietary supplement, nutritional value and functional properties. **Aquaculture**, v. 562, p. 738757, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738757>

KUHN, David D. et al. Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 303, n. 1-4, p. 28-33, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.03.001>

KUHN, David D. et al. Microbial floc meal as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. **Aquaculture**, v. 296, n. 1-2, p. 51-57, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.07.025>

LARCHER, Walter. *Ecofisiologia vegetal*. 2000.

LOPES, L. N. A.; MACHADO, R. C.; PEREIRA, J. A. R. (2004). Desaguamento de lodo de ETA em leito de secagem com e sem cobertura. In: **Simpósio Luso-Brasileiro de engenharia sanitária e ambiental**, SILUBESA, 11., 2004, Natal, RN, Brasil. Anais eletrônicos.

LUCAS, R. E.; DAVIS, J. F. Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. **Soil science**, v. 92, n. 3, p. 177-182, 1961.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P.; TCHOBANOGLOUS, Georg. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. New York: McGraw-Hill, 1991.

MOLNAR, Nathalie et al. Impacts of shrimp farm effluent on water quality, benthic metabolism and N-dynamics in a mangrove forest (New Caledonia). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 117, p. 12-21, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.07.012>

- POLI, Moises Angel et al. Integrated multitrophic aquaculture applied to shrimp rearing in a biofloc system. **Aquaculture**, v. 511, p. 734274, 2019.
- RAY, Andrew J. et al. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. **Aquaculture**, v. 310, n. 1-2, p. 130-138, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.10.019>
- RAY, Andrew J.; DILLON, Kevin S.; LOTZ, Jeffrey M.. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. **Aquacultural Engineering**, [S.L.], v. 45, n. 3, p. 127-136, nov. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.09.001>.
- RICHARDS, Lorenzo Adolph (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. US Government Printing Office, 1954.
- ROMBENSO, Artur N. et al. The marine microbial biomass, Novacq™, a useful feed additive for postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 530, p. 735959, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735959>
- RONQUIM, Carlos César. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 2010.
- SAMOCHA, Tzachi M.. Introduction: biofloc. In: SAMOCHA, Tzachi M.; PRANGNELL, David I.; HANSON, Terrill R.; TREECE, Granvil D.; MORRIS, Timothy C.; CASTRO, Leandro F.; STARESINIC, Nick. **Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei***. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2017. p. 21-25.
- SCHVEITZER, Rodrigo; ARANTES, Rafael; COSTÓDIO, Patrícia Fôes S.; SANTO, Carlos M. do Espírito; ARANA, Luis Vinatea; SEIFFERT, Walter Quadros; ANDREATTA, Edemar Roberto. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. **Aquacultural Engineering**, [S.L.], v. 56, p. 59-70, set. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.04.006>.
- SHANNON, M. C.; GRIEVE, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. **Scientia horticultruae**, v. 78, n. 1-4, p. 5-38, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00189-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00189-7)
- TAW, N., (2010). Biosecurity for shrimp farms. Global Aquaculture Alliance (GAA). **Global Aquaculture Advocate**, Nov., 2010.
- TAW, N., (2015). Shrimp Biofloc technology – efficient and biosecure operation system. **AQUA Culture Asia Pacific Magazine**. Nov./Dec. 2015
- TEDESCO, Marino José; GIANELLO, Clesio; BISSANI, Carlos Alberto; BOHNEN, Humberto; VOLKWEISS, Sergio Jorge. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Ufrgsn Departamento de Solos, 1995. 174 p.
- VAN RIJN, Jaap. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 53, p. 49-56, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.010>
- VELOSO, C. A. C. et al. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agrícola**, v. 49, p. 123-128, 1992. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161992000400016>
- VON SPERLING, Marcos. Remoção de Nutrientes. In: VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de Estabilização**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2017. p. 141-147.