

TRATAMENTO DE EFLUENTES DE TANQUES DE CRIAÇÃO DE *Litopenaeus vannamei* POR SEDIMENTAÇÃO E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA MACROALGA *Ulva fasciata*

Roberto RAMOS¹; LUIS VINATEA²; EDEMAR R. ANDREATTA²; Rejane H. R. da COSTA³

RESUMO

Foi avaliada a eficiência de remoção de sólidos suspensos e nutrientes dissolvidos presentes nos efluentes do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, empregando tratamentos de sedimentação e absorção por macroalgas (*Ulva fasciata*), em três tempos de retenção do efluente: 6, 12 e 24 horas. Os parâmetros de qualidade de água analisados foram oxigênio dissolvido (mg/L), salinidade (‰), pH, temperatura (°C), turbidez (NTU), DBO₅ (mg/L), sólidos suspensos totais (mg/L), amônia (mg/L N-NH₄⁺), nitrito (mg/L N-NO₂), nitrato (mg/L N-NO₃) e ortofosfatos (mg/L PO₄⁻³). Os resultados sugerem que a maior eficiência no processo de sedimentação foram alcançados no tempo de 6 horas, atingindo valores de 94,0%, 93,6%, 41,6%, 74,3%, 47,4% e 56,1% para clorofila *a*, DBO₅, N-NH₄⁺, N-NO₂, N-NO₃ e P-PO₄, respectivamente. Para a remoção da turbidez o melhor desempenho foi alcançado pelo tratamento de 24 horas, com 95,5%, comparado com 78,4% para 6 horas e 93,5% para 12 horas em relação aos valores do efluente bruto. No processo de absorção de nutrientes as maiores porcentagens de remoção foram alcançadas pelo tratamento de 6 horas, com 23,7%, 47,1%, 7,1%, 37,0% e 48,4% para DBO₅, N-NH₃, N-NO₂, N-NO₃ e P-PO₄, respectivamente, quando comparado com os valores do controle. Finalmente, quando integrados os processos de sedimentação e absorção com macroalgas observou-se que todos os tratamentos apresentaram uma alta eficiência de remoção de nutrientes. A turbidez para os três tempos testados foi de 95,8% (6 h), 96,6% (12 h) e 96,8% (24 h). Na remoção final da DBO₅ o melhor desempenho foi conseguido no tempo de 6 horas de retenção, com 90,7%, comparado como os tratamentos de 12 horas (85,6%) e 24 horas (81,4%). No caso da remoção de N-NH₄⁺ (57,1 - 59,8 e 57,4% para 6, 12 e 24 h), N-NO₂ (64,9 - 62,2 e 59,5% para 6, 12 e 24 h), N-NO₃ (37,3 - 21,0 e 41,1% para 6, 12 e 24 h) e P-PO₄ (75,9 - 76,9 e 77,7% para 6, 12 e 24 h) os resultados foram semelhantes. O presente experimento sugere que os processos de sedimentação e absorção testados são eficientes para remover os nutrientes gerados no processo de produção do camarão.

Palavras chaves: efluentes, carcinicultura, macroalgas, sedimentação

TREATMENT OF EFFLUENT FROM PONDS OF *Litopenaeus vannamei* SHRIMP REARING THROUGH NUTRIENTS SEDIMENTATION AND ABSORPTION WITH THE MACROALGA *Ulva fasciata*.

ABSTRACT

Efficiency to remove suspended solids and dissolved nutrients from *Litopenaeus vannamei* marine shrimp effluent through sedimentation and absorption with macroalga (*Ulva fasciata*) was assessed using three settling times: 6, 12 and 24 hours. The water quality parameters analyzed were dissolved oxygen (mg/L), salinity (‰), pH, temperature (°C), turbidity (NTU), BOD₅ (mg/L), total suspended solids (mg/L), ammonia (mg/L N-NH₄⁺), nitrite (mg/L N-NO₂), nitrate (mg/L N-NO₃) and orthophosphates (mg/L PO₄⁻³). Results suggest that highest efficiency in sedimentation stage were found when effluent was left standing for 6 hours, with removal of 94.0%, 93.6%, 41.6%, 74.3%, 47.4% and 56.1% of chlorophyll *a*, BOD₅, N-NH₃, N-NO₂, N-NO₃ and P-PO₄, respectively. The best result to remove turbidity from raw effluent was found in the 24 hours treatment with 95.5% removal rate, when compared with rates of 93.5% for 12 hours and 78.4% for 6 hours. In the nutrient absorption stage, highest removal rates were found in the 6 hours treatment with 23.7%,

Artigo Científico: Recebido em: 18/12/2006; Aprovado em: 23/04/2008

¹ Departamento de Acuicultura, Universidad de Antofagasta, Chile, rramos@uantof.cl

² Laboratório de Camarões Marinhos (LCM), Departamento de Aqüicultura, CCA, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, vinatea@mbox1.ufsc.br

³ Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, rejane@ens.ufsc.br

47.1%, 7.1%, 37.0% and 48.4% for BOD₅, N-NH₃, N-NO₂, N-NO₃ and P-PO₄, respectively, when compared to the control tank. Finally, integrating sedimentation and absorption, all treatments showed high removal efficiency. Turbidity for the three settling times tested was of 95.8% (6 h), 96.6% (12 h) and 96.8% (24 h). In the final removal of BOD₅ the best result was observed in the 6 hours treatment, with 90.7% removal rate, when compared to the 12 hours (85.6%) and the 24 hours (81.4%) treatments. In the removal of N-NH₃ (57.1 – 59.8 and 57.4% for 6, 12 and 24h), N-NO₂ (64.9 – 62.2 and 59.5% for 6, 12 and 24 h), N-NO₃ (37.3 – 21.0 and 41.1% for 6, 12 and 24h), and P-PO₄ (75.9 – 76.9 and 77.7% for 6, 12 and 24h) results were similar. The present study demonstrates that the sedimentation and macroalgae absorption processes tested are efficient methods to remove nutrients from shrimp farm effluents.

Key words: effluents, shrimp farming, macroalgae, sedimentation

INTRODUÇÃO

A carcinicultura brasileira experimentou um rápido crescimento a partir da introdução do camarão branco *Litopenaeus vannamei*, passando de 3.548 toneladas em 1997 para 75.904 no ano 2004 (RODRIGUES, 2005). Conseqüentemente, o Estado de Santa Catarina também acompanhou esse crescimento a partir da introdução da mesma espécie, alcançando em 2003 e 2004 aproximadamente 3.250 e 4.260 toneladas, respectivamente (ABCC, 2004).

Apesar das expectativas positivas que apresenta a carcinicultura para os países que a praticam, especialmente no contexto social, ao contribuir à superação da pobreza através da geração de empregos, fixação do homem na sua região de origem, geração de divisas pela exportação dos produtos, etc., não se pode desconsiderar que a mesma apresenta riscos significativos do ponto de vista ambiental (VINATEA, 1999). A expansão desordenada dos cultivos de camarão em várias regiões levou à degradação ambiental, ocorrência de epizootias e queda da produção. Países como China, Tailândia, Indonésia, Taiwan e Equador, líderes na produção de camarão cultivado, já tiveram que enfrentar grandes quedas de produção devido a problemas relacionados com a deterioração do ambiente de suporte. Esses países tiveram em comum uma rápida expansão da produção, um baixo controle ambiental e uma forte incidência de doenças (BROWDY e HOPKINS, 1995; SANDIFER e HOPKINS, 1996).

Na atualidade, os problemas mais freqüentemente ocasionados pela carcinicultura são a poluição dos corpos de águas naturais com nutrientes e matéria orgânica, devido principalmente ao lançamento de efluentes não tratados (PRUDER, 1992; SANDIFER e HOPKINS, 1996; PÁEZ-OSUNA *et al.*, 1997; XIE *et al.* 2004), o assoreamento de áreas de estuários ou de manguezais pela quantidade de material em

suspensão, que pode ser carregado pelos efluentes das fazendas de cultivo (NASCIMENTO *et al.*, 1998), doenças diversas e destruição de áreas de mangue e estuários (PÁEZ-OSUNA, 2001).

Devido à necessidade de se regulamentar a carcinicultura marinha no Brasil, visando evitar seu crescimento desordenado e conseqüente deterioração ambiental, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) promulgou a Resolução N° 312, de 10 de Outubro de 2002, que trata sobre o licenciamento ambiental dos empreendimentos de carcinicultura na zona costeira. Dentre as regras impostas pela resolução citam-se os artigos 11° e o 12°, que exigem um plano de controle ambiental e plano de monitoramento ambiental, além do artigo 14° que exige o tratamento e controle dos efluentes, a utilização de bacias de sedimentação e a devolução dos efluentes dentro dos padrões da resolução do CONAMA N° 20 de 18 de junho de 1986 (SOUZA, 2003), atualizada pela resolução N° 357/2005. Devido a esta normativa legal é que se faz necessário desenvolver tecnologias que permitam o tratamento e melhoria da qualidade da água dos efluentes gerados.

Entre as alternativas que se colocam para minimizar os impactos ambientais da carcinicultura está a utilização de tanques de sedimentação para reduzir sólidos suspensos (BOYD, 1992; TEICHERT-CODDINGTON *et al.*, 1999; NUNES, 2002), eliminação ou diminuição das trocas de água ao longo do período de cultivo (HOPKINS, 1995; SAMOCHA *et al.*, 2004), uso de “wetlands” (TILLEY *et al.*, 2002; SOUZA, 2003) e a remoção biológica da matéria orgânica e inorgânica presente nos efluentes mediante a utilização de moluscos filtradores (SHPIGEL e NEORI, 1996; SHPIGEL *et al.*, 1997; JARA-JARA *et al.*, 1997; LEFEVRE *et al.*, 2000), remoção de nutrientes por microalgas e macroalgas (WONG e PIEDRAHITA, 2000; PAGAND *et al.*, 2000; NELSON *et al.*, 2001) e tratamentos biológicos

combinando moluscos, macroalgas e sedimentação (NOERI *et al.*, 1998; JONES *et al.*, 2001; JONES *et al.*, 2002; PRESTON *et al.*, 2003).

No Brasil, o tratamento de efluentes da carcinicultura, mediante processos individuais ou integrados de sedimentação, e a utilização de macroalgas para o processo de absorção de nutrientes não têm sido muito pesquisados e são poucos os artigos científicos publicados sobre este assunto. Existem algumas publicações que apresentam resultados de crescimento de macroalgas (*Gracilaria* sp.) empregando efluentes da carcinicultura (MARINHO-SORIANO *et al.*, 2002) e sua importância econômica em processos de bioremediação de ambientes poluídos (VIDOTTI e ROLLEMBERG, 2004). Existem também algumas publicações em anais de congressos que mostram resultados sobre o tratamento de efluentes da carcinicultura utilizando moluscos e macroalgas, destacando seu grande potencial como alternativa interessante do ponto de vista da remoção dos nutrientes nitrogenados e do fósforo (OLIVERA *et al.*, 2003; GÓMEZ *et al.*, 2003; ALENCAR *et al.*, 2003).

Diante da necessidade de se buscar tecnologias de cultivo “ambientalmente amigáveis” foi realizado um experimento em escala laboratorial visando avaliar o potencial do processo físico de sedimentação e da absorção biológica da macroalga *Ulva fasciata* no tratamento do efluente de uma das fases do processo de produção do camarão branco *Litopenaeus vannamei*.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em maio de 2005 nas dependências do Laboratório de Camarões Marinhos (LCM), pertencente ao Departamento de Aqüicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis - SC, localizado na Barra da Lagoa, às margens da Lagoa da Conceição.

O efluente avaliado foi gerado no processo de acondicionamento e crescimento de reprodutores selecionados do processo de cultivo em fazenda e mantidos no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) para obtenção de matrizes. Os mesmos se encontravam em tanques de 50 m³ numa densidade de 20 indivíduos de 35 g por metro quadrado, sendo que 20% do volume destes tanques eram trocados diariamente. Os animais foram alimentados com ração comercial contendo 40% de proteína bruta.

Para coletar o efluente foram realizadas trocas de água nos tanques, deixando o registro aberto por aproximadamente 5 minutos. Posteriormente eram cheios quatro (4) recipientes plásticos de 60 litros de capacidade e transportados à sala de experimentação do laboratório. Uma vez na sala, os sólidos eram res-suspensos mediante agitação mecânica da água, para logo coletar amostras em triplicatas de 500 ml de água do efluente para análise da matéria particulada e nutrientes dissolvidos.

Para avaliar a percentagem de sedimentação foram empregados três (3) tanques cilindro-cônico de cor preta com um volume total de 100 litros. Nestes tanques de sedimentação, o efluente permanecia estático, sem ar, de acordo com os diferentes tempos de retenção hidráulica estudados: 6, 12 e 24 horas, para logo o efluente sobrenadante ser transferido às correspondentes unidades experimentais, onde se encontrava a macroalga para o processo de absorção.

A macroalga *Ulva fasciata*, empregada nesta pesquisa, foi coletada manualmente de populações naturais presentes na Enseada de Armação do Itapocoroy, Penha - SC (26° 47' S - 48° 37' W). No laboratório, as algas eram selecionadas, limpas e acondicionadas em tanques contendo água de mar filtrada durante 24 horas. Para manter os níveis de oxigênio perto da saturação, e as algas em suspensão dentro do sistema, manteve-se aeração constante mediante linhas de ar.

Para o processo de absorção foram empregados nove tanques cilindro cônico transparentes de policarbonato (3 para cada tempo de retenção e o controle) com um volume total de 20 litros, os quais foram cheios com 15 litros do efluente. Cada unidade experimental foi implementada com uma linha central de ar para manter a matéria dissolvida e as macroalgas em suspensão.

Cada tratamento na etapa de absorção por macroalgas consistia em três repetições, exceto o controle que tinha uma unidade só. A unidade controle empregada no teste não continha macroalgas, apenas o efluente. No experimento, foram empregados fotoperíodo natural, temperatura ambiente e aeração constante, tanto nas unidades experimentais quanto no controle. Em cada unidade experimental do processo de absorção, nos três tempos de retenção avaliados, foi usada uma biomassa de 250 g (peso fresco) de macroalga/15 L de efluente.

Em cada etapa experimental, tanto na sedimentação

quanto na absorção por macroalgas, foram coletadas amostras de água em triplicata de 500 mL, as quais foram analisadas nas 24 horas seguintes. As variáveis: oxigênio dissolvido ($\pm 0,01$), temperatura ($\pm 0,01$) e salinidade ($\pm 0,01$) e pH ($\pm 0,01$) foram determinadas mediante o aparelho multi-parâmetros YSI, modelo MP556. A turbidez foi medida utilizando um turbidímetro HACH (modelo XR), expressa em unidades nefelométricas de turbidez (NTU) de acordo com SHPIGEL *et al.*, (op.cit.). A clorofila 'a' foi extraída com uma solução de etanol e determinada por espectrofotometria, segundo metodologia proposta por NUSCH (1980). As amostras de água para determinar a DBO₅ foram incubadas por 5 dias num aparelho HACH (modelo BOD TRACK) de acordo com APHA (1998). Os sólidos suspensos totais (SST) e sólidos voláteis totais (SVT) foram

determinados usando o método apresentado em APHA (1998), no qual, para a determinação dos SST, um volume de água conhecido foi passado por um filtro de fibra de vidro Whatman GF/C previamente pesado e seco (110 °C); posteriormente, o filtro foi secado a 60 °C por 24 horas sendo que a diferença entre o peso inicial e peso final resultou ser o valor dos SST. Os SVT foram determinados pela perda de peso por combustão da amostra (500 °C, 12 horas).

Os nutrientes ortofosfato (PO_4^{-3}), amônia (N-NH_4^+), nitrito (N-NO_2^-) e nitrato (N-NO_3^-) foram analisados no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) utilizando o fotolorímetro micro-processado Alfakit, modelo AT2K8. Os métodos empregados pelo instrumento na determinação dos parâmetros assinalados estiveram baseados no Standard Methods (Tabela 1) (APHA, 1998).

Tabela 1. Métodos empregados na determinação dos nutrientes dissolvidos na segunda etapa experimental (Padrão Alfa Tecnológica Ltda.)

Determinação Colorimétrica	Métodos Reagentes	Número Técnica	Sensibilidade (mg/L)	Limite Máximo da Curva (ppm)
Amônia	Nessler	F010	0,05	7
Nitrito	1-Naftilamina	F053	0,003	0,5
Nitrato	Brucina	F051	0,3	15
Ortofosfato	Alfa amino	F056	0,05	5

Para avaliar a eficiência de remoção (%) nos tratamentos de sedimentação e absorção de macroalgas, foi empregada a relação:

$$\text{ER (\%)} = \frac{[\text{Concentração afluyente} - \text{Concentração efluyente}]}{\text{Concentração afluyente}} \times 100$$

Com o auxílio do software Microsoft Excel (2002) foram calculados a média e o desvio padrão para os dados dos processos de sedimentação e absorção por macroalgas.

Os valores das porcentagens de remoção foram transformados a seus equivalentes arco seno, logo foi verificada a normalidade dos dados mediante o teste de Kolmogorov - Smirnov ($P < 0,05$) antes da aplicação da análise de variância (ANOVA). Posteriormente, para determinar possíveis diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as médias dos tratamentos, foi utilizado o teste de contraste de medias TUKEY ($P < 0,05$).

Para os diferentes procedimentos estatísticos foram utilizados os softwares *Statistica 6.0.* e o *Assistat versão 7.3 Beta.*

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis temperatura, salinidade, pH e oxigênio dissolvido não apresentaram variações substanciais em todas as etapas do experimento, com exceção do oxigênio dissolvido que, no processo de sedimentação, teve uma queda significativa nos tempos de 12 e 24 horas quando comparado com o tratamento de 6 horas (Tabela 2). Esta queda do oxigênio no tratamento de 12 e 24 horas está diretamente relacionada com processos aeróbios que demandam oxigênio para se realizar, fato refletido pelos valores da DBO, que se incrementavam a medida que o tempo de retenção aumentava.

Pode-se estabelecer que, no processo de sedimentação, as melhores eficiências de remoção para a maioria dos parâmetros avaliados foram obtidas no tempo de 6 horas (Tabela 3). Essa maior eficiência para os nutrientes, amônia, nitrito, nitrato e fosfato foi de 41,6, 74,3, 47,4 e 56,1%, respectivamente. Os resultados permitiram constatar a existência de uma tendência de redução dos sólidos, clorofila 'a' e DBO.

Tabela 2. Valores médios (n = 3) das variáveis: temperatura, salinidade, pH e oxigênio dissolvido, nas etapas de sedimentação e absorção por macroalga *Ulva fasciata*, no processo de tratamento de efluentes de *Litopenaeus vannamei*

Tratamentos	Temperatura (°C)	Salinidade (‰)	pH	Oxigênio dissolvido (mg/L)
Efluente Bruto	25,1	31,1	7,4	4,1
Tanque controle 6 h	23,1	31,5	8,1	6,9
Sedimentação 6 h	22,8	31,5	7,9	5,4
Absorção 6 h	23,1	31,5	8,1	6,5
Tanque controle 12 h	23,4	31,4	8,1	6,6
Sedimentação 12 h	23,3	31,5	7,9	-
Absorção 12 h	23,5	31,4	8,1	5,7
Tanque controle 24 h	22,7	31,5	8,2	6,4
Sedimentação 24 h	23,3	31,4	7,7	2,3
Absorção 24 h	22,8	31,5	8,1	6,5

Quanto à concentração de sólidos voláteis totais (SVT), a sedimentação apresentou uma baixa eficiência de remoção em todos os tratamentos. A maior eficiência apresentou-se no tempo de 6 horas, com 2,7% de eficiência. Para os outros tratamentos houve um acréscimo na concentração quando comparados com a concentração presente

no efluente bruto, sendo que, conforme a Tabela 3, são apresentados valores negativos, os quais não foram analisados estatisticamente. Diferente destes resultados, JONES *et al.* (2001) estabeleceram que a fração orgânica dos sólidos suspensos para as primeiras 24 horas, no processo de sedimentação apresenta um incremento de 23 a 31%.

Tabela 3. Valores médios (n 3 ± desvio padrão) de três amostras coletadas em diferentes pontos nos tanques com efluente bruto e de sedimentação, nos diferentes tempos testados de 6, 12 e 24 horas de retenção do efluente (sedimentação) no processo de tratamento de efluentes de *Litopenaeus vannamei*

Tratamentos	Turbidez (NTU)	SVT (mg/L)	SST (mg/L)	CLO-a (µg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)
Efluente Bruto	84,6 ± 6,5	3,80 ± 0,30	532,0 ± 22,9	65,6 ± 3,05	31,2 ± 0,14	2,09 ± 0,20	0,37 ± 0,014	16,87 ± 0,07	8,66 ± 0,11
Sedimentação 6 h	18,3 ± 2,1	3,70 ± 0,33	204,0 ± 5,03	39,0 ± 2,9	2,0 ± 0,07	1,22 ± 0,07	0,09 ± 0,007	8,84 ± 0,049	3,8 ± 0,42
% Eficiência	78,4 b	2,7	61,7 ab	40,4 a	93,6 a	41,6 a	74,3 a	47,4 a	56,1 a
Sedimentação 12 h	5,5 ± 0,7	4,0 ± 0,36	108,0 ± 4,89	65,0 ± 5,44	4,50 ± 0,01	1,64 ± 0,07	0,12 ± 0,007	16,05 ± 0,43	4,39 ± 0,91
% Eficiência	93,5 a	-11,1	79,7 a	1,5 b	85,6 b	21,5 c	67,6 b	4,9 b	49,3 c
Sedimentação 24 h	3,8 ± 0,9	8,0 ± 0,67	312,0 ± 17,3	37,3 ± 3,02	10,8 ± 0,07	1,26 ± 0,08	0,21 ± 0,007	17,3 ± 0,52	4,31 ± 1,04
% Eficiência	95,5 a	-110,5	41,4 b	43,1 a	65,4 c	39,7 b	43,2 c	-2,7	52,3 b

Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não denotam diferença significativa ($P > 0,05$). Valores negativos não foram analisados estatisticamente

No caso dos sólidos suspensos totais (SST), ressaltam-se as altas percentagens de remoção alcançadas pelos três tratamentos, sendo que o tratamento de 12 horas apresentou o mais alto decréscimo (79,7%), não apresentando diferenças

estatísticas ($P > 0,05$) com o tratamento de 6 horas, que conseguiu remover 61,7%. Por sua vez, o tratamento de 24 horas não se diferenciou ($P > 0,05$) com o tratamento de 6 horas, tendo uma eficiência de remoção de 41,4% em relação aos SST presentes

no efluente bruto. Estes resultados permitiram concluir que o processo de sedimentação constitui um importante auxílio na redução dos sólidos suspensos presentes no efluente da carcinicultura, tal como fora determinado por Teichert-Coddington *et al.* (1999) e Jones *et al.* (2001). Para o caso da Clorofila 'a', as mais altas percentagens de remoção foram alcançadas nos tratamentos de 6 e 24 horas, com 40,4 e 43,1% respectivamente. Esses resultados foram superiores aos obtidos por Jones *et al.* (2001) que reportam valores de 27,7% após 24 horas de sedimentação. Quanto à diminuição da DBO, nos três tempos testados as porcentagens de remoção foram bastante significativas: 93,6% para 6 horas, 85,6% para 12 horas e 65,4% para o tratamento de 24 horas de retenção do efluente, apresentando todos eles diferenças significativas ($P < 0,05$). Comparado com o valor de 9,3% de remoção na DBO reportado por Teichert-Coddington *et al.* (1999) após 6 horas de sedimentação, os resultados da presente pesquisa podem ser considerados notáveis.

A respeito da redução dos nutrientes: amônia, nitrito, nitrato e fosfato no processo de sedimentação, constatou-se que todos os tempos testados apresentaram valores elevados de remoção, com especial destaque para o tempo de 6 horas, que

conseguiu uma maior eficiência (Tabela 3). Este resultado difere daqueles obtidos por Jones *et al.* (2001), onde não foram encontradas variações para esses parâmetros. Inclusive a amônia apresentou um incremento superior a 95% entre os valores do efluente após 24 horas de sedimentação.

Foi possível estabelecer que os melhores resultados na remoção de SVT, SST e DBO, devido à absorção das macroalgas, foram atingidos no tratamento de 6 horas, quando comparado com os valores dos outros tempos testados (Tabela 4). O tratamento de 12 horas apresentou resultados negativos, tendo um incremento na concentração deste parâmetro, quando comparado com o tanque controle usado como referencial. A concentração de clorofila 'a' também sofreu uma importante diminuição (95%), especialmente no tratamento de 24 horas, sendo que os três tempos testados apresentam diferenças significativas ($P < 0,05$). Essa alta eficiência de remoção no tempo de 24 horas pôde ser devida à mortalidade e posterior sedimentação do fitoplâncton. Esse fato coincide com o observado por Jones *et al.* (2001) para o tratamento com macroalgas (*Gracilaria edulis*), que também apresenta incrementos na remoção da clorofila após 24 horas.

Tabela 4. Valores médios ($n = 3 \pm$ desvio padrão) de três repetições para os tempos de 6, 12 e 24 horas de retenção do efluente (absorção por macroalga *Ulva fasciata*) no processo de tratamento de efluentes de *Litopenaeus vannamei*

Tratamentos	Turbidez (NTU)	SVT (mg/L)	SST (mg/L)	CLO-a (μ g/L)	DBO ₅ (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)
Tanque Controle 6 h	6,6 \pm 0,8	6,0 \pm 0,04	266 \pm 8,8	2,3 \pm 3,05	3,80 \pm 0,03	1,70 \pm 0,44	0,14 \pm 0,021	16,86 \pm 0,91	4,15 \pm 0,47
Absorção 6 h <i>Ulva fasciata</i>	3,5 \pm 0,0	4,75 \pm 0,45	232 \pm 10,0	5,11 \pm 0,168	2,90 \pm 0,0	0,90 \pm 0,07	0,13 \pm 0,07	10,6 \pm 1,0	2,14 \pm 0,23
% Eficiência	44,4 b	16,7 a	12,78 a	77,1 c	23,7	47,1 a	7,1 b	37,0 a	48,4 b
Tanque Controle 12 h	3,7 \pm 0,5	6,20 \pm 1,03	180 \pm 11,7	0,93 \pm 0,07	3,70 \pm 0,04	1,13 \pm 0,11	0,14 \pm 0,014	16,59 \pm 0,62	4,47 \pm 0,59
Absorção 12 h <i>Ulva fasciata</i>	2,9 \pm 0,7	4,45 \pm 0,78	214 \pm 13,4	3,25 \pm 0,06	4,50 \pm 0,0	0,84 \pm 0,19	0,14 \pm 0,01	13,3 \pm 1,18	2,0 \pm 0,68
% Eficiência	21,6 c	- 16,1	- 18,9	84,4 b	-21,6	25,7c	0	19,7 c	55,3 a
Tanque Controle 24 h	5,6 \pm 0,4	4,5 \pm 0,88	264 \pm 4,3	37,2 \pm 7,33	4,90 \pm 0,07	1,52 \pm 0,65	0,29 \pm 0,021	13,3 \pm 1,3	3,59 \pm 0,57
Absorção 24 h <i>Ulva fasciata</i>	2,7 \pm 0,12	3,9 \pm 0,07	244 \pm 8,99	1,86 \pm 0,07	5,8 \pm 0,007	0,89 \pm 0,11	0,15 \pm 0,007	9,9 \pm 1,2	1,93 \pm 0,54
% Eficiência	51,8 a	13,3 b	7,57 b	95,0 a	-8,4	41,4 b	28,6 a	25,7 b	46,2 c

Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não denotam diferença significativa ($P > 0,05$). Valores negativos não foram analisados estatisticamente. Os valores "zero" correspondem a tratamentos que não apresentaram remoção da variável

Esta tendência de diminuição na concentração foi similar para amônia e nitrato, sendo mais alta no tempo de 6 horas de retenção do efluente. Na remoção do fosfato, os três tempos avaliados apresentaram valores de remoção perto de 50% (48,4, 55,3 e 46,2% para 6, 12 e 24 horas, respectivamente). Esse decréscimo na concentração de amônia, nitrito, nitrato e fosfato coincidem em parte com os resultados de Jones *et al.* (2001), em que a macroalga *Gracilaria edulis* conseguiu absorver respectivamente 97,5, 97,7 e 95,2%.

Em relação às porcentagens de remoção final para os tratamentos combinados, isto é, somando os processos de sedimentação e absorção por

macroalgas, em 6, 12 e 24 horas, foi possível observar que os tratamentos aplicados apresentaram uma alta eficiência (Figura 1). As variáveis turbidez, clorofila 'a', DBO e fosfatos apresentaram os maiores decréscimos, nos três tempos de retenção do efluente. Por outro lado, os resultados obtidos com os SVT permitem concluir que os tratamentos aplicados, individualmente ou integrados, não são eficientes na remoção deste parâmetro, já que apresentaram valores muito baixos ou negativos, o que indica um acréscimo na sua concentração após tratamento. Destacam-se também os valores alcançados na remoção de SST, amônia e nitrito, superiores a 50%.

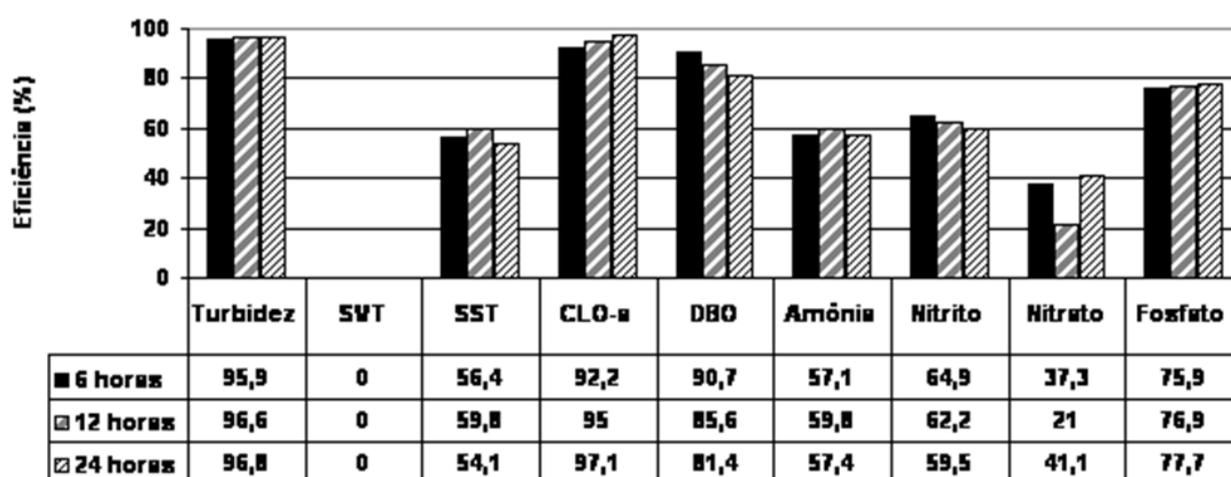


Figura 1. Percentagens de remoção total (sedimentação + absorção por macroalgas) dos nutrientes no diferentes tempos avaliados em relação ao efluente bruto. Os valores "zero" no parâmetro Sólidos Voláteis Totais (SVT) correspondem a valores negativos

CONCLUSÃO

De acordo as condições experimentais nas quais foi executado o estudo, é possível concluir que, o processo de sedimentação é uma fase importante para o tratamento dos efluentes da carcinicultura, que tem especial relevância na remoção da turbidez, constituída principalmente pelos sólidos suspensos totais. A respeito da utilização da macroalga *Ulva fasciata* se pode concluir que nos três tempos avaliados, as percentagens de remoção de fosfatos foram consideráveis, haja vista que em alguns tratamentos se conseguiu reduzir a concentração deste nutriente e também dos produtos nitrogenados em valores próximos a 50%.

Os resultados demonstram que a aplicação de tratamentos combinados (sedimentação + absorção) é eficiente para melhorar a qualidade das águas de rejeito da indústria do camarão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos projetos CNPq CT-Agro (Projeto 504277 / 2003-0) e MECESUP - CHILE ANT 0106 pelos recursos financeiros para desenvolver o estudo. Ao Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) e Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) por facilitar suas instalações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCC. 2004. Carcinicultura Brasileira. O censo de 2003. Panorama da Aqüicultura. Março - Abril 2004.
- ALENCAR, J. R.; HORTA, P.; EMOTO, S.; DUTRA, F.; WEISS, L. and BOUZON, Z. 2003. Evaluation of *Ulva lactuca* (Ulvales, Chlorophyta) growth in different salinities: an alternative for the treatment of carciniculture effluents in the south of Brazil.

- In: Book of Abstract, V. 2, World Aquaculture Meeting, May 19-23, 2003 Salvador, Brasil.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. American Public Health Association. Springfield, Byrd Prepress, 20^o ed. 1998. 1193 p.
- BOYD, C. E. 1992. Shrimp pond bottom soil and sediment management. In: Wyban, J. (ed), World aquaculture society '92. Proceedings of the special session on shrimp farming. Baton Rouge: World aquaculture society, 1992. p. 166-181.
- BROWDY, C.L.; HOPKINS, J.S. (ed). 1995. Swimming through troubled water. Proceeding of the special session on shrimp farming. San Diego; The world Aquaculture Society. 253 p
- GOMES, I.; LACERDA, E.; LEITE, A. and OLIVERA, A. 2003. Effluent treatment of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1831) in laboratopry, using three stages, sedimentation, oyster filtration and macroalgae absorbtion. In: Book of Abstract, V. 2, World Aquaculture Meeting, May 19-23, 2003 Salvador, Brasil.
- HOPKINS, J. S. 1995. A review of water management regimes, which abate the environmental impacts of shrimp farming. In: Browdy, C. L. e J. S. Hopkins (eds). Proceedings of the special session on shrimp farming. Aquaculture '95. World aquaculture society, p.157-166
- JARA-JARA, R.; PAZOS, A.; ABAD, M.; GARCIA-MARTIN,L. and SANCHEZ, J. 1997. Growth of clam seed (*Ruditapes decussatus*) reared in the wasterwater effluent from a fish in Galicia (N.W.Spain). *Aquaculture*, vol. 158 (3/4). P. 247-262.
- JONES, A; W.C. DENNISON, N. and P. PRESTON. 2001. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. *Aquaculture* 193 : 155-178.
- JONES, A; PRESTON, P. and W.C. DENNISON, 2002. The efficiency and condition of oyster and macroalgae used as biological filters of shrimp pond effluent. *Aquaculture Research*, 33, 1-19.
- LEFEBVRE, S.; BARILLÉ, L. and CLAIRE, M. 2000. Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) feeding responses to a fish-farm effluent. *Aquaculture*, vol. 1-2. p. 185-198.
- MARINHO-SORIANO, E.; MORALES, C. and MOREIRA,W.S.C. 2002. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp pond effluents in Brazil. *Aquaculture Research*, 33: 1081-1086.
- NASCIMENTO, I.; MANGABEIRA, F.; EVANGELISTA, A.; SANTOS, A.; PEREIRA, S.; SILVANY, A. e CARVALHAL, G. 1998. Cultivo integrado de camarões e ostras: a busca de uma tecnologia limpa para o desenvolvimento sustentado. In: Anais de Aqüicultura Brasil'98 - Desenvolvimento com sustentabilidade. Recife-Pe - ABRAQ, v.2 , p. 503-514.
- NELSON, S.; GLENN, E.; CONN, J.; MOORE, D.; WALSH, T. and AKUTAGAWA, M. 2001. Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditches and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system. *Aquaculture*, vol. 193 (3/4), p. 239-248.
- NEORI, A.; RAGG, N. and SHPIGEL, M. 1998. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: II. Performance and nitrogen portioning within an abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system. *Aquacultural Engineering* 17, 215-239.
- NUNES, A. 2002. Tratamento de efluentes e recirculação de água na engorda de camarão marinho. *Panorama de Aqüicultura* 71, 27-39.
- NUSH, E. A. 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol.Beith. Stuttgart*, 14: 14-36.
- OLIVERA, A.; GUIMARÃES, E.; ALVES, G. and GUIMARÃES, I. 2003. Shrimp farming effluent treatment using the "Native Oyster" *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) in Rio Formoso community-PE, Brasil. In: Book of Abstract, V. 2, World Aquaculture Meeting, May 19-23, 2003 Salvador, Brasil.
- PAEZ-OSUNA, F.; GUERRERO-GALVAN, S.; RUIZ-FERNANDEZ, A. and ESPINOZA-ANGULO, R. 1997. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in north-western, México. *Mar. Pollut. Bull.*, 34, 290-297.

- PÁEZ-OSUNA, F. 2001. The environmental impact of shrimp aquaculture: a global perspective. *Environmental Pollution*, Amherst, v. 112, p. 229-231.
- PAGAND, P.; BLANCHETON, J. LEMOALLE, J. and CASELLAS, C. 2000. Low density fish farm including unit containing *Ulva lactuca* or *Gracilaria verrucosa*. *Aquaculture Research*, vol. 31, No 1, p 729.
- PRESTON, N.; CHRISTOPHER, J. and BUFORD, M. 2003. Recent advances towards minimizing and managing waste nutrients from intensive shrimp farms in Australia. In: Book of Abstract, V. 2, World Aquaculture Meeting, May 19-23, 2003 Salvador, Brasil.
- PRUDER, G. Marine Shrimp pond effluent: Characterization and environmental impact. In: Wyban, J. (ed), World aquaculture society '92. Proceedings of the special session on shrimp farming. Baton Rouge: World aquaculture society, 1992. p. 187-1190.
- ROCHA, P. I. 2005. Um análise da produção, demanda e preços do camarão no mercado internacional. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC)*. Nº 2, Junho 2005. p 24-35..
- RODRIGUES, J. 2005. Carcinicultura Marinha Desempenho em 2004. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC)*. Nº 2, Junho 2005. p 38-44.
- SANDIFER, P. & HOPKINS, J. 1996. Conceptual design of a sustainable pond-based shrimp culture system. *Aquacultural Engineering* 15, 41-52.
- SAMOCHA, M.; LOPEZ, M.; JONES E.; JACKSON, S. and LAWRENCE, A. 2004. Characterization of intake and effluent waters from intensive and semi-intensive shrimp farms in Texas. *Aquaculture Research* 35, 321-339.
- SOUZA, T. 2003. Tratamento de efluentes de carcinicultura por dois wetlands artificiais pilotos, com e sem *Spartina alterniflora*. Perspectivas de aplicação. Dissertação (Mestrado em Aqüicultura), Departamento de Aqüicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- SHPIGEL, M. & NEORI, A. 1996. The integrated culture of seaweed, Abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: I. Proportions of size and projected revenues. *Aquacultural Engineering* 15, 313- 326.
- SHPIGEL, M; GASITH, A. and E. KIMMEL. 1997. A biomechanical filter for treating fish-pond effluents. *Aquaculture*, 152: 103-117.
- TEICHERT-CODDINGTON, D.R.; D.B. ROUSE; POTTS, A. and C.E, BOYD. 1999. Treatment of harvest discharge form intensive shrimp pond by settling. *Aquacultural Engineering*, 19 : 147-161.
- TILLEY, D.; BADRINARAYANAN, H.; ROSATI, R. and SON, J. 2002. Constructed wetlands as recirculation filters in large-scale shrimp aquaculture. *Aquacultural Engineering* Vol. 26, Nº2, p.81-109.
- VIDOTTI, E.C. & ROLLEMBERG, M. 2004. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica. *Quim. Nova*, Vol, 27, No 1, 139-145.
- VINATEA, L. 1999. Aqüicultura e desenvolvimento sustentável. Florianópolis : Editora da UFSC.
- WONG, B. e PIEDRAHITA, R. 2000. Settling velocity characterization of aquacultural solids. *Aquacultural Engineering* 21, 233-246.
- XIE B.; ZHUHONG, D. and XIAORONG, W. 2004. Impact of the intensive shrimp farming on the water quality of the adjacent coastal creek from Easter China. *Mar. Pollut. Bull.* 48: 543-553.