

ESTUDO COMPARATIVO DE DOIS REATORES HÍBRIDOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES HETEROTRÓFICOS DE CULTIVO DE CAMARÃO MARINHO

Weruska de Melo COSTA¹, Henrique David LAVANDER², Alfredo Olivera GÁLVEZ² e Luis Alejandro Vinatea ARANA³

¹ Departamento de Biologia - Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

² Departamento de Pesca e Aquicultura - Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

³ Departamento de Aquicultura – CCA – UFSC

email: weruskac@yahoo.com.br

Recebido em 15/04/2015

Resumo – O lançamento de efluentes sem tratamento prévio em ambientes aquáticos pode resultar em acumulação crônica de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, levando ao processo de eutrofização artificial. As atividades de aquicultura produzem resíduos e efluentes que frequentemente necessitam ser removidos, no intuito de equilibrar o sistema e evitar que o mesmo entre em declínio. Foram montados dois reatores, inoculados com água proveniente de cultivos heterotróficos de camarão marinho, para operarem em regime contínuo, objetivando a diminuição de parâmetros como amônia, ortofosfato e demanda química de oxigênio, que em excesso, são prejudiciais ao meio ambiente. Os dois reatores operaram simultaneamente durante 120 h, nas etapas de recirculação. A vazão permaneceu constante em 2880 L dia⁻¹ e 5760 L dia⁻¹ nas 120 h de funcionamento recirculado com uma vazão de 1 L min⁻¹ e uma vazão total de afluente de 1440 L dia⁻¹, o que resulta em um TRH de 0,35 dias ou 7,2 h. Verificou-se neste tipo de reator, que o controle de fluxo de forma ascendente foi essencial, pois permitiu a retenção da biomassa com uma mobilidade limitada em relação a suspensão do lodo. Esta dinâmica contribuiu essencialmente para agregação de mais matéria orgânica, clareamento da água e queda nos parâmetros químicos de ortofosfatos, compostos nitrogenados e amônia. Os resultados indicam ainda a necessidade de estudos complementares em atividade metanogênica. O tempo necessário para o tratamento em relação a operação do sistema é baixo. As condições operacionais do sistema conseguiram tratar efetivamente a água, deixando o efluente final com as características exigidas pela legislação ambiental CONAMA relacionados à matéria nitrogenada e aos demais parâmetros físicos e químicos.

Palavras-Chave: Ambiente, Resíduos, Recirculação

COMPARATIVE STUDY OF TWO HYBRIDS REACTORS IN HETEROTROPHIC WASTEWATER TREATMENT OF MARINE SHRIMP CULTIVATION

Abstract - The release of untreated effluents in aquatic environments result in chronic accumulation of nutrients, particularly phosphorus and nitrogen, leading to artificial eutrophication. Aquaculture activities produce waste and effluents that often need to be removed in order to balance the system and prevent decrease. They were mounted two reactors inoculated with water from heterotrophic cultivation of marine shrimp, to operate continuously in order to decrease parameters such as ammonia, orthophosphate and chemical oxygen demand, excess that are harmful to the environment. The two reactors operated simultaneously for 120 h, the recirculation steps. The flow remained constant at 2880 G and 5760 day-1 day-1 L in 120 hours of operation recirculated with a flow rate of 1 L min-1 and a total flow of 1440 U influent day-1, which results in a TRH 0.35 days or 7.2 h. It was found in this type of reactor, that the rise was essential form of flow control because it allowed the retention of biomass with limited mobility in relation to the sludge suspension. This dynamic contributed essentially to aggregate more organic matter, water

whitening and falling chemical orthophosphate parameters, nitrogen and ammonia. The results also indicate the need for further studies in methanogenic activity. The time required for the treatment compared to system operation is low. The system operating conditions to effectively treat water, leaving the final effluent with the characteristics required by environmental legislation related by CONAMA nitrogenous matter and the other physical and chemical parameters.

Keywords: Environment, Waste, Recirculation

Trabalho financiado por: Programa Amazônia Azul – CAPES.

INTRODUÇÃO

O lançamento de efluentes sem tratamento em ambientes aquáticos pode resultar em uma acumulação de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, eutrofizando o ambiente. Este acúmulo geralmente se dá aos poucos, principalmente quando se depositada no solo e promove reações advindas de diversas descargas (ZHANG et al., 2006), provoca mudanças nas condições físicas e químicas dos ambientes aquáticos, alterações qualitativas e quantitativas em comunidades aquáticas e no incremento do nível de produção do ambiente aquático, podendo causar a mortalidade de animais aquáticos e impactar a microfauna e a microflora do ambiente (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Efluentes dos cultivos intensivos de camarão são tipicamente caracterizados por altas cargas de nitrogênio, fósforo, carbono orgânico, sólidos suspensos e demanda química de oxigênio (PÁEZ-OSUNA, 2001) e sua liberação sem tratamento prévio ao ambiente além de representar uma perda de nutrientes também pode eutrofizar o meio (PIEDRAHITA, 2003; COHEN et al., 2005) e reduzir a rentabilidade dos cultivos (SMITH et al., 2002).

De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO, 2014), cerca de 91,88% da produção mundial de camarão cultivado é da espécie *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) com uma produção em 2012 de 3.178.721,10 toneladas, sendo que no Brasil a produção foi de aproximadamente 71.000 t. A produção de *L. vannamei* tem apresentado crescimento, devendo-se à oferta de ração de boa qualidade, crescimento em diferentes condições ambientais e ao estudo e domínio do seu ciclo reprodutivo.

Os cultivos de camarões em meio heterotrófico utilizam fertilizantes que, indiretamente, possuem capacidade de aumentar as concentrações de nitrogênio e fósforo da água. Além disso, os resíduos da ração não consumida, após serem degradados em nutrientes inorgânicos pelos microorganismos, são convertidos em amônia, fosfato e dióxido de carbono. A qualidade da água do cultivo de camarão é avaliada através de parâmetros físicos e químicos, incluindo variáveis como nitrito, nitrato, amônia, pH, oxigênio dissolvido, ortofosfato, alcalinidade, temperatura, dentre outros (NUNES, 2002).

Por outro lado, durante a noite e no início da manhã, a excessiva respiração do fitoplâncton pode ocasionar o consumo por completo do oxigênio dissolvido e, conseqüentemente, a morte da maioria dos organismos heterotróficos o que vem a ser preocupante para carcinicultores que utilizam o sistema heterotrófico, pois a perda de flocos que sustentam o sistema ocasiona excesso de matéria orgânica e inorgânica, que logo serão precipitadas prejudicando o crescimento dos

animais e podendo levar a perda de parte da produção seja por morte, inibição do crescimento ou queda na qualidade do camarão por escurecimento ou entupimento de brânquias (MIDLEN & REDDING, 1998). O nitrogênio dos efluentes das atividades de aquicultura provém principalmente da proteína das rações, sendo que parte é excretada pelos organismos na forma de amônia, enquanto o restante é eliminado pelas fezes na forma de nitrogênio orgânico (COCHAVA et al., 1990).

Atualmente há um grande interesse pelo tratamento anaeróbio de resíduos líquidos e sólidos provenientes da agropecuária e da agroindústria, por apresentar vantagens significativas quando comparado aos processos comumente utilizados de tratamento aeróbio de águas residuárias, ou aos processos convencionais de compostagem aeróbia de resíduos orgânicos sólidos. De acordo com Paula Júnior (1995) os benefícios apresentados pelo tratamento anaeróbio são: ausência de equipamentos sofisticados, menor consumo de energia, baixa produção de lodo a ser disposto e produção de metano, utilizável energeticamente.

Embora a experiência prática com o tratamento anaeróbio de efluentes líquidos seja ainda recente, no Brasil não existem estudos deste potencial em maricultura ou sistemas de cultivos aquícolas, no entanto, este potencial pode ser avaliado a partir do conhecimento de poucas características do efluente a ser tratado. Uma avaliação preliminar dessas características auxiliará na escolha do processo de tratamento mais adequado, permitindo, dessa forma, estimativas de produção de resíduos biológicos e requisitos de nutrientes que servirão de base para estudos de características de efluentes permitindo além do reuso a segurança em devolver ao meio ambiente uma água de melhor qualidade.

Neste contexto, diante da busca por novas tecnologias ambientalmente sustentáveis para solucionar a problemática dos efluentes da carcinicultura, esta pesquisa foi realizada objetivando avaliar a eficiência de dois diferentes tipos de reatores: compartimentado e não compartimentado na redução das cargas orgânicas de efluentes de cultivo heterotrófico de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram montados dois reatores, inoculados com água proveniente de cultivos heterotróficos de camarão marinho, para operarem em regime contínuo, a partir de bombonas de PVC com e sem compartimentos internos, o que permitiu a passagem do fluxo de maneira diferenciada através de chicanas e livre disposição da passagem do fluxo. A água utilizada nesta pesquisa foi proveniente

de cultivos de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* do Laboratório de Sistemas de Produção Aquícola – LAPAQ/UFRPE. A água, armazenada em tanques de 500 L, foi encaminhada ao Laboratório de Maricultura Sustentável – LAMARSU/UFRPE e depositada em um tanque de armazenamento de fibra de vidro com capacidade de 2000 L, com aeração constante. Desse tanque, por meio de uma bomba centrífuga (Schneider, BSC-94 – 1/2 CV – 60 Hz), a água foi encaminhada para as unidades de equalização com volumes de 50 L, onde foram bombeadas (bomba dosadora Emec – CMSCO 0260PP – 50-60 Hz) para as unidades de tratamento de 200 L.

As características físicas e das condições operacionais do sistema de tratamento se mantiveram com as seguintes dimensões: Altura do reator (m): 1,30; Diâmetro(m) 0,70, Volume (L) 200, peso: 11 Kg e vazão de 1 L min⁻¹.

Os reatores foram montados em recipientes de PVC, do tipo bombona de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e seu processo de adaptação ao reator constituiu-se em um corte na extremidade superior para limpeza e ajuste das placas de compartimentos (chicanas), colocação de três placas de compartimentos (de mesmo material da bombona) fixadas através de colagem por maçarico. Foram adaptadas a entrada e a saída da água através de cortes opostos e colocação de cano de PVC que permitiram a entrada e saída da água do reator através de bombeamento com fluxo ascendente no interior do reator. O segundo reator manteve as mesmas características, excetuando as placas de compartimentos (Figura 1: A e B).

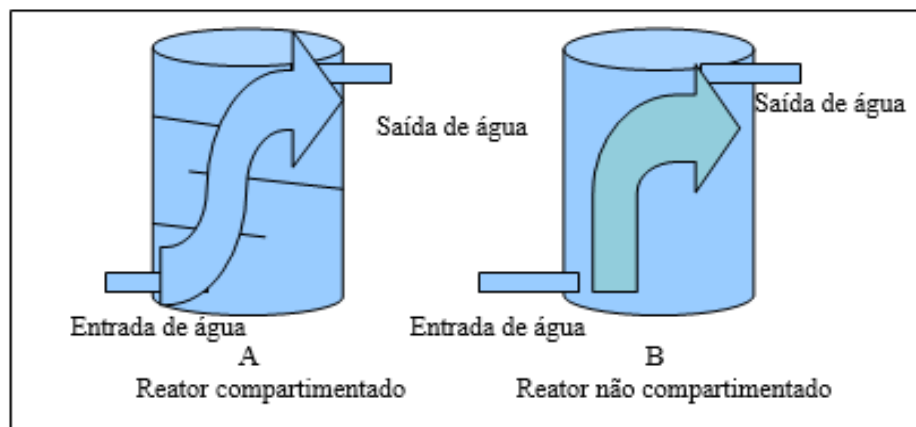


Figura 1. A e B: Esquema de entrada e saída de água dos reatores compartimentado (RC) e não compartimentado (RNC).

O efluente de saída das unidades foi recirculado para a unidade de equalização, por meio da bomba centrífuga para estudo das fases operacionais de condições de recirculação: Etapa I – 50% da vazão total (2880 L dia⁻¹) e Etapa II – 100% da vazão total (5760 L dia⁻¹) (vazão da recirculação), com duração de 120 h, respectivamente. As principais características físicas e

operacionais (vazão e tempo de retenção hidráulica - TRH) do sistema de tratamento estão apresentadas na Figura 2.

Inicial (EI) e a saída do Efluente Final (EF). Foram medidas temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidade (‰), O_2 (‰), O_2 (mg L^{-1}), pH, condutividade (ms cm^{-1}) com sonda multiparâmetros (YSI 6600 V2), ortofosfato, nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$) (mg L^{-1}) (cromatografia iônica DIONEX 120), cor (UC, espectrofotometria, $\lambda = 254 \text{ nm}$) e amônia (NH_4), segundo o *Standard Methods* (APHA, AWWA, WEF, 2005), Demanda Química de Oxigênio - DQO ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) e sólidos totais suspensos (mg L^{-1}), por gravimetria).

O sistema foi monitorado por três sequências de tratamento de 120 h (três repetições) e com amostragens diárias para obtenção de médias, tendo como Efluente Inicial (EI) a água que foi proveniente diretamente dos cultivos heterotróficos (tempo 0 h) e Efluente Final (EF) a água tratada e recirculada no reator (tempos de 24 a 120 h). Para os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, as amostras foram obtidas diretamente do sistema, armazenadas em garrafas plásticas de 500 mL, congeladas e encaminhadas para o laboratório. As análises físicas e químicas seguiram as disposições do Manual técnico *Standard Methods* (APHA, AWWA, WEF, 2005). As vazões foram ajustadas mecanicamente e monitoradas durante as 120 h por medição direta (método volumétrico).

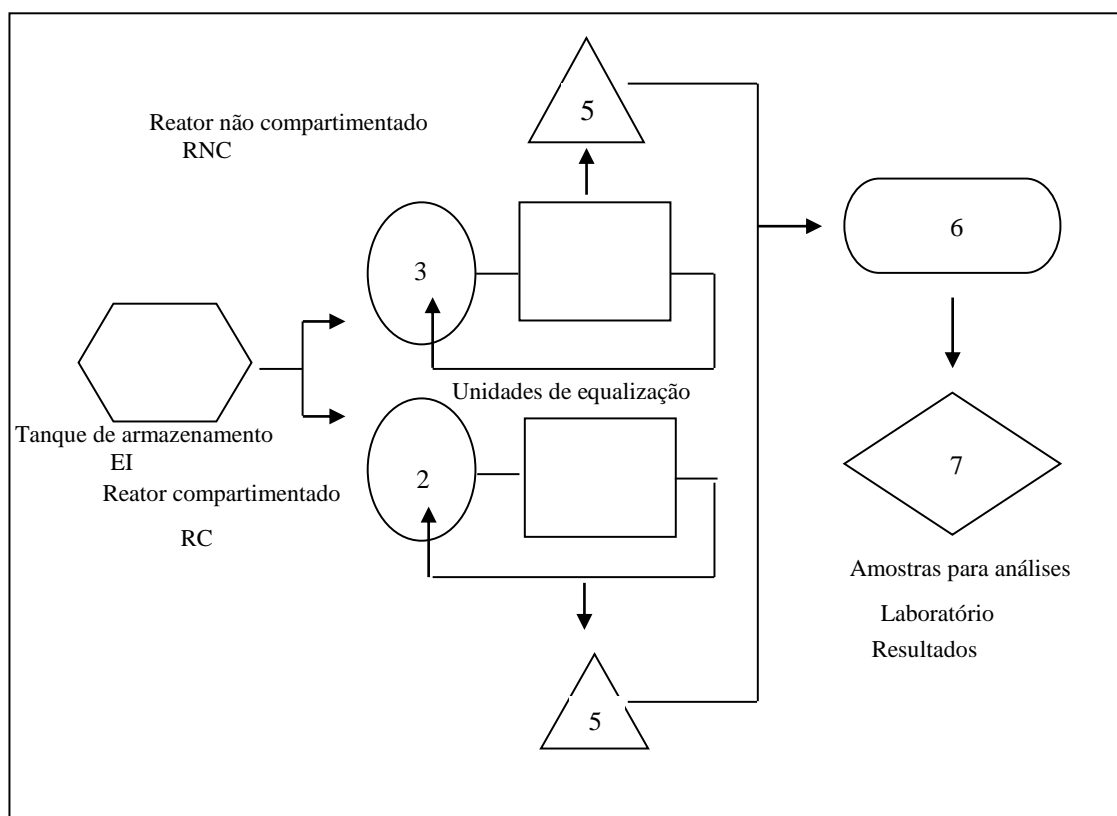


Figura 2. Esquema de funcionamento dos reatores: captação de água (1), bombeamento ao reator (2 e 3), unidades equalizadoras e recirculação (4). Momentos das análises físicas e químicas (5), planilhas e tratamento (6) e dimensionamento dos dados (7).

Foram instalados dois pontos de coleta de amostras a partir do TRH que foram recolhidas a partir das primeiras passagens totais do efluente pelo reator.

A concentração de sólidos foi efetuada através de amostras dos pontos de coleta ao longo tempo de experiência diretamente dos reatores. Para avaliar se os parâmetros apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), foi testada, inicialmente, a Normalidade (teste de Shapiro Wilk) e homocedasticidade (Chocran). Como a maioria dos dados não apresentou distribuição normal e as variâncias se apresentaram de forma não homogênea, foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (ZAR, 1984; MENDES, 1999) para comparação de medianas utilizando os resultados obtidos das três repetições de operação dos reatores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois reatores operaram simultaneamente durante 120 h, nas etapas de recirculação, foi mantida uma vazão constante de 1 L min^{-1}), e uma vazão total de afluente de 1440 L dia^{-1} o que resulta em um TRH de 0,35 dias ou 7,2 h. A quantidade de efluente aplicada por unidade de volume ou a carga hidráulica volumétrica não prejudicou o funcionamento do sistema, pois não houve perda excessiva de biomassa, ou seja, o arraste do lodo ocorreu de forma lenta, não diminuindo também o grau de estabilização dos sólidos totais, evidenciando o TRH para este tipo de sistema.

Comparando os resultados com outros descritos na literatura, como por exemplo: reator anaeróbio sequencial em batelada e filtro anaeróbio de leito expandido, avaliados por Ng e Chin (1998) e Zhang e Dague (1995), os quais apresentaram eficiências de 59% e 78%, respectivamente, o reator híbrido pesquisado demonstrou desempenho superior a esses em relação ao tempo de funcionamento e queda dos parâmetros físicos e químicos. Verificou-se, neste tipo de reator, que o controle de fluxo de forma ascendente foi essencial, pois permitiu a retenção da biomassa com uma mobilidade limitada em relação à suspensão do lodo, não ocasionando mistura nem saída excessiva da matéria orgânica que foi favorecida pela vazão constante e relativamente baixa em relação ao fluxo ascensional, efeitos de pressão e movimento permanente dos flocos constantes nas águas heterotróficas do sistema. Esta dinâmica contribuiu essencialmente para agregação de mais matéria orgânica, clareamento da água e queda nos parâmetros químicos. A tabela 1 representa os resultados dos parâmetros analisados para os dois sistemas de reatores, evidenciando a queda dos

parâmetros nas 120 h de funcionamento dos reatores. A Resolução CONAMA 357 estabelece limites de 0,40mg/L para a amônia e para fósforo total de 0,124mg/L em seus volumes máximos.

True et al., (2004) obtiveram resultados em tratamento de águas residuárias com captura de partículas para retenção de sólidos suspensos e redução de fosfato reduzindo em 29% os sólidos em suspensão e 11% os compostos fosfatados a partir do efluente filtrado utilizando espuma reticulada como suporte para retenção de material orgânico em um processo de filtração de sólidos suspensos e redução de fósforo da descarga de efluentes.

No presente trabalho a redução de sólidos suspensos foi de 62,5% e 67,85% para o RC e o RNC, respectivamente, representando em mais da metade esta redução o que corrobora também para a diminuição do DQO do efluente. Os resultados obtidos através desta avaliação demonstraram que os dois sistemas operaram simultaneamente retendo a biomassa, ou seja, o nível de concentração de lodo aumentou durante a operação sem a descarga em excesso e apesar de não haver diferença significativa entre os tipos de reatores, o reator compartimentado apresentou uma eficiência constante em relação à retenção da biomassa possibilitando uma fácil retirada de material inerte que vai se acumulando no fundo do reator. Em relação ao ortofosfato, as reduções foram de 89,6% e 73,20% para RC e RNC respectivamente.

Mirzoyan et al., (2008) utilizando reatores UASB, obtiveram valores de diminuição do pH entre 4,0 e 7,7 em testes com digestores de lodo da aquicultura. Neste trabalho, o pH do efluente inicial do reator apresentou valor 7,88. O efluente final apresentou valores compreendidos entre $8,07 \pm 2$ não havendo diferença significativa entre estes valores durante o tempo de operação, o que caracteriza boas condições de tamponamento da unidade (Figura 3).

Tabela 1. Resultados da água inicial (E1) e das médias em 120 h de tratamento nos reatores 1 e 2 (RC e RNC):

Parâmetros	0h-E1	24h		48h		72h		96h		120h		P<0,05*
	1ª Leitura	RC*	RNC*	RC*	RNC*	RC*	RNC*	RC*	RNC*	RC*	RNC*	
Ortofosfato (mg L ⁻¹) P	8,92	7,90	11,46	4,82	4,25	4,07	4,23	2,00	9,86	0,80	6,53	NS
Nitrato (mg L ⁻¹) N	0,15	1,06	1,43	0,91	1,25	0,68	1,48	0,60	0,15	0,32	0,67	NS
Nitrito (mg L ⁻¹) N	0,01	0,13	0,14	0,20	0,18	0,11	0,16	0,04	0,02	0,02	0,06	NS
Amônia (mg L ⁻¹) N	1,86	0,16	0,10	0,05	0,03	0,15	0,09	0,06	0,00	0,02	0,11	NS
Temperatura (° C)	27,85	30,87	28,70	27,34	30,74	31,74	27,45	30,00	31,58	29,0	28,00	NS
Salinidade (‰)	25,69	27,97	28,10	28,3	28,48	29,00	29,14	30,80	25,02	30,0	31,00	NS
O ₂ (%)	91,10	76,10	63,10	68,00	62,50	63,50	75,20	69,00	56,26	63,0	66,10	NS
O ₂ mg L ⁻¹	6,19	4,88	4,00	4,58	5,08	4,01	3,58	4,20	4,23	4,0	4,0	NS
pH	7,88	8,32	8,01	7,99	8,04	7,98	8,08	8,00	7,60	7,84	7,00	NS
Condutividade	40,33	43,65	44,58	43,91	44,22	43,13	45,31	47,00	36,20	44,0	48,56	NS
Sólidos (mg L ⁻¹)	56	46,00	52,00	43,00	48,00	41,00	45,0	38,00	40,00	35,00	38,00	NS
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	420	300,0	320,50	280,0	310,0	260,0	280,6	235,5	250,0	240,8	220,0	NS

*Valores apresentados como médias. Diferença significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis. NS=Sem diferença significativa ($P = P \geq 0,05$). * $P < 0,05$.

Observa-se na Figura 3 que o reator compartimentado (RC) obteve melhor desempenho em relação à diminuição dos parâmetros físicos e químicos, levando em consideração todos os parâmetros agrupados estatisticamente.

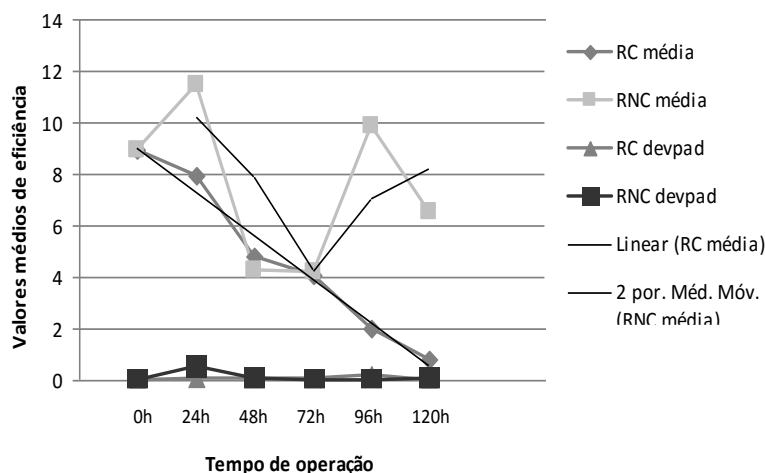


Figura 3. Desempenho dos reatores 1 e 2 e desvio padrão no reator após 120 h de recirculação da água do efluente proveniente do cultivo heterotrófico do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*.

Observou-se que o reator com melhor desempenho foi o reator compartimentado (RC), pois seus parâmetros representaram uma redução constante dos parâmetros físicos e químicos no decorrer do tempo de operação do reator.

A avaliação da matéria orgânica foi calculada pela quantidade de sólidos retidos no interior do reator. Este perfil permite controlar os sólidos no sistema possibilitando estratégias de descarte de quantidade e frequência, bem como classificar o potencial de biomassa na conversão de substratos solúveis como metano e dióxido de carbono. A partir dos resultados operacionais, os dados foram calculados de acordo com Campos (1999) para concentração de sólidos em $SS = (250 / TRH) + 10$, onde: SS = concentração de sólidos suspensos em $mg L^{-1}$, TRH = tempo de retenção hidráulica em horas e 250 e 10 são constantes empíricas.

Os resultados da avaliação da matéria orgânica foram respectivamente: $35,00 mg L^{-1}$ e $38,00 mg L^{-1}$, então vê-se que os dois sistemas retiveram os sólidos. Ao colocar na fórmula, encontrou-se para reator 1: $21 = 250 / 0,35 + 10 = 34,48 mg L^{-1}$ e para o reator 2: $18 = 250 / 0,35 + 10 =$

40,23 mg L⁻¹. Considerando o volume total de 200 L, temos que, no reator 1 a concentração total de sólidos retidos foi de 6896 mg L⁻¹ nas 120 h de funcionamento e no reator 2 a concentração total de sólidos retidos foi de 8046 mg L⁻¹ nas 120 h de funcionamento.

Estes resultados também demonstraram a necessidade de monitoramento dos reatores em relação à quantidade de biomassa acumulada, que, em acúmulo, provoca a exaustão do sistema. Com isto, a retirada da biomassa deve acontecer quando a capacidade de retenção do reator estiver exaurida e o residual deve permanecer de modo que não haja prejuízo na continuidade do processo de digestão da matéria orgânica afluyente, considerando assim, a previsão de pontos de descarte e análise de resultados.

Neste estudo o melhor resultado em relação à retenção de sólidos pelo reator foi no RNC, com uma retenção de 8046 mg L⁻¹ de sólidos nas 120 h de funcionamento, como a retenção é contínua, implica na necessidade periódica de descarte de parte do volume de lodo acumulado e controlado através da avaliação da DQO do efluente decantado, que de acordo com Campos (1999), este procedimento é obtido com a decantação desse efluente por uma hora em cone Imhoff para produção de um valor decantado de 40 a 20% de valor da DQO do afluyente.

O tratamento da água de cultivos heterotróficos utilizando reator híbrido constituiu um método eficiente e de baixo custo para remover matéria orgânica e sólidos em suspensão, diminuindo a poluição gradativa que a atividade aquícola representa ao ambiente após o tratamento. Os reatores em questão foram dimensionados para testes em laboratório, considerando um volume de água também produzido por cultivos em escala experimental. Os valores calculados para eficiência da retenção de sólidos demonstraram que o RC obteve 61% de retenção em relação ao efluente e, com isso, tem-se a margem aplicada por Campos (1999) onde, pode-se aplicar o mesmo TRH estimando um maior volume de reator (razão área/profundidade), que em aquicultura a massa de sólidos deverá variar muito pouco em relação ao TRH, as horas de funcionamento e a configuração dos reatores.

Outros trabalhos relatam que em cultivos intensivos de camarão marinho *L. vannamei*, a utilização de bioflocos se dá como fonte de alimento suplementar e outras fontes de alimento podem ser reduzidas sem comprometer a conversão alimentar, o crescimento e os parâmetros de qualidade de água (MELO, 2012).

VANTAGENS DO USO DE REATORES

Em princípio, a vantagem do sistema de reator híbrido está na eficiência de remoção de sólidos e das quedas nos parâmetros químicos. Diversos autores apontam sistemas de lodos

ativados em lagoas de estabilização onde o tempo de permanência é da ordem de 10 a 26 h e de 15 a 30 dias, respectivamente. Segundo Van Haandel e Cavalcanti (1995), em estudos com esgotos domésticos em escala real, além das vantagens inerentes dos processos anaeróbios, os reatores UASB podem se tornar uma opção viável podendo ser aplicados em vários pontos da rede de esgoto, "pulverizando-se", assim, o sistema de tratamento, o que reduz significativamente os custos de construção da rede coletora e de condutores de esgoto o que demonstra que a técnica aplicada na aquicultura é bem viável, pois a atividade não gera resíduos semelhantes aos esgotos domésticos, sua carga orgânica é bem menor e os cuidados em potencial estão nas reações químicas advindas destas concentrações em relação ao tempo de uso da água e sua devolução ao ambiente.

Sendo assim, o sistema desenvolvido não causa transtornos, pois não espalha odores, a produção de lodo é interna e pequena, e o excesso pode ser utilizado em novos cultivos heterotróficos, pois o sistema de recirculação permitiu que os flocos permanecessem ativos podendo ser facilmente retirados do reator em concentração elevada com operação, manutenção simples e elevada qualidade do efluente.

Corroborando a Van Haandel e Cavalcanti (1995), não só nos sistemas de esgoto doméstico, mas também na aquicultura, ao invés de se aplicar lagoas de estabilização, pode-se aplicar reatores híbridos para tratamento de águas residuárias, lembrando que estas águas atualmente não passam por processos de tratamento adequado nos empreendimentos aquícolas. Sabe-se que efluentes podem ser reutilizados em novos cultivos ou armazenados em lagoas de decantação o que não descarta uma possível poluição, pois as lagoas, em muitos empreendimentos, estão desativadas ou sofrem processos de diluição e decantação, onde a água é devolvida ao ambiente. Ainda assim, não se tem registro de quantos ciclos de cultivo podem ser feitos com águas heterotróficas e seu tempo de reutilização com estudos físicos, químicos e biológicos comparando padrões de efluentes.

CONCLUSÕES

As condições operacionais dos sistemas de tratamento através dos reatores foram satisfatórias, deixando o efluente final com as características quanto à matéria orgânica fosfatada (ortofosfatos) e nitrogenada (nitrogênio amoniacal) e dos demais parâmetros físicos, considerando as diretrizes ambientais. O efeito da recirculação melhorou o desempenho do sistema de tratamento, revelando um efluente clarificado e com sinais de desempenho satisfatório para os excessos que podem ser oriundos das atividades de cultivo heterotrófico de camarão marinho. A

rapidez na funcionalidade dos filtros e a economia no material utilizado além da possibilidade da não utilização de energia elétrica, pois o sistema de filtragem pode ser montado em ambiente que permita a passagem da água por gravidade.

Os resultados indicam ainda a necessidade de estudos complementares, no que diz respeito a possível atividade metanogênica e para melhor compreensão dos demais efeitos determinantes aos critérios de dimensionamento.

AGRADECIMENTOS

A CAPES, no âmbito do programa Amazônia Azul; aos Laboratórios LAMARSU e LAPAQ, pela concessão de uso do laboratório e utilização de seus efluentes; a Empresa de pesquisa KLAEFF, pela montagem dos reatores e aos Professores Dra. Roberta Borda Soares, Dr. Silvio Peixoto, Dr. Eudes Correa e Dra. Renata Akemi Shinozaki Mendes e aos Engenheiros de Pesca e Mestres Emanuell Felipe e Fabiana Penalva.

REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WPCF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2002. Informação e Documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 24 p. (NBR-6023).
- CAMPOS, J. R. 1999. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo, PROSAB, Abes, Rio de Janeiro, 435 p.
- COCHAVA, M.; DIAB, S.; AVNIMELECH, Y. MIREZ, D.; AMIT, Y. 1990. Intensive growth of fish with minimal water exchange. Fish. Fish-breeding Israel, 23(4): 174-181.
- COHEN, J. M.; SAMOCHA, T. M.; FOX, J. M., GANDY, R. L.; LAWRENCE, A. L. Characterization of water quality factors during intensive raceway production of juvenile *Litopenaeus vannamei* using limited discharge and biosecure management tools. Aquaculture, v.32, p. 425-442, 2005.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, CONAMA. 2005. Resolução Conama nº 357. Disponível em: < www.mma.conama.gov.br/conama > Acesso em 15 de abril de 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, CONAMA. 2005. Resolução Conama nº 357. Disponível em:< www.mma.conama.gov.br/conama> Acesso em 15 de abril de 2012.

FAO. Fishery Information, Data and Statistics Unit. FishStat plus: universal software for fishery statistical time series. Version 2.3. Rome, 2014. Disponível em:<<http://www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp>>. Acesso em: 29 julho 2015.

FAO. Fishery Information, Data and Statistics Unit. FishStat plus: universal software for fishery statistical time series. Version 2.3. Rome, 2014. Disponível em:<<http://www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp>>. Acesso em: 29 julho 2015.

MELO, F. P. Efeitos de níveis protéicos e probiótico no desempenho do camarão cultivado em meio heterotrófico. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura). Recife, 51 f. : il. 2012.

MENDES, P. P. 1999. Estatística aplicada à Aquicultura. Ed. Bargaço, 265p.: il.

MIDLEN, A., REDDING, T. 1998. Environmental Management for Aquaculture. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

MIRZOYAN, N. et al. Quality of brackish aquaculture sludge and its suitability for anaerobic digestion and methane production in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Aquaculture. v. 279(1-4), p. 35-41, 2008.

NG, W. I.; CHIN, K. K. Treatment of piggery wastewater by expanded-bed anaerobic filters. Biological Wastes. Barking, v. 26 (3), p. 215-228, 1988.

NUNES, A. J. P. 2002. Tratamento de efluentes e recirculação de água na engorda de camarão marinho. Panorama da Aquicultura, v.12, n.71, p.27-39.

PAULA JÚNIOR, D. R. 1995. Processos anaeróbios de tratamento: fundamento e aplicações. In: SEMINÁRIO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BIOMASSA, 4., 1994, Maringá. Anais... Maringá: Editora da Universidade de Maringá. p.127-40.

PIEDRAHITA, R. H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. Aquaculture, v.226, p. 35-44, 2003.

SMITH, D. M.; BURFOD, M. A.; TABRETT, S. J.; IRVIN, S. J.; WARD, L. The effect of feeding frequency on water quality and growth of the black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). Aquaculture, v.207, p.125-136, 2002.

TRUE, B.; JONHSON, W.; CHEN, S. Reducing phosphorus discharge from flow-through

aquaculture: III: assessing high-rate filtration media for effluent solids and phosphorus removal. *Aquacultural Engineering*. v 32, p. 161–170, 2004.

TUNDISI, J. G. & TUNDISI, T. M. 2008. *Limnologia*. Oficina de textos: São Paulo, 631 p.

VAN HAANDEL, A. C., CAVALCANTI, P. F. F. 1995. Melhoramento do desempenho e aumento da aplicabilidade de lagoas de estabilização através de pré-tratamento anaeróbio em um DAFA, Dept. of Civil Engineering - UFPB, Campina Grande - Brazil, Rel. Int. n/Publicado.

ZAR, J. H. 1994. *Biostatistical Analysis*. Englewood Cliffs. Prentice Hall, 620 p.

ZHANG, R. H.; DAGUE, R. R. Treatment of swine wastes by the anaerobic sequencing batch reactors system. In: *International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes*, 7., Chicago. Proceedings. Chicago: ASAE, p. 301-308, 1995.

ZHANG, S.; LIU, J.; WEI, S.; GAO J.; WANG, D. & ZHANG K. 2006. Impact of aquaculture on eutrophication in Changshou Reservoir. *Chinese Journal of Geochemistry*. 25(1): 90-96.