



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE ACADÊMICA
COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS
AMBIENTAIS**

José Francisco de Araújo Melo

**TRATAMENTO DE EFLUENTES DA
CARCINICULTURA POR FLOTAÇÃO EM COLUNA E
FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO**

Recife

2010

José Francisco de Araújo Melo

**TRATAMENTO DE EFLUENTES DA
CARCINICULTURA POR FLOTAÇÃO EM COLUNA E
FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento em Processos Ambientais da Universidade Católica de Pernambuco como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em **Desenvolvimento de Processos Ambientais**.

Área de Concentração: Desenvolvimento em Processos Ambientais

Linha de Pesquisa: Informática, Modelagem e Controle de Processos

Orientador: Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos
Co-orientadora: Prof^a Dr^a Christine Lamenha Luna Finkler

Recife

2010

M528t

Melo, José Francisco de Araújo

Tratamento de efluentes da carcinicultura por flotação em coluna e flotação por ar dissolvido / José Francisco de Araújo Melo ; orientador Valdemir Alexandre dos Santos ; co-orientador Christine Lamenha Luna Finkler, 2010.
42 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Coordenação Geral de Pós-graduação. Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2010.

1. Águas residuais - Purificação. 2. Flotação. I. Título.

CDU 628.16

JOSÉ FRANCISCO DE ARAÚJO MELO

**TRATAMENTO DE EFLUENTES DA CARCINICULTURA POR
FLOTAÇÃO EM COLUNA E FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais.

APROVADA em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Lourinaldo Barreto Cavalcanti - IPA
Examinador Externo

Prof^a. Dr^a. Leonie Asfora Sarubbo - UNICAP
Examinador Interno

Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos - UNICAP
Orientador

**Recife
2010**

"O desenvolvimento da capacidade geral de pensamento e livre-arbítrio sempre deveria ser colocado em primeiro lugar, e não a aquisição de conhecimento especializado. Se uma pessoa domina o fundamental no seu campo de estudo e aprendeu a pensar e a trabalhar livremente, ela certamente encontrará o seu caminho e será mais capaz de adaptar-se ao progresso e às mudanças."

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu saúde, força e calma para vencer os obstáculos.

A minha mãe, Vicência Araújo Cardoso (*in memoriam*), por me ter educado, me ensinando a ser perseverante e ajudar ao próximo em qualquer momento da vida.

Ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais na pessoa do seu coordenador, secretários, professores e funcionários.

Ao professor Dr. Valdemir Alexandre dos Santos, por aceitar a incumbência no acompanhamento do planejamento estatístico.

A professora Dra. Christine Lamenha Luna Finkler, pelo acompanhamento e execução do projeto de dissertação.

Aos meus filhos, Francisco, Natália e Pedro, por me ajudarem nas minhas dificuldades com o computador.

Ao professor Adalberto Passos do PROCAD, por ter me recebido na USP, cedendo laboratório para minha pesquisa bibliográfica.

Ao Dr. Laurindo Leal Filho, da Escola Politécnica do Curso de Engenharia de Minas, que me disponibilizou material para revisão.

Ao professor Dr. Carlos Adolpho Baltar, por disponibilizar o laboratório da UFPE para utilizar o equipamento FAD.

Ao doutorando Rodrigo Carvalho, do Instituto de Pesquisa Oceanográfico da USP em Ubatuba, por apresentar o laboratório e a pesquisa de estudo da digestibilidade do camarão *Litopenaeus vanammei*.

Ao diretor substituto de pesca de São Paulo, Venâncio Guedes de Azevedo, por apresentar os projetos desenvolvidos naquele centro de pesquisa e os seus laboratórios.

Ao senhor Roberto Cordeiro Rego e Claudio Rabelo por permitir a utilização da fazenda Tabatinga para coleta e estudo de seus efluentes da carcinicultura no tratamento ambiental.

A Marcelo Francisco, laboratorista do Laboratório de Tecnologia Mineral da UFPE, pela ajuda no desenvolvimento nos testes de flotação por ar dissolvido.

Ao professor Sérgio Paiva, do Laboratório de Química da UNICAP, por fornecer as condições para execução dos testes químicos, físicos e microbiológicos necessários aos experimentos.

Aos funcionários do laboratório de Química da UNICAP pelo auxílio na execução de vários ensaios.

Aos meus colegas de turma que sempre, juntos, discutimos nossas dificuldades para execução de nossos trabalhos de Mestrado.

Às bolsistas, Letícia e Daniela Dantas, do Laboratório de Farmacologia da USP pelas orientações de localização e funcionamento dos departamentos e laboratórios da instituição.

A todos que diretamente e indiretamente colaboraram com a minha pesquisa de Mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO 1.....	3
1.1 Introdução.....	3
1.2. Revisão da Literatura.....	4
1.2.1 O agronegócio da carcinicultura.....	4
1.2.2 Aspectos ambientais.....	6
1.2.3 Sistemas de recirculação.....	8
1.2.4 Flotação.....	9
1.2.5 Tratamento de efluentes da carcinicultura.....	11
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivo Geral.....	14
1.3.2 Objetivos Específicos.....	14
1.4. Referências.....	15
CAPÍTULO 2.....	20
ABSTRACT.....	21
2.1. Introdução.....	22
2.2. Material e Métodos.....	22
2.2.1 Coleta e acondicionamento do efluente.....	22
2.2.2 Caracterização físico-química do efluente.....	25
2.2.3 Caracterização microbiológica do efluente.....	27
2.2.4 Flotação em coluna.....	27
2.2.5 Flotação por ar dissolvido (FAD).....	29
2.3. Resultados e Discussão.....	30
2.3.1 Caracterização físico-química e microbiológica do efluente.....	30
2.3.2 Flotação em coluna.....	32
2.3.3 Flotação por ar dissolvido.....	38
2.4. Conclusões.....	40
2.5. Referências Bibliográficas.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produção de camarão no Brasil (ROCHA e RODRIGUES, 2007)	05
Figura 2 – Esquema geral do tratamento de efluentes através da flotação	10
Figura 3 - Vista área da fazenda Tabatinga (viveiros 1,2,3,4,5)	23
Figura 4 - Camarão <i>L. vannamei</i> obtido no viveiro 3	25
Figura 5 – Coleta do efluente no fim do cultivo	25
Figura 6 – (A) Dimensões da coluna de flotação; (B) Aparato experimental: (a) compressor; (b) rotâmetro; (c) coluna de flotação	28
Figura 7 – Flotador por ar dissolvido. A: manômetro; B: entrada de água; C: cilindro homogeneizador; D: tanque; E: válvula de controle de saída do ar; F: válvula de controle de vazão; G: válvula de alívio; H: medidor de nível	29
Figura 8 – (A) Injeção de ar no tanque de flotação contendo o efluente; (B) Tempo de repouso; (C) Clarificação do efluente	30
Figura 9 – Turbidez como função da vazão de ar e do pH (tempo de flotação de 40 minutos; 95% de significância; efluente do início do cultivo no viveiro v1)	33
Figura 10 – Diagrama de Pareto da variável turbidez (tempo de flotação de 40 minutos; 95% de significância; efluente do início do cultivo no viveiro v1)	34
Figura 11 – Valores preditos <i>versus</i> valores observados para a variável turbidez (tempo de flotação de 40 minutos; 95% de significância; efluente do início do cultivo no viveiro v1)	34
Figura 12 – Remoção de turbidez utilizando 0,1% (p/v) do floculante Bozefloc CE 340 líquido (Clariant®) (pH 7,8; turbidez inicial de 340 NTU; efluente do início do cultivo no viveiro v1)	36
Figura 13 – Remoção de turbidez como função da vazão de ar e do pH (tempo de flotação de 35 minutos; 95% de significância; efluente do fim do cultivo no viveiro v1)	36
Figura 14 – Diagrama de Pareto da variável remoção de turbidez (tempo de flotação de 35 minutos; 95% de significância; efluente do fim do cultivo no viveiro v1)	37
Figura 15 - Valores preditos <i>versus</i> valores observados para a variável remoção de turbidez (tempo de flotação de 35 minutos; 95% de significância; efluente do fim do cultivo no viveiro v1)	37
Figura 16 – Remoção de turbidez por flotação por ar dissolvido como função da pressão e do pH para o efluente do fim do cultivo no viveiro v3 (turbidez inicial do efluente de 26,7NTU)	39
Figura 17 – Remoção de turbidez por flotação por ar dissolvido como função da pressão e do pH para o efluente do fim do cultivo no viveiro v3 (turbidez inicial do efluente de 28,2NTU; presença do coletor aniônico Flomin-C-5435 a 1% (p/v))	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de empresas produtoras de camarão cultivado e capacidade de processamento em 2003 (ABCC, 2004)	06
Tabela 2 – Planejamento experimental utilizado nos ensaios de flotação em coluna	28
Tabela 3 – Resultados de caracterização físico-química e microbiológica do viveiro v1	31
Tabela 4 – Resultados de caracterização físico-química e microbiológica do descarte do efluente do viveiro v3	31
Tabela 5 – Valores de turbidez para o efluente do início do cultivo no viveiro v1 (tempo de flotação de 40 minutos)	33
Tabela 6 - Parâmetros da análise de variância para a turbidez no tempo de flotação de 40 minutos (efluente do início do cultivo no viveiro v1)	35
Tabela 7 - Parâmetros da análise de variância para a remoção de turbidez no tempo de flotação de 35 minutos (efluente do fim do cultivo no viveiro v1)	38

LISTA DE SÍMBOLOS

p/v	peso por volume
T _i	valor inicial de turbidez
T _f	valor final de turbidez
R ²	variância explicada

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCC	Associação Brasileira de Criadores de Camarão
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
EF	Eletro-flotação
IAF	Flotação por ar disperso
ASH	Pulverizador de ar hidrociclone
FAD	Flotação por ar dissolvido
APHA	American Public Health Association
ST	Sólidos totais
SS	Sólidos sedimentáveis
SV	Sólidos voláteis
SF	Sólidos Fixos
SD	Sólidos dissolvidos
OD	Oxigênio dissolvido
NMP	Número mais provável
LTM	Laboratório de Tecnologia Mineral
ANOVA	Analysis of Variance
SST	Sólidos suspensos totais
CBOD	Demanda bioquímica de oxigênio carbonácea
SBR	Reator de batelada
CRS	Sistemas fechados de recirculação
ppm	Partes por milhão
UV	Ultra-violeta
SEDAF	Sedimentação e flotação FAD
NTU	Unidade nefelométrica de turbidez
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
A	Ampere
COD	Demanda química de oxigênio
PFS	Sulfato poliférrico
FS	Sulfato de ferro
μS	Micro-Siemens

RESUMO

A elevada produtividade nos criadouros de camarão torna necessária a abordagem de alguns aspectos para sua sustentabilidade, principalmente do ambiente aquático dos viveiros. Dessa forma, o tratamento de efluentes originados da carcinicultura torna-se de fundamental importância, considerando a necessidade de minimizar os impactos ambientais gerados por essa atividade produtiva. O presente trabalho investiga os usos das flotações dos tipos por coluna e ar dissolvido para o tratamento de efluentes da carcinicultura. O efluente utilizado foi proveniente da fazenda Tabatinga, localizada no litoral norte do Estado de Pernambuco. Foi realizada a caracterização físico-química e microbiológica dos efluentes, sendo obtidos parâmetros condizentes com os encontrados na literatura. Uma coluna de flotação de bancada foi utilizada nos ensaios experimentais, sendo empregado um planejamento experimental com duas variáveis (pH e vazão de ar) visando avaliar a remoção de turbidez do efluente. O efeito da adição de um floculante(Bozefloc CE 340 líquido) também foi investigado. Os experimentos em célula FAD foram realizados com valores de pressão de 3 e 6 bar, e pH de 5,8 e 9,8, e experimentos adicionais foram realizados utilizando um coletor aniônico. Os resultados de flotação em coluna para o efluente do início do cultivo demonstraram que a turbidez diminui com o aumento da vazão e com a diminuição do pH após 40 minutos de processo, sendo obtido como melhor ajuste um modelo linear com interação. A presença do floculante na concentração de 0,1% (p/v) a pH 7,8 demonstrou uma remoção de turbidez de apenas 25% para a condição de menor vazão de ar. Para o tratamento do efluente do fim do cultivo, a remoção de turbidez também aumentou com o aumento da vazão de ar e com a diminuição do pH, atingindo um valor máximo de remoção de cerca de 40% após 35 minutos de processo, com um ajuste quadrático do modelo. Na flotação por ar dissolvido do efluente do fim do cultivo, os maiores percentuais de remoção de turbidez foram obtidos a pH 5,8, atingindo valores de 52 e 47% para pressões de operação de 3 e 6 bar, respectivamente. Na presença de um coletor aniônico(Flomin-C-5435), observou-se um aumento na remoção da turbidez para valores entre 56 e 65%.

Palavras-Chave: flotação em coluna, flotação por ar dissolvido, carcinicultura, tratamento de efluentes.

ABSTRACT

The high productivity in the breeding of shrimp makes it necessary to approach some aspects to their sustainability, particularly the aquatic environment of the nursery. Thus, the treatment of effluents originating from the shrimp becomes of fundamental importance, considering the need to minimize the environmental impacts generated by this productive activity. This study investigates the uses of flotation types of column and dissolved air to the treatment of shrimp effluent. The effluent used was from the farm Tabatinga, located on the north coast of Pernambuco State. Was performed physical-chemical and microbiological characterization of effluent being obtained parameters consistent with those found in the literature. A column flotation bench was used in experimental trials, being employed an experimental design with two variables (pH and air flow) to evaluate the removal of turbidity of the effluent. The effect of adding a flocculant was also investigated. The FAD cell experiments were performed with pressure values of 3 and 6 bar, and a pH of 5.8 and 9.8, and additional experiments were performed using an anionic collector. The results of column flotation for the effluent from the beginning of culture showed that the turbidity decreases with increasing air flow and the decrease in pH after 40 minutes of the proceedings, was obtained as best fit a linear model with interaction. The presence of flocculant concentration of 0.1% (p / v) at pH 7.8 showed a removal of turbidity of only 25% for the condition of lower air flow. For the treatment of effluent from the end of cultivation, the turbidity removal also increased with increasing air flow and with decreasing pH, reaching a maximum removal of about 40% after 35 minutes of the proceedings, with an adjustment quadratic model. In dissolved air flotation effluent end of the cultivation, the highest percentage of turbidity removal were obtained at pH 5.8, reaching values of 52 and 47% for operating pressures of 3 and 6 bar, respectively. In the presence of an anionic collector, there was an increase in the removal of turbidity values between 56 and 65%.

Keywords: column flotation, dissolved air flotation, shrimp, effluent treatment.

CAPÍTULO 1

1.1 Introdução

No mundo atual a produção de alimentos primários cresceu consideravelmente, porém a demanda é muito grande no mercado externo e interno. Assim sendo, uma atividade que vem aumentando a sua produção desde a década de 80 é o agronegócio do camarão. No Brasil, a criação de camarões marinhos em viveiros tem hoje uma produção de 4 t/ha com 3 despesas anuais, e sua elevada produtividade tem ocasionado a geração de efluentes com elevado teor de matéria orgânica, microorganismos, resíduos sólidos e materiais em suspensão. Atualmente, estes efluentes são lançados no mar e nos rios sem tratamento adequado (CARCINICULTURA, 2008).

A necessidade de reuso das águas residuárias, sejam industriais ou domésticas, tem motivado a pesquisa por novas e melhores alternativas tecnológicas de tratamento para o reaproveitamento das mesmas. Assim, avanços tecnológicos têm tornado viável a aplicação do processo de flotação para o tratamento de efluentes contendo, por exemplo, óleos, corantes, metais pesados e alto teor de matéria orgânica, como é o caso de alguns tipos de efluentes originados da carcinicultura. Além disso, considerando que a carcinicultura é uma das atividades que mais consome água (estima-se que são utilizados de 50 a 60 milhões de litros de água por tonelada produzida), o reuso de água no processo torna-se economicamente vantajoso.

Dessa forma, o uso da flotação constitui-se numa alternativa promissora para o tratamento de efluentes provenientes da carcinicultura, que se caracteriza por apresentar partículas de pequenas dimensões e matéria orgânica proveniente dos resíduos do cultivo e de ração.

Diante deste contexto, o presente trabalho investiga a possibilidade de uso da flotação no tratamento de efluentes originados da carcinicultura, com o intuito de reduzir a poluição ambiental ocasionada pela geração desses efluentes, permitindo ainda o reuso da água no cultivo de camarão.

1.2. Revisão da Literatura

1.2.1 O agronegócio da carcinicultura

Em nível mundial, o cultivo do camarão marinho teve seu crescimento acelerado nas duas últimas décadas, passando de 215.000t em 1985 para 865.000t em 2000 (FAO, 2002). Os primeiros cultivos de camarão no Brasil foram na década de 70 no Rio Grande do Norte. Em 1978, foram criados em Santa Catarina laboratórios de reprodução, com etapas de larvicultura, crescimento e engorda. O agronegócio da carcinicultura cresceu no nosso país, principalmente na Região Nordeste, com uma produção de 90.000 ton em 2003, exportando para os Estados Unidos e para Europa 62.000 ton com um faturamento de 220 milhões de dólares (ASSENHAIMER e RUBIO, 2003).

A primeira espécie cultivada foi *Marsupenaeus japonicus*, apresentada no 1º Simpósio Brasileiro sobre Cultivo de Camarão em 1981. A partir de 1984 descartou-se a criação desta espécie, surgindo fazendas de camarão com laboratórios e técnicos sem experiência, usando as espécies *Farfantipenaeus subtilis*, *Litopenaeus paulensis* e *Litopenaeus schimitti*. Esta foi a primeira fase da criação de camarão no Brasil. A segunda fase da carcinicultura nacional foi caracterizada por um povoamento de 4 a 6 camarões/metro quadrado de espelho de água e taxa de renovação de 3 a 7% de alimento concentrado. Porém a produção não ultrapassava de 400 a 600 kg/ha/ano. A terceira etapa levou um grupo de técnicos e produtores à busca da espécie do oceano Pacífico *Litopenaeus vannamei* ainda na década de 80. Isto se deve a esta espécie já ser cultivada no Equador e Panamá e se adaptar no ecossistema brasileiro. A partir de 1995 ficou provada a viabilidade comercial no país. Neste caso usa-se de 20 a 50 pós-larva/metro quadrado, atingindo uma produtividade por hectare de viveiro de 4 toneladas/ano (CARCINICULTURA, 2008).

A produção mundial de camarão cultivado foi de 2,36 milhões de toneladas em 2005, comparada a uma produção de 2,07 milhões de toneladas em 2004. Por outro lado, a produção de camarão por captura evoluiu de 3,1 milhões de toneladas em 2000 para 3,6 milhões em 2006, um crescimento médio de 3,83 % ao ano. Contudo, entre 2003 e 2004, o crescimento foi de 2,0 % ao ano, o que indica uma tendência à saturação. Por outro lado, o crescimento da produção de camarão cultivado foi, no período de 2000 a 2005, de 14,66 % ao ano. Assim, a produção por captura ainda representa a maior parcela (63,56 % do

volume bruto em 2004), mas se espera que a produção por cultivo supere a produção por captura, representando uma alternativa viável ao aumento da demanda (SAMPAIO e COUTO, 2003).

Atualmente os principais países produtores de camarão cultivado são a China (408 mil toneladas em 2005, em 300 mil/ha), Tailândia (380 mil toneladas em 2005, em 64 mil/ha), Vietnã, Indonésia, Equador, Índia, América Central (englobando Honduras, El Salvador, Guatemala, Belize, Nicarágua e Panamá), México e Brasil (65 mil/toneladas em 2005, em 15 mil ha). Por ter uma menor área de produção em relação aos outros principais produtores, mas uma alta produtividade (4.333 kg/ha/ano, abaixo apenas da Tailândia), vislumbra-se um potencial elevado de crescimento do mercado da carcinicultura no Brasil, por meio da expansão das terras cultivadas - muito embora isso não venha ocorrendo nos últimos anos (CARCINICULTURA, 2008).

A Figura 1 mostra a acelerada evolução da produção de camarões no Brasil, que passa de 7.250 toneladas em 1998 para 60.128 toneladas em 2007.

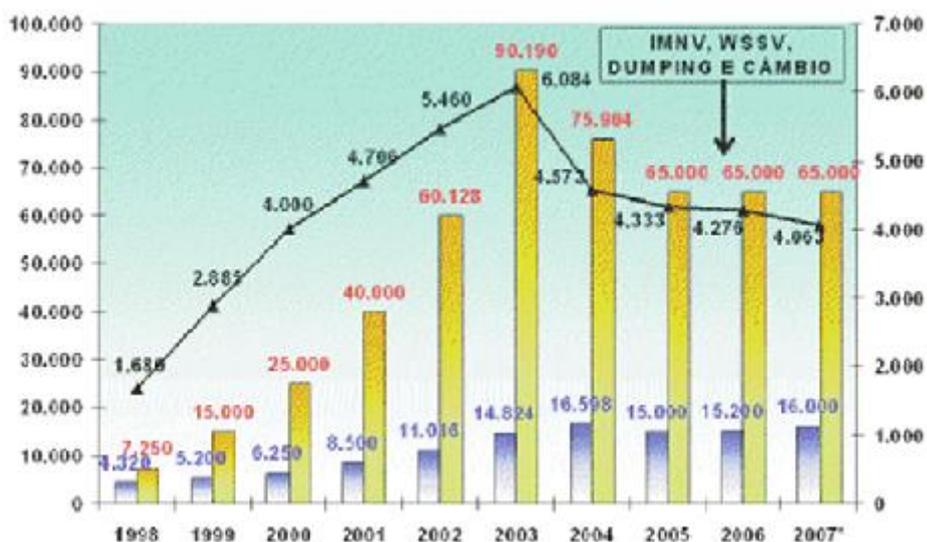


Figura 1 - Evolução da produção de camarão no Brasil (ROCHA, 2007)

Cerca de 90% da produção nacional de camarões é proveniente das fazendas localizadas no Nordeste, nas margens dos estuários e lagoas, rios e lagoas costeiras. O Estado do Rio Grande do Norte lidera a produção de camarão, seguido pelos Estados do Ceará e da Bahia. É importante considerar ainda que a base produtiva brasileira é composta de pequenos produtores - cerca de 94 % dos empreendimentos de carcinicultura do País (CLUSTER DO CAMARÃO DO RN, 2001).

Dados revelados pelo Censo 2003 realizado pela ABCC – Associação Brasileira de Criadores de Camarão identificam a existência de 42 Centros de Processamento que trabalham com o camarão, distribuídos em dez Estados da Federação, cuja capacidade total instalada de processamento por dia é de 987 toneladas (Tabela 1). Esses números representam um apreciável crescimento do setor de processamento do camarão cultivado, tanto em número de unidades quanto em capacidade de processamento, em relação ao ano de 2002, que registrou 38 unidades e capacidade de processamento de 390 toneladas por dia (ABCC, 2004).

A atividade de carcinicultura é importante geradora de renda e empregos em diversos municípios brasileiros. Pode absorver boa parte de mão de obra local, sem a necessidade de uma formação escolar elevada, gerando emprego nas fazendas de criação de camarão em torno de 1 a 3 pessoas por hectare cultivado (SAMPAIO e COSTA, 2003). Estes dados superam setores primários tradicionais, como as cadeias produtivas da cana-de-açúcar e do coco, e a fruticultura dos Pólos Irrigados (SAMPAIO e COUTO, 2003).

Tabela 1 – Número de empresas produtoras de camarão cultivado e capacidade de processamento em 2003 (ABCC, 2004)

Estados	Número de empresas	Capacidade de processamento (ton/dia)
CE	10	274
RN	9	210
SC	2	120
RS	1	100
BA	5	84
PI	4	80
PE	4	57
PB	4	50
MA	2	12
AL	1	5
Total	42	987

Observa-se ainda que, para cada unidade de emprego gerado, aproximadamente 1 emprego é gerado indiretamente a partir dos fornecedores de insumos e serviços, tais como ração, fertilizantes, motores, bombas, combustível, serviços na área elétrica e de manutenção, transporte do produto, embalagens, fabricação de gelo para a conservação após a despesca até o local de venda, entre outros.

1.2.2 Aspectos ambientais

Não obstante os altíssimos investimentos públicos e privados e o impacto positivo na balança comercial, a preocupação com o ambiente deve ser parte integrante do processo de produção de camarão, sendo necessário considerar mecanismos viáveis para minimizar os impactos ambientais gerados por essa atividade produtiva, por meio do planejamento adequado da utilização dos recursos naturais e elaboração de estratégias eficientes de desenvolvimento sustentável (ASSAD e BURSZTYN, 2000).

A atividade da carcinicultura desperta a atenção não somente pelo seu potencial em gerar alimento para o homem, mas também por gerar impactos ambientais (BEARDMORE *et al.*, 1997; MIDLEN e REDDING, 1998). De modo geral, a alta produção fitoplanctônica nos viveiros de criação de camarões força os produtores a contínuas renovações de água, gerando descargas de efluentes nos ambientes aquáticos naturais (WANG, 1990).

As características desses efluentes tendem a apresentar ampla variação, em decorrência das formas de manejo, da tecnologia empregada, das espécies criadas e, principalmente, da intensidade de produção (BOYD, 2003). Os principais impactos dos efluentes sobre os ambientes naturais são o aumento das concentrações de nutrientes na água e no sedimento e o incremento das populações de fitoplâncton e de bactérias (REDDING *et al.*, 1997). A eutrofização artificial também pode comprometer os sistemas de criação, em decorrência da redução dos teores de oxigênio dissolvido, do aumento de compostos nitrogenados tóxicos e do comprometimento da qualidade do pescado (PILARSKI *et al.*, 2004; TRUE *et al.*, 2004; BACCARIN e CAMARGO, 2005; HENRY-SILVA *et al.*, 2006). A alta concentração de matéria orgânica produzida pelas fezes do camarão e pelos restos de ração e o uso intenso de produtos químicos têm colaborado com a mortandade de peixes, caranguejos, mariscos e crustáceos - fonte de sobrevivência de muitas comunidades.

Durante o processamento do camarão, através da etapa de descasque, são geradas grandes quantidades de resíduo sólido, tendo em vista que cabeça e cascas do animal correspondem a aproximadamente 40% de seu peso total, sendo tal resíduo composto por cerca de 70 a 75% de água (GILDBERG e STENBERG, 2001). Este resíduo é em geral clandestinamente enterrado ou jogado no mar ou em rios, causando problemas ambientais, principalmente em países onde não há rigor na fiscalização ambiental. Tendo em vista que tal resíduo é constituído por quitina, proteínas, carbonato de cálcio e pigmentos (ZAKARIA *et al.*, 1998), tem havido grande interesse em seu reaproveitamento, buscando alternativas à sua disposição final, com vistas ao desenvolvimento de produtos de valor agregado.

São relatados na literatura como sistemas de tratamento de efluentes da carcinicultura o uso de macrófitas aquáticas (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2008), o uso de

um sistema de tratamento de três estágios (sedimentação, filtração e absorção por macroalgas), relatado por JONES *et al.* (2001) e tratamento biológico (VAN RIJN, 1996).

A Resolução nº 312 de 10 de outubro de 2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, dispõe sobre licenciamento ambiental dos empreendimentos de carcinicultura na zona costeira. O artigo 14 relata que “os projetos de carcinicultura, a critério do órgão licenciador, deverão observar, dentre outras medidas de tratamento e controle dos efluentes, a utilização das bacias de sedimentação como etapas intermediárias entre a circulação ou o deságüe das águas servidas ou, quando necessário, a utilização da água em regime de recirculação”. A água utilizada pelos empreendimentos da carcinicultura deverá retornar ao corpo d’água de qualquer classe atendendo as condições definidas pela Resolução do CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005).

Com relação à poluição hídrica na área de atividade da carcinicultura, o Código de Boas Práticas na Criação de Camarão da Aliança Global de Aqüicultura (Global Aquaculture Alliance, 2003) chama a atenção para dois aspectos: (1) os requisitos de qualidade da água para o cultivo e (2) os possíveis efeitos das trocas de água e da drenagem durante a despesca sobre os corpos hídricos receptores. Muitas vezes a água de cultivo é captada à jusante de grandes cidades, de áreas agrícolas ou industriais, podendo vir contaminada com esgotos, pesticidas e outras substâncias químicas que podem causar problemas no processo de cultivo. Por outro lado, durante o cultivo não é possível aumentar a produção de camarão com fertilizantes e rações sem que restos da ração, fezes e metabólitos sejam acumulados nos tanques, causando a eutrofização do meio. Dessa forma os efluentes gerados nas trocas de água e na despesca podem enriquecer os corpos receptores com nutrientes, matéria orgânica e mineral, solúvel e suspensa (FIGUEREDO *et al.*, 2005)

Neste contexto, a implementação de sistemas de recirculação de água no processo é de fundamental importância, considerando o atendimento à legislação no que concerne ao estabelecimento de um processo ambientalmente sustentável, bem como à economia gerada durante o processamento do camarão.

1.2.3 Sistemas de recirculação

Sistemas fechados de recirculação de água apresentam-se como uma alternativa para a aqüicultura. Este sistema foi utilizado por GONZÁLEZ-GONZÁLEZ *et al.* (2009) e, durante dois ensaios consecutivos, sua eficiência foi avaliada através do crescimento, sobrevivência e maturação do *L. vannamei*. Durante todo o estudo, os parâmetros de qualidade da água (temperatura, pH, salinidade, NH₃, NO₂ e NO₃) e concentração de íons

foram monitorados. A maioria dos parâmetros apresentou flutuações, sem diferenças significativas. No entanto, foi observada uma diminuição do pH durante a fase de maturação e um aumento dos níveis de fósforo, em comparação com os da água inicial. O crescimento e sobrevivência de juvenis e pré-camarões adultos apresentaram variações semelhantes, sem diferenças significativas. Esses resultados mostraram que o crescimento, sobrevivência e maturação são reprodutíveis, sugerindo a possibilidade de se utilizar esse sistema para a cultura do camarão, protegida contra eventuais surtos de doenças.

Sem troca de água, a cultura super-intensiva de camarão em sistemas do tipo fechado pode ser considerada ambientalmente saudável, em que a contenção da água dentro do sistema impede a propagação potencial da doença entre as populações selvagens de animais cultivados e evita resíduos ricos em nutrientes de poluentes nas águas costeiras. No entanto, como uma estratégia relativamente nova de produção de camarão, ainda há muito a ser aprendido sobre os potenciais benefícios biológicos e econômicos da produção de camarão nestes sistemas.

1.2.4 Flotação

A flotação é uma técnica de separação de misturas que consiste na introdução de bolhas de ar a uma suspensão de partículas. Com isso, verifica-se que as partículas aderem às bolhas, formando uma espuma que pode ser removida da solução e separando seus componentes de maneira efetiva. O importante nesse processo é que ele representa exatamente o inverso daquele que deveria ocorrer espontaneamente: a sedimentação das partículas. A ocorrência do fenômeno se deve à tensão superficial do meio de dispersão e ao ângulo de contato formado entre as bolhas e as partículas (DeSousa e cols., 2003).

O processo de separação depende fortemente de características interfaciais, como a adsorção do ar nas partículas. No processo de flotação geralmente se designa a característica da fase dispersa (partículas sólidas ou gotículas líquidas) de se aderirem às bolhas de ar no seio da fase líquida de hidrofobicidade, que exprime a tendência destas espécies terem maior afinidade pela fase gasosa do que pela fase líquida. Em geral, praticamente todas as espécies imersas na fase líquida (água) têm a superfície molhada, ou seja, tem maior afinidade pela fase líquida (LUNA, 2004).

De uma forma geral, o tratamento de efluentes através do processo de flotação pode ser dividido em duas etapas: uma primeira etapa na qual são geradas as bolhas de ar que promovem o contato bolha-partícula e uma segunda etapa na qual é feita a separação do

agregado bolha-partícula formado, levando à formação de uma corrente de efluente tratado e uma corrente concentrada em partículas. A Figura 2 mostra esquematicamente as etapas para tratamento de efluentes líquidos por flotação.

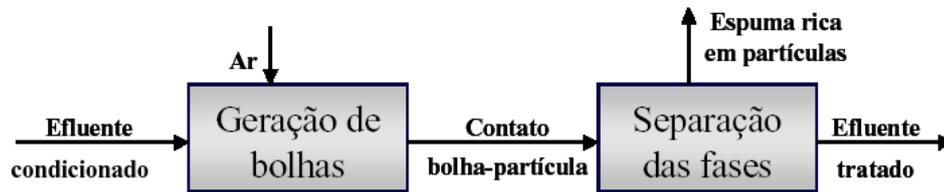


Figura 2 – Esquema geral do tratamento de efluentes através da flotação

Dentre os sistemas de flotação existentes podem ser citados (RUBIO *et al.*, 2002):

- Eletro-flotação (EF): ocorre a geração de micro-bolhas pela eletrólise de soluções aquosas. Tem aplicação em escala industrial na remoção de sistemas coloidais leves, tais como: emulsificação de óleo em água, íons, pigmentos, tintas, e fibras.
- Flotação por ar disperso (IAF): as bolhas são formadas mecanicamente pela combinação de um agitador mecânico de alta velocidade e um sistema injetor de ar. Este método, bastante conhecido no processo de flotação mineral, é também utilizado na indústria petroquímica para separação do sistema óleo-água e sólidos em suspensão.
- Flotação rápida: possui a vantagem de introdução de grande quantidade de gás por unidade de tempo, alta eficiência, baixo consumo de potência e baixo custo de manutenção. A célula consiste de uma zona de aeração/contato, uma zona de bolha-partícula e uma zona de limpeza ou formação de espuma.
- Flotação centrífuga: a aeração ocorre tanto pela injeção de ar quanto pelos misturadores estáticos ou *nozzles*. O pulverizador de ar hidrociclone (ASH) pode ser classificado como a unidade de flotação centrífuga e consiste em um sistema de aeração onde o ar é pulverizado através de uma parede de um tubo poroso encamisado, havendo a formação de numerosas pequenas bolhas pelo rodaminho de alta velocidade na fase aquosa.
- Flotação em coluna: a suspensão escoar em contracorrente com as bolhas de ar, proporcionando um contato mais eficiente entre as bolhas e as partículas, um melhor controle do tamanho das bolhas, maior facilidade de controle da operação e maior capacidade de processamento por área instalada.
- Flotação por ar dissolvido (FAD): as bolhas são formadas pela redução de pressão da água pré-saturada com ar a pressões mais altas que a atmosférica. A água supersaturada é forçada através de válvulas de agulha ou orifícios especiais, e nuvens

de bolhas de 30-100 μm de diâmetro são produzidas. É indicada para a remoção de sólidos suspensos de pequeno tamanho.

1.2.5 Tratamento de efluentes da carcinicultura

Vários tipos de tratamento de efluentes da carcinicultura são usados para minimizar o seu efeito nocivo nos corpos d'água. Entre eles podem ser citados a sedimentação e a aplicação de coagulantes, uso de macrófitas, reator em batelada e flotação.

A sedimentação talvez seja o processo mais utilizado para a remoção de material sólido na aqüicultura. O princípio é baseado na diferença de densidade entre as fases, e a velocidade de sedimentação é controlada pela viscosidade do meio e pelo diâmetro da partícula, que se assume ser esférica. A concentração de partículas e as interações físico-químicas entre elas influenciam na eficiência da sedimentação. O processo pode ocorrer tanto por colisão ou atração natural, dependendo das propriedades físico-químicas das partículas e da água, quanto por indução artificial, através de coagulantes. É de grande importância para o processo a separação completa do material sedimentado do fluxo da água, pois o material pode passar da forma particulada para a forma dissolvida, voltando a poluir o recurso hídrico (CRIPPS e KELLY, 1996).

A eficiência de remoção de sólidos suspensos e nutrientes dissolvidos presentes nos efluentes do camarão marinho *L. vannamei* foi avaliada por RAMOS *et al.* (2008) empregando tratamentos de sedimentação e absorção por macroalgas (*Ulva fasciata*), em três tempos de retenção do efluente: 6, 12 e 24 horas. Os resultados sugerem que a maior eficiência no processo de sedimentação foi alcançada no tempo de 6 horas, atingindo valores de 94,0%, 93,6%, 41,6%, 74,3%, 47,4% e 56,1% para clorofila *a*, DBO_5 , N-NH_4^+ , N-NO_2 , N-NO_3 e P-PO_4 , respectivamente. Para a remoção da turbidez o melhor desempenho foi alcançado no 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 no tratamento de 6 horas, com 23,7%, 47,1%, 7,1%, 37,0% e 48,4% para DBO_5 , N-NH_3 , N-NO_2 , N-NO_3 e P-PO_4 , respectivamente, quando comparado com os valores do controle (RAMOS *et al.*, 2008). 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. Os experimentos sugeriram que os processos de sedimentação e absorção testados foram eficientes para remover os nutrientes gerados no processo de produção do camarão.

SILVA *et al.* (2009) investigaram o efeito do sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação do efluente na indústria do peixe. Experimentos de Jar Test foram utilizados para avaliar o efeito de parâmetros como pH, tipo de coagulação e dose de coagulante. Um planejamento fatorial completo foi utilizado, tendo-se como variáveis independentes o tipo de coagulante (sulfato de alumínio e cloreto férrico), a concentração (50 mg/L, 300 mg/L e 550 mg/L) e o pH do efluente (6,0, 7,0, 8,0). As respostas foram a remoção de sólidos voláteis, sólidos suspensos, turbidez e demanda química de oxigênio (DQO). A melhor condição foi observada usando-se cloreto férrico na concentração de 550 mg/L a pH 8,0, cujos resultados indicaram o máximo de eficiência de remoção de 86, 96, 89 e 60% para DQO, turbidez, sólidos suspensos e sólidos voláteis, respectivamente.

Os sistemas de tratamento de efluentes por meio de macrófitas aquáticas podem ser viáveis para os aqüicultores e ainda minimizam os impactos sobre os ecossistemas aquáticos. Apesar de diversos trabalhos comprovarem a eficiência das plantas aquáticas no tratamento de efluentes domésticos (ENNABILI *et al.*, 1998; LIN *et al.*, 2005; GREENWAY, 2005; HADAD *et al.*, 2006), estudos sobre a utilização desses vegetais no tratamento de efluentes de aqüicultura são ainda recentes no Brasil (ZANIBONI FILHO *et al.*, 1997; SIPAÚBA-TAVARES *et al.*, 2002; HENRY-SILVA e CAMARGO, 2008).

Watermeal (*Wolffia arrhiza*) é uma pequena planta aquática usada para tratar a água dos tanques de camarão do tipo tigre preto (*P.monodon*), na fazenda Pichú, na Tailândia (SUPPADIT *et al.*, 2008). De acordo com os autores, a relação entre a biomassa de Watermeal, a duração do tratamento, as alterações nos parâmetros de qualidade da água e o equilíbrio do nitrogênio foram avaliados para o tratamento dos efluentes da fazenda de camarão tigre preto em áreas de baixa salinidade. Uma biomassa de 12 g desse vegetal por litro de efluente da fazenda de camarão em um período de tratamento de 30 dias foi utilizada proporcionar as melhores condições para o crescimento do Watermeal, sendo avaliada a qualidade do efluente tratado em termos de demanda biológica de oxigênio, sólidos suspensos, fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal total e nitrogênio total (Kjeldahl). O pH e a salinidade foram semelhantes para cada nível de biomassa. As biomassas de Watermeal de 4 a 18 g por litro de efluente foram adequadas para a sua sobrevivência ao longo do tempo. Os referidos autores concluíram que a *Wolffia arrhiza* pode fixar o nitrogênio da atmosfera e crescer muito bem em efluentes contendo um baixo nível de nitrogênio, mantendo um equilíbrio satisfatório para o nitrogênio no sistema.

A fim de melhorar a qualidade da água na carcinicultura, FONTENOT *et al.* (2007) testaram um reator em batelada (SBR) para o tratamento de residuais de camarão. O SBR é uma variação do processo de tratamento de lodos ativados biologicamente. Este processo

utiliza várias etapas no mesmo tanque em substituição a tanques múltiplos no sistema de tratamento convencional. O processo realiza a correção do pH, aeração e clarificação em uma seqüência programada, por meio de um tanque simples, através de estágios de seqüenciamento, que inclui o preenchimento, reação, liquidação, decantação e repouso. As águas residuais provenientes do Centro de Maricultura Waddell, Carolina do Sul (EUA) foram tratadas com sucesso usando um reator do tipo SBR. Os efluentes líquidos continham alta concentração de carbono e nitrogênio, e através do funcionamento do reator seqüencial, a nitrificação e desnitrificação foram alcançadas, bem como a remoção de carbono. Foram otimizados vários parâmetros, tais como temperatura, salinidade e taxa de carbono e nitrogênio para o melhor desempenho do SBR. Os resultados indicaram que a salinidade de 28 - 40 ppm, temperatura entre 22 a 37 °C, e uma razão C: N de 10:1 produziram melhores resultados em termos de remoção de carbono. O sistema SBR mostrou resultados promissores e poderia ser usado como uma alternativa de tratamento viável na indústria do camarão.

O uso da flotação, apesar de tratar-se de uma operação de elevada eficiência para a remoção de matéria orgânica presente em efluentes, tem sido pouco relatada na literatura no que concerne ao tratamento de efluentes na carcinicultura.

Em trabalho realizado por JOKELA *et al.* (2001), ensaios-piloto de flotação por ar dissolvido foram conduzidos usando-se efluentes concentrados, sendo atingido um percentual de 90% de redução de fósforo em efluente de camarão.

MARTI *et al.* (1994) estudaram a flotação por ar dissolvido (FAD), a flotação em coluna e a eletroflotação para a remoção de gordura de águas originadas da fabricação de farinha de peixe. A FAD exibiu baixa eficiência de remoção da gordura, atingindo apenas 34% de remoção. Uma coluna operada de forma contínua reduziu em 64,3 % a gordura do efluente, enquanto que a eletroflotação obteve uma máxima remoção de gordura de 76% para um tempo de residência de 1584s. Sob o ponto de vista econômico, a flotação em coluna mostrou-se como o método mais eficiente, acrescentando apenas US\$ 0,023 para o custo de tonelada processada de farinha de peixe.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar os sistemas de flotação dos tipos por coluna e por ar dissolvido para o tratamento de efluentes da carcinicultura.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o efluente em termos de parâmetros físico-químicos e microbiológicos.
- Avaliar tratamento do efluente através da avaliação do pH e vazão utilizando uma coluna de flotação em escala de laboratório, operando em batelada, e usando planejamento fatorial.
- Avaliar o tratamento do efluente utilizando uma célula de flotação por ar dissolvido.

1.4. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO – ABCC. Promoção comercial das exportações de camarão cultivado brasileiro, jun. 2004. Disponível em: < www.abccam.com.br/apex/histproj-apex.doc>. Acesso em 13 mai. 2008.

ASSAD, L.T.; BURSZTYN, M. Aqüicultura sustentável. In: VALENTI, W.C.; POLI, C.R.; PEREIRA, J.A. et al. (Eds.) **Aqüicultura no Brasil, bases para um desenvolvimento sustentável**. Brasília: CNPq/Ministério da Ciência e Tecnologia, p.33-72, 2000.

ASSENHAIMER, C.; RUBIO, J. Purificação de águas contendo íons sulfato usando resíduos do processamento do camarão. XIX Prêmio Jovem Cientista, 2003. Disponível em: < www.lapes.ufrgs.br/ltn/pdf/Cristiane.pdf >. Acesso em 15 mai. 2008.

BACCARIN, A.E.; CAMARGO, A.F.M. Characterization and evaluation of the impact of feed management on the effluents of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, **48**, 81-90, 2005.

BEARDMORE, J.A.; MAIR, G.C.; LEWIS, R.I. Biodiversity in aquatic systems in relation to aquaculture. **Aquaculture Research**, **28**, 829-839, 1997.

BOYD, C. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. **Aquaculture**, **226**, 101-112, 2003.

CARCINICULTURA. 2008. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Carcinicultura>>. Acesso em 23 mai. 2008.

CLUSTER DO CAMARÃO DO RN. Dados econômicos: os números da carcinicultura no mundo e no Brasil. 2001. Disponível em: <<http://www.seplan.rn.gov.br/camarao/estatisticacamarao.htm>>. Acesso em 03 mai. 2008.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 312, de 10/10/2002. Diário oficial da União, 10 de outubro de 2002.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 357, de 18/03/2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>>. Acesso em: 13 mai. 2008.

CRIPPS, S.J.; KELLY, L.A., 1996. Reductions in wastes from aquaculture. In: Baird, D.J., Beveridge, M.C.M., Kelly, L.A., Muir, J.F. (Eds.). Aquaculture and water resource management. Proceedings of a conference held at the University of Stirling from 21st to 25st June 1994. Blackwell Science, London. 166-20 pp.

DESOUSA, S.R.; OLIVEIRA, K.F.; SOUZA, C.S.; KILIKIAN, B.V.; LALUCE, C. Yeast flotation viewed as the result of the interplay of supernatant composition and cell-wall hydrophobicity. *Colloid and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 29, p.309-319, 2003.

ENNABILI, A.; ATER, M.; RADOUX, M. Biomass production and NPK retention in macrophytes from wetlands of the Tingitan Peninsula. **Aquatic Botany**, v.62, p.45-56, 1998.

FIGUEIREDO, M.C.B.; ARÚJO, L.F.P.; GOMES, R.B.; ROSA, M.F.; PAULINO, W.D.; MORAIS, L.F.S. Impactos ambientais do lançamento de efluentes da carcinicultura em águas interiores, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 10, n. 2, 167-174, 2005.

FONTENOT Q., BONVILLAIN C., KILGEN M., BOOPATHY R. Effects of temperature, salinity, and carbon: nitrogen ratio on sequencing batch reactor treating shrimp aquaculture wastewater; **Bioresource Technology**, v. 98, 9, 1700-1703, 2007.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. Fishery country profile: the Federative Republic of Brazil. 2002. Disponível em: <http://www.fao.org/fi/fcp/FICP_BRA_E.asp>. Acesso em 30 abr. 2008.

GILDBERG, A.; STENBERG, E. A new process for advanced utilisation of shrimp waste. **Process Biochemistry**, v. 36, 809-812, 2001.

GLOBAL AQUACULTURE ALLIANCE. Codes of Practice for Responsible Shrimp Farming. 2003. Disponível em: <www.Gaalliance.org/code.html>. Acesso em 20 mai. 2008.

GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, A.; MENDOZA-ALFARO, R.; AGUIRRE-GUZMAN, G.; SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, J.G., Growth performance, survival and maturation of *Litopenaeus vannamei* (boone) in an inland crs with no water reposition, **Aquaculture Research**, v. 40, n. 12, p. 1428-1438, 2009.

GREENWAY, M. The role of constructed wetlands in secondary effluent treatment and water reuse in subtropical and arid Australia. **Ecological Engineering**, v.25, p.501-509, 2005.

HADAD, H.R.; MAINE, M.A.; BONETTO, C.A. Macrophyte growth in a pilot-scale constructed wetland for industrial wastewater treatment. **Chemosphere**, v.63, p.1744-1753, 2006.

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M.; PEZZATO, L.E. Digestibilidade aparente de macrófitas aquáticas pela tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) e qualidade da água em relação às concentrações de nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n.3, 642-647, 2006.

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n.2, 181-188, 2008.

JOKELA, P ; IHALAINEN, E ; HEINANEN, J ; VIITASAARI, M. Dissolved air flotation treatment of concentrated fish farming wastewaters. **Water Science and Technology**, v.32,p.115-121,2001.

JONES, A.B.; DENNISON, W.C., PRESTON, N.P. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. **Aquaculture**, v. 193, 155–178, 2001.

LIN, Y.F.; JING, S.R.; LEE, D.Y. et al. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. **Aquaculture**, v.134, p.411-421, 2005.

LUNA, C. L. **Avaliação de técnicas de separação fluido-sólido na produção de bioinseticidas a partir de *Bacillus sphaericus* e *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis***, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 2004.

MARTI, M, C ; ROECKEL, M ; ASPE, E ; NOVOA , M. Fat removal from process Waters of the fish-meal industry – a study of 3 flotation methods. **Environmental Technology**, v.15, p.29-39, 1994.

MIDLEN, A.; REDDING, T. **Environmental management for aquaculture**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 223p., 1998.

PILARSKI, F.; TOMAZELLI JR., O; CASACA, J.M; GARCIA, F.R.M.; TOMAZELLI, I.B.; SANTOS, I.R. Consórcio suíno-peixe: aspectos ambientais e qualidade do pescado. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 33, n.2, 267-276, 2004.

RAMOS, R ; VINATEA, L ; ANDREATTA, E.H.R.; DA COSTA, R. Treatment of effluent from ponds of *Litopenaeus vanammei* shrimp rearing through nutrients sedimentation and absorption with the macroalga *Ulva fasciata*. **Instituto de pesca de São Paulo**, v.34, p.345-353, 2008.

REDDING, T.; TODD, S.; MIDLEN, A. The treatment of aquaculture wastewater - A botanical approach. **Journal of Environmental Management**, v. 50, 283-299, 1997.

ROCHA, I. P.; RODRIGUES, J. A Carcinicultura Brasileira em 2002. **Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão**, v. 1, 30-45, 2003.

RUBIO, J.; SOUZA, M. L.; SMITH, R. W. Overview of flotation as a wastewater treatment technique. **Minerals Engineering**, v. 15, 139-155, 2002.

SAMPAIO, Y.; COUTO, E. Geração de empregos diretos e indiretos na cadeia produtiva do camarão marinho cultivado. 2003. Disponível em: < www.abccam.com.br/download/GERA%C7%C3O%20DE%20EMPREGOS.pdf >. Acesso em 15 mai. 2008.

SAMPAIO, Y.; COSTA, E.F. **Social Impacts and Job Generation From the Farmed Shrimp Production Chain**, World Aquaculture Society, 2003.

Silva, A.G.M.; Hornes, M.O.; Mitterer, M.L.; Queiroz, M.I. Application of coagulants in pretreatment of fish wastewater using factorial design, **Desalination and Water Treatment**, p. 208–214, 2009.

SIPAÚBA-TAVARES, L.H.; FÁVERO, E.G.P.; BRAGA, F.M.S. Utilization of macrophyte biofilter in effluent from aquaculture: I. Floatin plant. **Brazilian Journal of Biology**, v.62, n.3, p.1-11, 2002.

SUPPADIT, T.; PHOOCHINDA, W.; PHUTTHILERPONG, S.; NIEOBUBPA, C. Treatment of effluent from shrimp farms using watermeal. **Scienceasia**, v.34 (2), p.163-168, 2008.

TRUE, B; JOHNSON, W.; CHEN, S. Reducing phosphorus discharge flow through aquaculture I: facility and effluent characterization. **Aquacultural Engineering**, v. 32, 129-144, 2004.

VAN RIJN, J. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture - A review. **Aquaculture**, v. 139, 18-20, 1996.

WANG, J. Managing shrimp pond water to reduce discharge problems. **Aquaculture Engineering**, v. 9, 134-142, 1990.

ZAKARIA, Z.; HALL, G.M.; SHAMA, G. Lactic acid fermentation of scampi waste in a rotating horizontal bioreactor for chitin recover. **Process Biochemistry**, v. 33, 1-6, 1998.

ZANIBONI FILHO, E.; BARBOSA, N.D.C.; GONCALVES, S.M.R. Caracterização e tratamento do efluente das estações de piscicultura. **Acta Scientiarum**, v.19, n.2, p.537-548, 1997.

CAPÍTULO 2

Aplicação de planejamento experimental visando o tratamento de efluente de carcinicultura por flotação em coluna e flotação por ar dissolvido

José Francisco de Araújo Melo¹, Valdemir Alexandre dos Santos¹,
Christine Lamenha Luna Finkler²

¹Universidade Católica de Pernambuco – Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais
Rua do Príncipe, 526, Boa Vista – 50.050-900 Recife – PE

²Universidade Federal de Pernambuco – Campus de Vitória de Santo Antão – Núcleo de Nutrição
Rua do Alto do Reservatório, s/n, Bela Vista - Vitória de Santo Antão – PE
E-mail: chrislluna@yahoo.com.br

Resumo: O trabalho visa realizar a caracterização físico-química e microbiológica de efluentes provenientes da carcinicultura, e investigar os usos das flotações em coluna e por ar dissolvido para o seu tratamento. Nos ensaios em coluna, foi utilizado um planejamento experimental com duas variáveis (pH e vazão de ar), e o efeito da adição de um flocculante também foi investigado. Em célula FAD, o processo foi realizado para pressões de saturação de 3 e 6 bar, e pH de 5,8 e 9,8, além do uso de um coletor aniônico. Os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram condizentes com os encontrados na literatura. Na flotação em coluna com o efluente no início do cultivo, verificou-se que a turbidez diminui com o aumento da vazão e com a diminuição do pH, sendo obtido como melhor ajuste um modelo linear com interação. A presença do flocculante na concentração de 0,1% (p/v) a pH 7,8 demonstrou uma remoção de turbidez de apenas 25% para a condição de menor vazão de ar. Para o tratamento do efluente do fim do cultivo o mesmo comportamento foi observado, atingindo um valor máximo de remoção de cerca de 40% após 35 minutos de processo, com um ajuste quadrático do modelo. Na flotação por ar dissolvido do efluente do fim do cultivo, os maiores percentuais de remoção de turbidez foram obtidos a pH 5,8, atingindo valores de 52 e 47% para pressões de operação de 3 e 6 bar, respectivamente. Na presença de um coletor aniônico, observou-se um aumento na remoção da turbidez para valores entre 56 e 65%.

Palavras-chave: planejamento experimental; flotação em coluna, FAD

Abstract

Abstract: The study aims at the characterization physical-chemical and microbiological quality of effluent from shrimp farming, and investigate the uses of column flotation and dissolved air to your treatment. In column tests, we used an experimental design with two variables (pH and air flow), and the effect of adding a flocculant was also investigated. In cell FAD, the process was carried out to saturation pressures of 3 and 6 bar, and pH of 5.8 and 9.8, and the use of an anionic collector. The results of the physico-chemical and microbiological tests were consistent with those found in the literature. In the column flotation with the effluent at the beginning of cultivation, it was found that the turbidity decreases with increasing flow rate and the decrease in pH, was obtained as best fit a linear model with interaction. The presence of flocculant concentration of 0.1% (w / v) at pH 7.8 showed a removal of turbidity of only 25% for the condition of lower air flow. For the treatment of effluent from the end of cultivation the same behavior was observed, reaching a maximum removal of about 40% after 35 minutes of the proceedings, with a square adjustment of the model. In dissolved air flotation effluent end of the cultivation, the highest percentage of turbidity removal were obtained at pH 5.8, reaching values of 52 and 47% for operating pressures of 3 and 6 bar, respectively. In the presence of an anionic collector, there was an increase in the removal of turbidity values between 56 and 65%.

Keywords: experimental design; column flotation, FAD

2.1. Introdução

O agronegócio da carcinicultura tem ocasionado a geração de efluentes com elevado teor de matéria orgânica, microorganismos, resíduos sólidos e materiais em suspensão. Atualmente, estes efluentes são lançados no mar e nos rios sem tratamento adequado (CARCINICULTURA, 2008).

No Brasil, o tratamento de efluentes da carcinicultura mediante processos individuais ou integrados de sedimentação, bem como 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 biorremediação de ambientes poluídos (VIDOTTI e ROLLEMBERG, 2004). Outros trabalhos enfocam 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).

A flotação surgiu como processo de concentração de fases de uso já consagrado no beneficiamento de minérios. Atualmente, este processo vem sendo alvo de grande interesse também no tratamento de efluentes líquidos, principalmente quando a diferença de densidade entre as fases é pequena.

No presente trabalho, será avaliado o desempenho da flotação em coluna e da flotação por ar dissolvido (FAD) no tratamento de um efluente proveniente do processo de produção do camarão branco *Litopenaeus vannamei*.

2.2. Material e Métodos

2.2.1 Coleta e acondicionamento do efluente

O efluente foi coletado na fazenda Tabatinga, localizada no litoral norte do Estado de Pernambuco, no município de Ponta de Pedra, a 73 km de Recife. A fazenda tem 25 ha de viveiro para criação de camarão *Litopenaeus vannamei*. A Figura 3 mostra uma vista aérea da fazenda, com os 5 viveiros. No presente trabalho foram utilizados os viveiros v1 e v3.

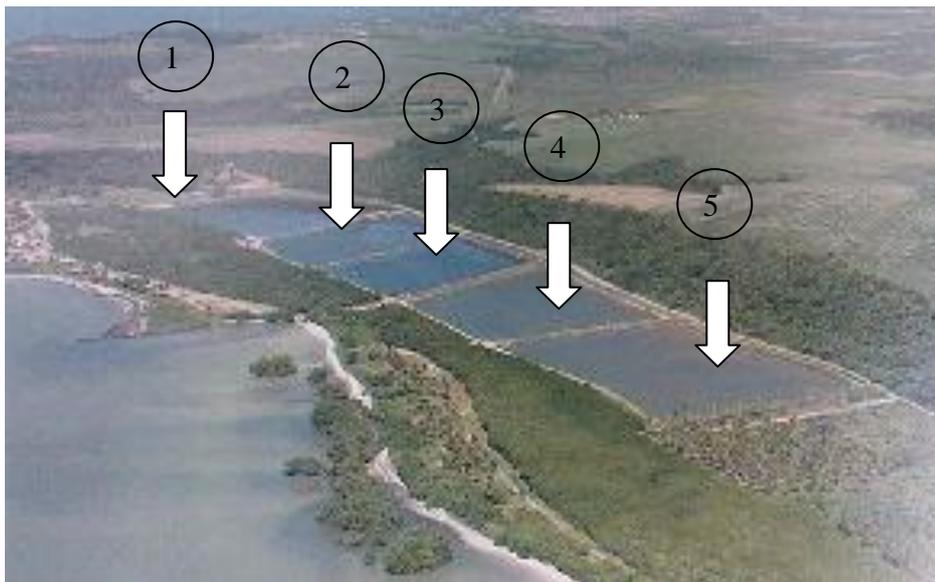


Figura 3 - Vista área da fazenda Tabatinga (1,2,3,4,5 – viveiros)

a) Viveiro v1:

Características: O viveiro tem uma área de 4,7 ha. Para este viveiro foram adquiridas 550.000 larvas PL's10 para povoamento, numa densidade de 11,7 pos-larva por metro quadrado.

Coleta: Foram realizadas três coletas do efluente com um volume total de 63 litros, sendo 37 litros na primeira amostra (fim do cultivo ou engorda), 22 litros na segunda amostra (início do cultivo) e 4 litros na terceira amostra (água do mar), com o volume total referente ao primeiro ciclo de produção. As coletas foram realizadas no período de 16 de janeiro de 2009 a 28 de maio de 2009.

As amostras foram retiradas através de recipientes de plástico com capacidade de 100 litros e o volume coletado foi homogeneizado e colocado em recipientes plásticos limpos e não estéreis de 2 e 5 litros de capacidade. Uma amostra estéril de 200mL foi coletada de acordo com os padrões estipulados pela APHA (1992), visando a caracterização microbiológica do efluente. Em seguida, as amostras foram congeladas a -20°C no laboratório de físico-química da Universidade Católica de Pernambuco.

b) Viveiro v3:

Características: O viveiro tem uma área de 3,3 ha e um talude de 5 m em ambos os lados. Para este viveiro foram adquiridas 500.000 larvas PL's10 para povoamento, numa densidade de 15 PL's/m². O viveiro apresenta uma profundidade de 1,90 m na maior

declividade, onde se situa a comporta, e 1,20 m na área plana, onde o camarão *L. vannamei* se desenvolve entre a fase juvenil até a engorda.

Preparo: Foi realizada a calagem após a despesca anterior, sendo colocado no solo 1000 kg de cal para a correção do pH por hectare. Após o período de adaptação e reação, foi introduzida pelo canal de alimentação de água de abastecimento aproveitando a altura da maré.

Foram preparados 60 comedouros distribuídos em toda a área. Os mesmos ficam submersos e preenchidos com ração balanceada e peletizada com 35% de proteína até o peso comercial de 12 g. O início do povoamento e cultivo ocorreu em 10 de julho de 2009 no período da tarde, tendo o viveiro sido fertilizado com 100 kg de nitrato de cálcio. As larvas foram diretamente colocadas no ambiente aquático, sem passarem pelo berçário para adaptação.

Cultivo: A cada 20 dias foi adicionado aproximadamente 100 kg de nitrato de cálcio. Os camarões foram medidos fazendo-se a biometria semanalmente, retirando-se uma amostragem com 40 indivíduos, em média. Verificou-se que os camarões aumentaram de peso de 0,60 a 1,10 g por semana. Também foi realizado o controle físico-químico e microbiológico do efluente. Em função da evaporação e do acúmulo de material, apenas se efetuava a troca de água do viveiro com água dos canais de alimentação. À noite sempre era feita a aeração quando o nível de oxigênio diminuía.

Despesca: Foi realizada no dia 10 de outubro de 2009, e a produção atingiu 5 toneladas e quatrocentos quilos. O ciclo do cultivo teve uma duração de 92 dias tendo uma produtividade média de 1.733 kg/ciclo de cultivo, o que representa um bom resultado para a densidade de 13 camarões por metro quadrado e o sistema semi-intensivo, ou seja, com alimentação natural e artificial. Ao longo do cultivo foram determinados os parâmetros físico-químicos dos efluentes, encontrando-se valores dentro da faixa esperada de acordo com a literatura, a saber: pH 7,78, oxigênio dissolvido 5,74 mg/L, salinidade 30/mil, temperatura 29,2°C.

A Figura 4 ilustra um camarão *L. vannamei* obtido a partir do viveiro 3.

Coleta: Foi retirado um volume de 37 litros de efluente, 16 amostras, e a coleta foi feita em vasilhames de plásticos no momento do descarte e também na área da comporta com profundidade de 1m. O transporte e o acondicionamento foram feitos de maneira similar

ao descrito anteriormente para o viveiro v1. A Figura 5 ilustra o momento da coleta do efluente no fim do cultivo.



Figura 4 - Camarão *L. vannamei* obtido no viveiro 3



Figura 5 – Coleta do efluente no fim do cultivo

2.2.2 Caracterização físico-química do efluente

- Condutividade elétrica

A determinação da condutividade elétrica foi feita utilizando-se um condutímetro na escala de 99,9 μS (Quimis 405B). A amostra do efluente foi colocada em um béquer contendo 50 mL do líquido, fazendo-se a leitura diretamente no visor digital.

- Temperatura

A temperatura das amostras foi medida utilizando-se um oxímetro digital (ISA 55).

- Sólidos sedimentáveis (SS)

O teor de sólidos sedimentáveis foi determinado por meio do método do cone de Imhoff. Um volume da amostra de 1000 mL foi colocado no cone, com um tempo de

decantação de 45 min. Posteriormente, foi utilizado um bastão de vidro para remoção dos sólidos na parede do tubo, deixando-se decantar por mais 15 min e fazendo-se a leitura do volume sedimentado (APHA, 1992).

- Sólidos totais (ST), Sólidos Voláteis (SV) e Sólidos Fixos (SF)

Foram utilizadas cápsulas de porcelana previamente secas em mufla por 1 h e pesadas. Um volume de 100 mL da amostra era colocado na cápsula, sendo evaporada em banho-maria até a completa secagem. Posteriormente, a amostra era colocada em estufa a 105°C por 1 h e resfriada em dessecador por 30 min. A cápsula era novamente pesada e colocada em mufla a 550°C por 1 h. Após resfriada em dessecador por 30 min e pesada, a amostra era filtrada até ausência total de resíduo em suspensão. A análise foi realizada em sextuplicata (APHA, 1992).

- Cor

A determinação da cor foi realizada utilizando-se o equipamento *Aqua Test*. O método mais comum para determinar a cor é o da comparação visual, e a amostra pode ser comparada com soluções padrão de cor. O método de avaliação da unidade da cor é o da comparação com o padrão de platina-cobalto, ou seja, a cor produzida por 1 mg/L de platina.

- pH

Os valores de pH da água do mar antes de entrar no viveiro e do efluente (no início e do fim do cultivo) foram determinados por meio da leitura instrumental em um pHmetro digital (Quimis, modelo 465-B). Após a calibração com soluções tampão de pH entre 4,0 e 7,0, o eletrodo de vidro foi imerso em um béquer contendo cerca de 40 mL de água do mar e de efluente, fornecendo diretamente o resultado através do mostrador digital.

- Oxigênio dissolvido (OD)

A determinação do oxigênio dissolvido foi realizada utilizando-se o oxímetro digital ISA 55.

- Turbidez

Para a determinação da turbidez do efluente, foi empregado um turbidímetro (Policontrol 1000 II), utilizando a escala de 100 NTU para o efluente sem floculante e a escala de 1000 NTU para o efluente com floculante.

- Determinação de cloretos

O teor de cloretos foi determinado pelo método de Morh (APHA, 1992). Um volume de 50 mL da amostra era colocado em um Erlenmeyer de 250 mL. Após filtração, era adicionado 1 mL do indicador K_2CrO_4 , titulando-se com uma solução de $AgNO_3$ 0,0141 M até o aparecimento da coloração vermelho-tijolo.

2.2.3 Caracterização microbiológica do efluente

A caracterização microbiológica foi realizada por meio da determinação de coliformes totais e fecais pela técnica de tubos múltiplos (NMP) (APHA, 1992).

2.2.4 Flotação em coluna

Foi utilizada uma coluna de flotação de bancada, construída em acrílico e vidro e que pode operar em batelada ou continuamente. Na parte inferior da coluna está localizado um dispersor de ar conectado a um compressor (modelo DIA-Pump 312), possibilitando a dispersão das bolhas na suspensão. A aeração foi controlada pelo ajuste de um rotâmetro (modelo Aalborg NY) conectado ao compressor e a coluna, conforme mostra a Figura 6.

Visando avaliar a influência da vazão de ar e do pH sobre a remoção de turbidez do efluente, foi realizado um planejamento experimental com duas variáveis (pH e vazão de ar) a dois níveis, com ensaios em quadruplicata no ponto central. A Tabela 2 mostra o planejamento experimental realizado e os níveis das variáveis em estudo.

Os experimentos de flotação foram realizados em batelada. Após a injeção de ar, a coluna foi carregada com o efluente pela parte superior até o volume aproximado de 2.500 mL. A vazão de ar foi ajustada por meio do rotâmetro e a flotação foi iniciada, sendo recolhidas amostras ao longo do tempo em intervalos de cinco minutos no ponto de coleta P_2 (Figura 6A) para imediata determinação da turbidez. O tempo de experimento foi de 40 min. Vazões maiores que 1627 mL/min produziam maior turbulência no efluente, com formação de bolhas de tamanhos irregulares e transbordamento do líquido da coluna, afetando o movimento hidrodinâmico do sistema.

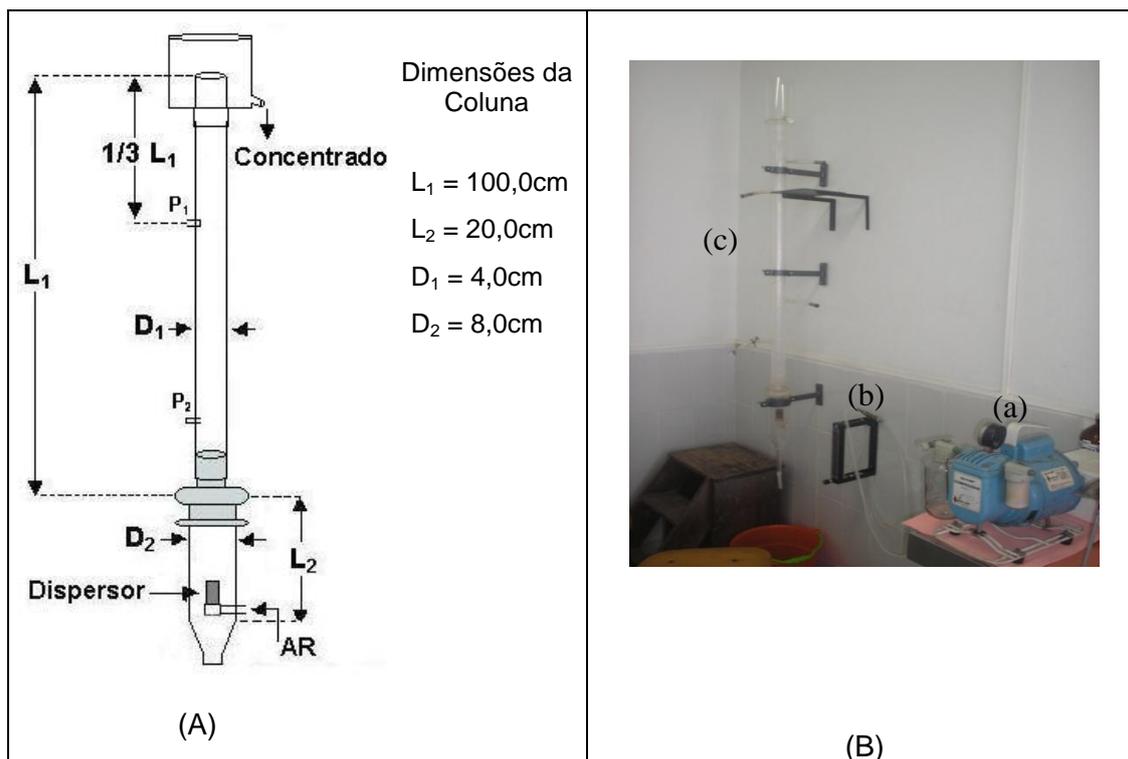


Figura 6 – (A) Dimensões da coluna de flotação; (B) Aparato experimental: (a) compressor; (b) rotâmetro; (c) coluna de flotação

Tabela 2 – Planejamento experimental utilizado nos ensaios de flotação em coluna

Experimentos	Nível da vazão de ar	Vazão de ar*	Nível do pH	pH
1	- 1	45	-1	5,8
2	+1	65	-1	5,8
3	-1	45	+1	9,8
4	+1	65	+1	9,8
5	0	55	0	7,8
6	0	55	0	7,8
7	0	55	0	7,8
8	0	55	0	7,8

*Leitura no rotâmetro. Valores correspondentes: 45 = 1.098 mL/min; 55 = 1.362 mL/min; 65 = 1.627 mL/min

Foram feitos experimentos adicionais com a adição do floculante Bozefloc CE 340 líquido (Clariant®) de acordo com a mesma sistemática descrita acima, utilizando-se uma concentração de floculante de 0,1% (p/v) e pH 7,8 (pH do efluente), nas vazões de 1.098 mL/min e 1.627 mL/min. Neste caso, a leitura de turbidez foi realizada utilizando-se a escala correspondente a 1.000 NTU.

2.2.5 Flotação por ar dissolvido (FAD)

O equipamento consiste em um flotador de bancada construído em aço e acrílico. Na parte superior estão localizados válvulas de alívio, manômetro e entrada de água. Na parte inferior do cilindro estão o reservatório e a válvula de controle de entrada e saída do ar. O compressor fica situado fora da bancada de teste. A pressão é controlada pela regulagem do manômetro conectado ao compressor e ao cilindro homogeneizador, conforme ilustra a Figura 7.



Figura 7 – Flotador por ar dissolvido. A: manômetro; B: entrada de água; C: cilindro homogeneizador; D: tanque; E: válvula de controle de saída do ar; F: válvula de controle de vazão; G: válvula de alívio; H: medidor de nível

Inicialmente, foi colocado na parte superior do flotador um volume de 2,0 L de água destilada, conforme a indicação do medidor de nível. A água foi homogeneizada durante 10 minutos, regulando-se a pressão para valores entre 3 a 7 bar. Posteriormente, foi colocado no tanque de flotação um volume de 700mL de efluente. Após um tempo de mistura do efluente de 2 minutos a uma rotação de 260rpm, ocorreu a despressurização do sistema, sendo observada a formação de microbolhas e a elevação das partículas para a superfície no tanque de flotação durante um tempo de 3 a 4 minutos. O tempo de repouso variou de acordo com a pressão de injeção. Em seguida, foram medidos os valores inicial (T_i) e final (T_f) da turbidez do efluente.

A Figura 8 mostra as etapas do experimento:

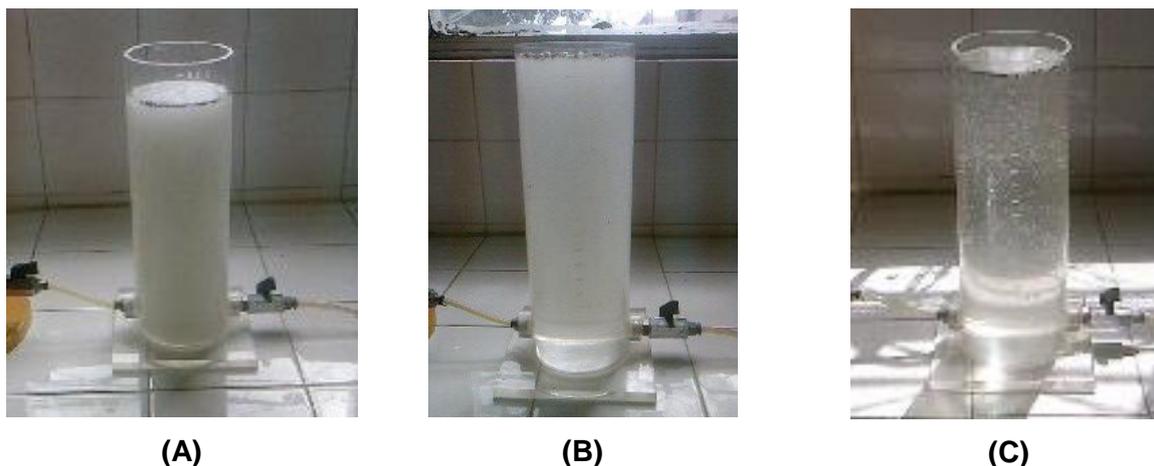


Figura 8 – (A) Injeção de ar no tanque de flotação contendo o efluente; (B) Tempo de repouso; (C) Clarificação do efluente

Foram realizados experimentos com valores de pressão de 3 e 6 bar, e valores de pH de 5,8 e 9,8, sendo avaliada a turbidez do efluente antes e após a flotação. Os experimentos foram realizados com o efluente obtido na engorda, obtido a partir do viveiro v3, e os resultados foram expressos em percentual de remoção de turbidez.

Experimentos adicionais foram realizados utilizando um coletor aniônico (Flomin-C-5435) na concentração de 1% (p/v), com pH variando de 5,8 a 9,8 e pressões de 3 e 5 bar.

2.3. Resultados e Discussão

2.3.1 Caracterização físico-química e microbiológica do efluente

O controle das variáveis hidrobiológicas da água é determinante para o sucesso do cultivo de camarões em condições semi-intensivas e intensivas, devido ao fato de que os processos químicos, físicos e biológicos facilmente entram em desequilíbrio. O acompanhamento dos parâmetros da qualidade da água se inicia antes do povoamento e se estende até o final do cultivo, permitindo a tomada de decisões preventivas e corretivas de problemas ligados à qualidade da água para mantê-la em condições ideais, tanto para possibilitar o consumo de ração pelo camarão e sua conversão em biomassa, como para evitar o estresse ambiental (ABCC, 2005). Estas informações, especialmente considerando a renovação da água dos viveiros, asseguram a manutenção de um ambiente equilibrado durante todo o cultivo.

As características físico-químicas e microbiológicas são influenciadas pelas condições ambientais e pelo período de coleta. Dessa forma, são apresentados a seguir os resultados de caracterização do efluente no início e do fim do cultivo, bem como da água do mar antes de entrar no viveiro v1, no período de 16 de janeiro de 2009 a 28 de maio de 2009 (Tabela 3), assim como os resultados de nitrito, nitrato, amônia e características microbiológicas do descarte do efluente do viveiro v3 (Tabela 4).

Tabela 3 – Resultados de caracterização físico-química e microbiológica do viveiro v1

Parâmetro	Amostra		
	Água do mar	Inicial	Fim do cultivo
Condutividade elétrica (μS)	25.600	21.700	42.400
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	27,9	28,5	28,0
Sólidos sedimentáveis – SS (mL/L)	0,0	2,5	0,1
Sólidos totais – ST (g/L)	24,7	21,1	22,1
Sólidos voláteis – SV (g/L)	6,3	5,2	6,1
Sólidos fixos – (g/L)	18,4	15,9	16,0
Cor (mg/L)	35	50	80
pH	8,3	7,8	7,6
Oxigênio dissolvido – OD (mg/L)	-	5,7	6,0
Teor de cloretos (g/L)	15,9	14,0	15,1
Coliformes totais (NMP/100mL)	30	170	220
Coliformes fecais (NMP/100mL)	7	50	80

Tabela 4 – Resultados de caracterização físico-química e microbiológica do fim do cultivo do efluente do viveiro v3

Parâmetro	Fim do cultivo
Nitrito (ppm)	0,016
Nitrato (ppm)	12,71
Amônio (ppm)	5,77
Coliformes totais (NMP/100mL)	> 1600
Coliformes fecais (NMP/100mL)	26

A maior condutividade elétrica observada no efluente do fim do cultivo pode ser atribuída a uma maior quantidade de sais contidos no material orgânico proveniente da ração balanceada.

Observou-se que a temperatura da água permaneceu uniforme com variações mínimas entre os pontos, entre 27,9 a 28,5°C. Os resultados estão coerentes com a literatura, que relata valores de temperatura compreendidos entre 26 e 33 °C no efluente de camarão (NUNES 2002b), variando em função da sazonalidade e do movimento da maré.

O pH permaneceu alcalino, com valores entre 7,6 e 8,3. Os teores de sólidos fixos representam a maior parte dos sólidos totais presentes nas amostras.

O baixo valor de oxigênio dissolvido para a água do mar pode ser explicado em função da água do canal estar parada por alguns dias em função da maré, havendo grande evaporação. Por outro lado, as concentrações de oxigênio dissolvido foram altas nas amostras do início e fim do cultivo, com valores de 5,7 e 6,0 mg/L, respectivamente. Estes resultados estão próximos do valor exigido, que é de 4 mg/L. Os teores de cloreto obtidos para o viveiro v1 são semelhantes e estão coerentes com a salinidade.

Em relação à caracterização microbiológica, verifica-se um maior teor de coliformes totais e fecais nas amostras inicial e final em relação à água do mar, indicando que há contaminação por bactérias de origem fecal no processo de cultivo do camarão.

Comparando-se com o trabalho realizado por CHELLAPPA *et al.* (2007), observou-se uma alta concentração de nitrato (12,71 ppm) e de amônio (5,77 ppm) no viveiro v3, enquanto que os autores obtiveram concentrações de nitrato e de amônio de 0,06 e 0,13 ppm, respectivamente.

2.3.2 Flotação em coluna

A Tabela 5 mostra os valores de turbidez em triplicata para o efluente do início do cultivo no viveiro v1, de acordo com o planejamento experimental empregado, para um tempo de flotação de 40 minutos.

Com o planejamento fatorial, verificou-se a influência das duas variáveis de entrada (vazão de ar e pH) sobre os valores da variável resposta (turbidez) do processo, buscando definir as faixas ótimas de operação do mesmo, ou seja, faixas que minimizem a resposta. Os resultados foram avaliados utilizando-se o *software* Statistica® versão 6.0. Cabe ressaltar que os experimentos foram realizados randomicamente e o erro experimental do planejamento foi obtido através da média e desvio padrão dos pontos centrais que foram repetidos.

Tabela 5 – Valores de turbidez para o efluente do início do cultivo no viveiro v1
(tempo de flotação de 40 minutos)

Experimentos	Vazão de ar*	pH	Turbidez 100 NTU	Turbidez 100 NTU	Turbidez 100 NTU
1	45	5,8	30	28	28
2	65	5,8	12	13	12
3	45	9,8	30	29	29
4	65	9,8	31	30	31
5	55	7,8	40	35	32
6	55	7,8	47	46	47
7	55	7,8	60	62	60
8	55	7,8	58	55	52

*Leitura no rotâmetro. Valores correspondentes: 45 = 1.098 mL/min; 55 = 1.362 mL/min; 65 = 1.627 mL/min

A Figura 9 mostra a superfície de resposta para a turbidez final em função da vazão de ar e do pH para um tempo de flotação de 40 minutos, para o efluente do início do cultivo no viveiro v1. O melhor ajuste foi obtido para um modelo linear com interação, sendo observado que a turbidez diminui com o aumento da vazão e com a diminuição do pH.

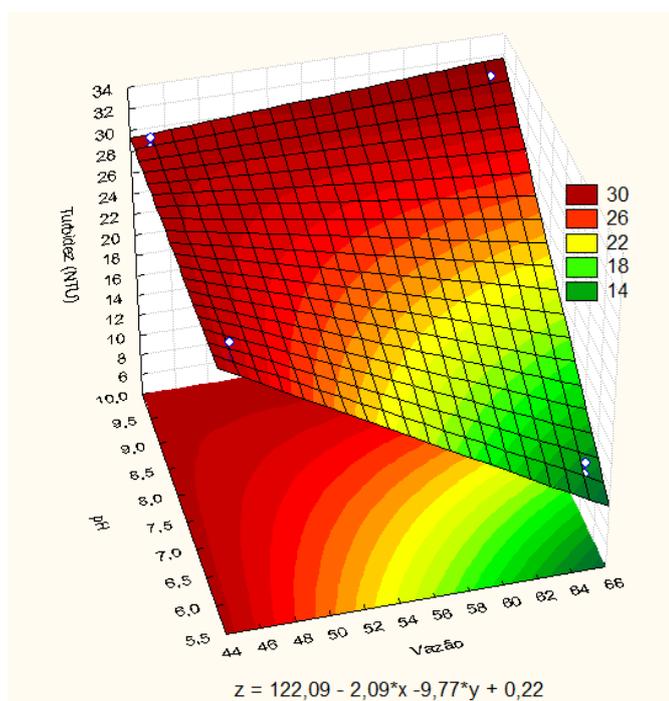


Figura 9 – Turbidez como função da vazão de ar e do pH (tempo de flotação de 40 minutos; 95% de significância; efluente do início do cultivo no viveiro v1)

O diagrama de Pareto (Figura 10), que apresenta de forma clara os efeitos que são estatisticamente importantes, mostra que todas as variáveis tem significância, inclusive o efeito de interação. A Figura 11 apresenta os resultados experimentais *versus* os resultados previstos pelo modelo ajustado, mostrando uma boa concordância entre eles.

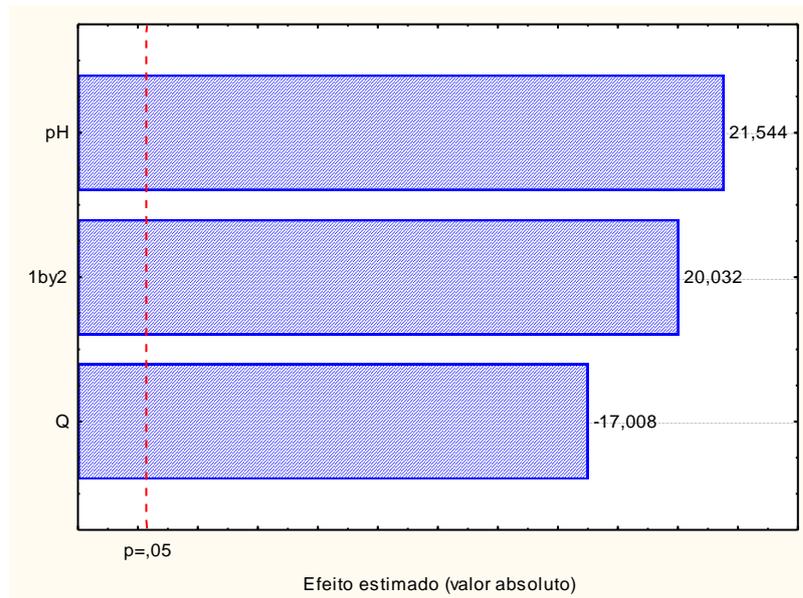


Figura 10 – Diagrama de Pareto da variável turbidez (tempo de flotação de 40 minutos; 95% de significância; efluente do início do cultivo no viveiro v1)

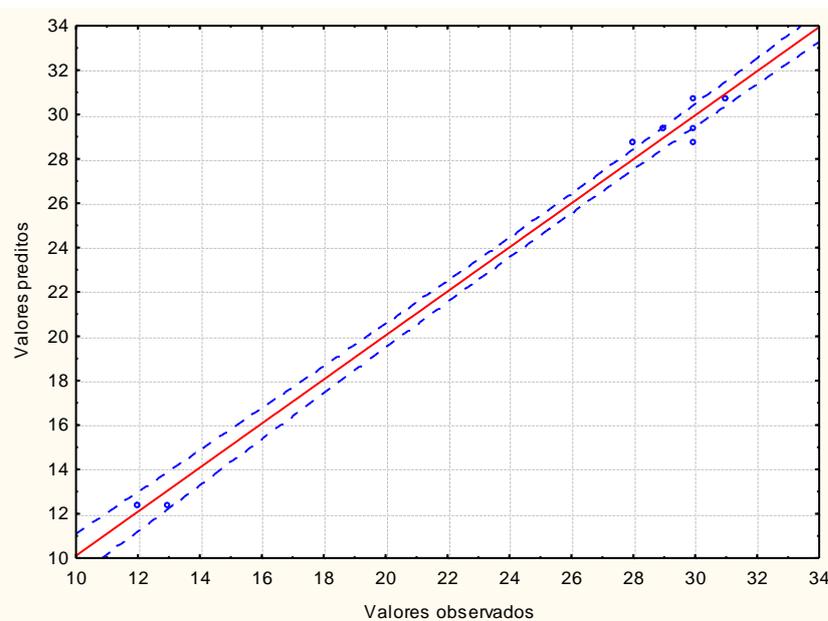


Figura 11 – Valores previstos *versus* valores observados para a variável turbidez (tempo de flotação de 40 minutos; 95% de significância; efluente do início do cultivo no viveiro v1)

A Equação 2 representa o modelo empírico ajustado para a turbidez no tempo de flotação de 40 minutos e sua variância explicada. As variáveis Z, x e y expressam a turbidez, a vazão de ar e o pH, respectivamente.

Tempo de flotação de 40 min:

$$Z = 122,09 - 2,09 x - 9,77 y + 0,22; R^2 = 0,993 \quad (2)$$

Na Tabela 6 encontram-se os parâmetros das análises de variância (ANOVA) (coeficiente de variação explicada - R^2 e teste F) para o ajuste do modelo linear tendo como variável resposta a turbidez para o tempo de flotação de 40 minutos. Observa-se que o modelo descrito na Equação 2 é estatisticamente significativo, pois o coeficiente de variação explicada é satisfatório e a razão de $F_{\text{calculado}}$ por F_{tabelado} é maior que 1, para um nível de confiança de 95% (BARROS NETO *et al.*, 2001).

Tabela 6 - Parâmetros da análise de variância para a turbidez no tempo de flotação de 40 minutos (efluente do início do cultivo no viveiro v1)

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{\text{calculado}}$ (95%)	F_{tabelado} (95%)	R^2
Vazão de ar	168,75	1	168,75	289,28		
pH	270,75	1	270,75	464,14		
Vazão x pH	234,08	1	234,08	401,28	5,32	0,993
Erro	4,67	8	0,583			
Total	678,25	11				

A Figura 12 mostra os resultados obtidos para os ensaios de flotação utilizando o floculante Bozefloc CE 340 líquido (Clariant®) em uma concentração de 0,1% (p/v) e na condição de pH de 7,8. Foi obtida uma remoção máxima de turbidez de apenas 25% para a condição de menor vazão de ar, enquanto que aumentando-se a vazão a remoção percentual atinge valor pouco superior a 10%.

A Figura 13 mostra os resultados para o efluente obtido no fim do cultivo no viveiro v1. Neste caso, os resultados estão expressos em percentual de remoção de turbidez (variável dependente) em função da vazão de ar e do pH (variáveis independentes). Os melhores resultados foram obtidos para um tempo de flotação de 35 minutos, com um ajuste quadrático do modelo com interação. Assim como no caso anterior, observa-se que a remoção de turbidez aumenta com o aumento da vazão de ar e com a diminuição do pH, atingindo um valor máximo de remoção de cerca de 40%.

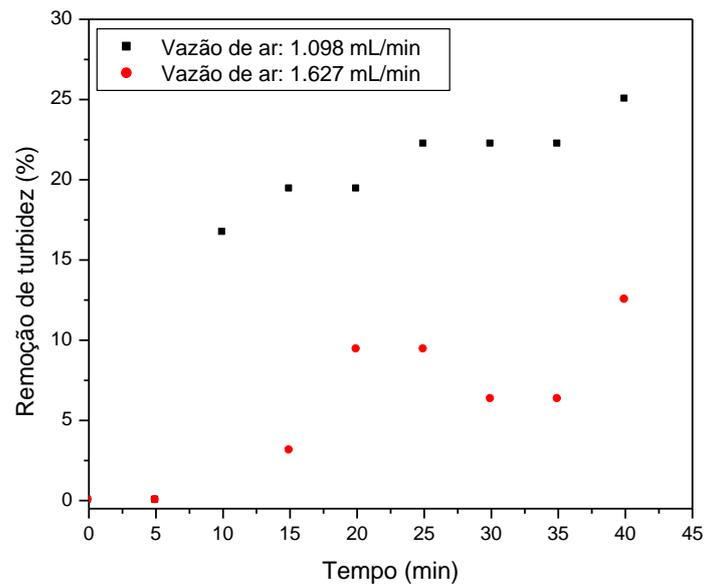


Figura 12 – Remoção de turbidez utilizando 0,1% (p/v) do floculante Bozefloc CE 340 líquido (Clariant®) (pH 7,8; turbidez inicial de 340 NTU; efluente do início do cultivo no viveiro v1)

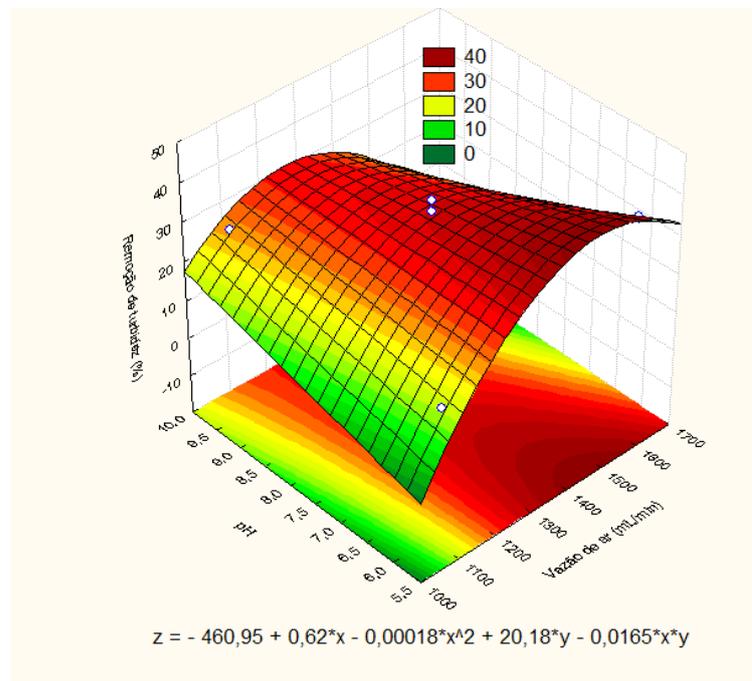


Figura 13 – Remoção de turbidez como função da vazão de ar e do pH (tempo de flotação de 35 minutos; 95% de significância; efluente do fim do cultivo no viveiro v1)

O diagrama de Pareto (Figura 14) mostra que todas as variáveis têm significância, exceto o termo linear da vazão. A Figura 15 apresenta os resultados experimentais *versus* os resultados previstos pelo modelo ajustado, mostrando uma boa concordância entre eles.

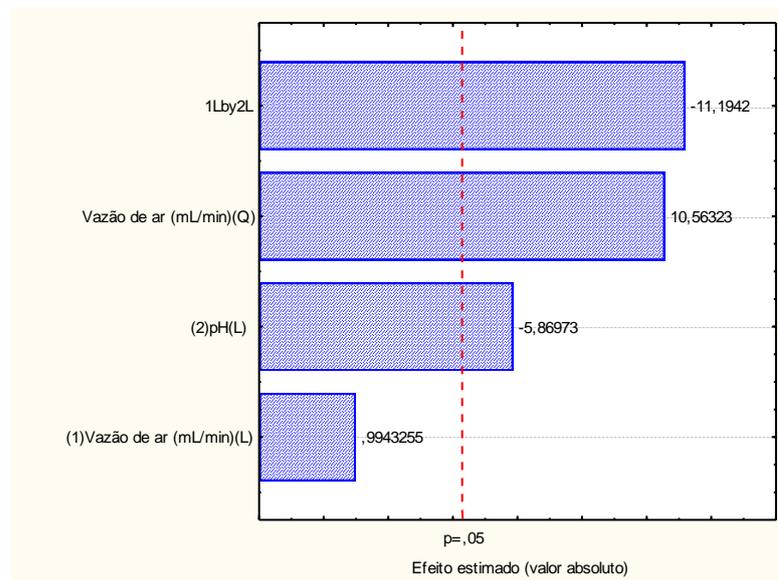


Figura 14 – Diagrama de Pareto da variável remoção de turbidez (tempo de flotação de 35 minutos; 95% de significância; efluente do fim do cultivo no viveiro v1)

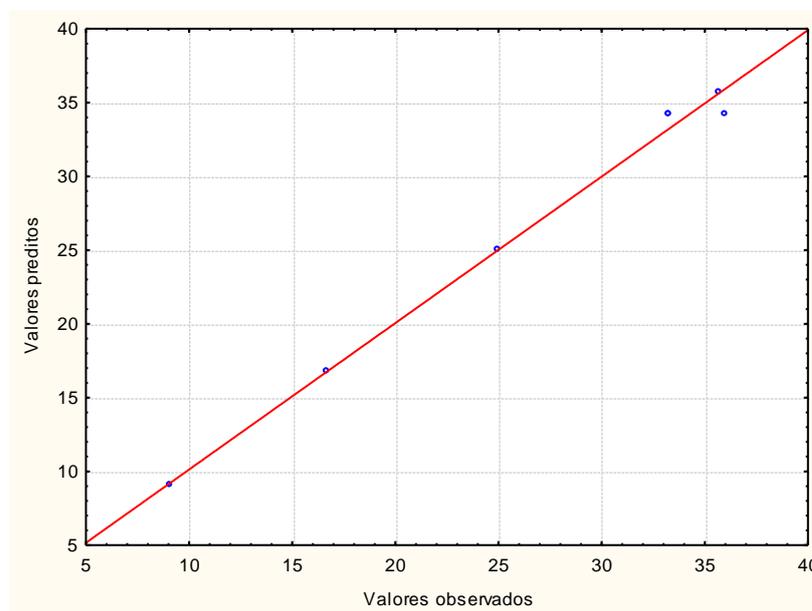


Figura 15 - Valores previstos *versus* valores observados para a variável remoção de turbidez (tempo de flotação de 35 minutos; 95% de significância; efluente do fim do cultivo no viveiro v1)

A Equação 3 representa o modelo empírico ajustado para a remoção de turbidez no tempo de flotação de 35 minutos e sua variância explicada. As variáveis Z, x e y expressam a remoção de turbidez, a vazão de ar e o pH, respectivamente.

Tempo de flotação de 35 min:

$$Z = -460,95 + 0,62x - 0,00018x^2 + 20,18y - 0,0165xy; R^2 = 0,993 \quad (3)$$

Na Tabela 7 encontram-se os parâmetros das análises de variância (ANOVA) (coeficiente de variação explicada - R^2 e teste F) para o ajuste do modelo quadrático tendo como variável resposta a remoção de turbidez para o tempo de flotação de 35 minutos. O modelo descrito na Equação 3 é estatisticamente significativo para um nível de confiança de 95%.

Tabela 7 - Parâmetros da análise de variância para a remoção de turbidez no tempo de flotação de 35 minutos (efluente do fim do cultivo no viveiro v1)

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F _{calculado} (95%)	F _{tabelado} (95%)	R ²
Vazão de ar (termo linear)	2,4025	1	2,4025	0,9887		
Vazão de ar (termo quadrático)	271,1438	1	271,1438	111,5818		
pH (termo linear)	83,7225	1	83,7225	34,4537	18,51	0,993
Vazão x pH	304,5025	1	304,5025	125,3097		
Erro	4,86	2	2,4300			
Total	666,57	6				

2.3.3 Flotação por ar dissolvido

A Figura 16 mostra a remoção de turbidez como função da pressão e do pH para o efluente do fim do cultivo no viveiro v3. Pode-se notar que os maiores percentuais de remoção de turbidez foram observados na condição de pH 5,8, atingindo valores de 52 e 47% para pressões de operação de 3 e 6 bar, respectivamente. Dessa forma, o aumento da pressão de saturação do sistema parece não influenciar de maneira positiva com o aumento da recuperação dos sólidos em suspensão do efluente.

A Figura 17 mostra a remoção de turbidez como função da pressão e do pH para o efluente do fim do cultivo no viveiro v3, utilizando um coletor aniônico (Flomin-C-5435), com

pH variando de 5,8 a 9,8 e pressões de 3 e 5 bar. Observou-se um aumento na remoção da turbidez, com valores entre 56 e 65%. A presença do coletor é responsável pela alteração da superfície das partículas, melhorando a sua característica de hidrofobicidade e facilitando o transporte para a superfície.

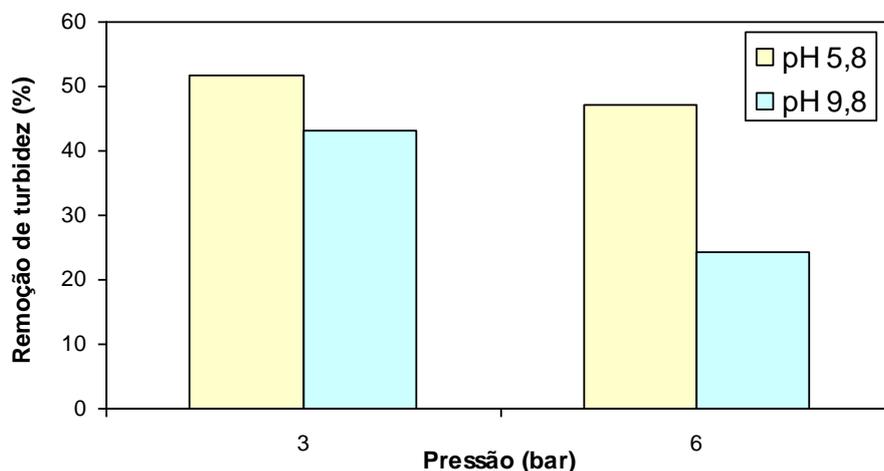


Figura 16 – Remoção de turbidez por flotação por ar dissolvido como função da pressão e do pH para o efluente do fim do cultivo no viveiro v3 (turbidez inicial do efluente de 26,7NTU)

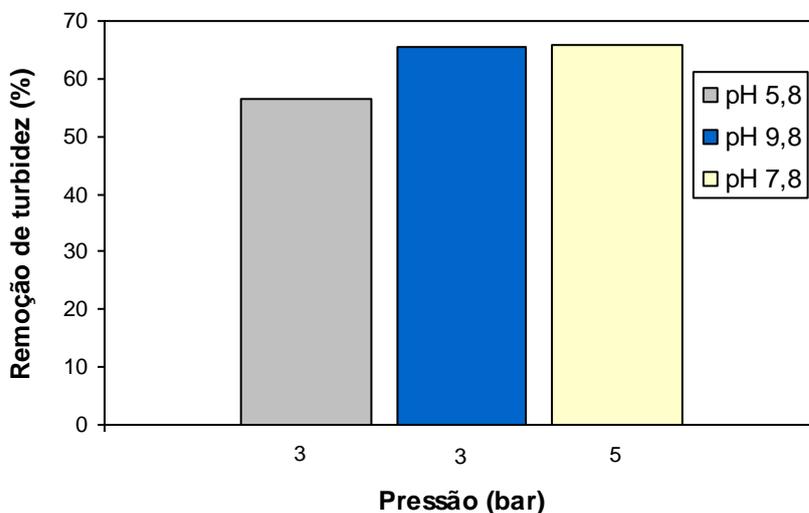


Figura 17 – Remoção de turbidez por flotação por ar dissolvido como função da pressão e do pH para o efluente do fim do cultivo no viveiro v3 (turbidez inicial do efluente de 28,2NTU; presença do coletor aniônico Flomin-C-5435 a 1% (p/v))

2.4. Conclusões

Os resultados de caracterização físico-química e microbiológica demonstraram que os viveiros em estudo 1 e 3, apresentam alguns parâmetros fora da literatura.

O tratamento do efluente do início do cultivo no viveiro v1 por flotação em coluna demonstrou que a turbidez diminui com o aumento da vazão e com a diminuição do pH, após um tempo de flotação de 40 minutos. O melhor ajuste dos parâmetros foi observado para um modelo linear com interação. Ensaio adicionais utilizando um flocculante na concentração de 0,1% (p/v) e na condição de pH de 7,8 demonstraram uma remoção de turbidez de apenas 25% para a condição de menor vazão de ar, enquanto que aumentando-se a vazão a remoção percentual atinge valor pouco superior a 10%.

O tratamento do efluente do fim do cultivo no viveiro v1 por flotação em coluna mostrou que os melhores resultados foram obtidos para um tempo de flotação de 35 minutos, com um ajuste quadrático do modelo com interação. Da mesma forma, a remoção de turbidez aumentou com o aumento da vazão de ar e com a diminuição do pH, atingindo um valor máximo de remoção de cerca de 40%.

Na flotação por ar dissolvido do efluente do fim do cultivo no viveiro v3, os maiores percentuais de remoção de turbidez foram obtidos a pH 5,8, atingindo valores de 52 e 47% para pressões de operação de 3 e 6 bar, respectivamente. Na presença de um coletor aniônico com pH variando de 5,8 a 9,8 e pressões de 3 e 5 bar, observou-se um aumento na remoção da turbidez, com valores entre 56 e 65%.

Nas condições experimentais investigadas, a utilização da flotação por ar dissolvido apresentou maiores valores de remoção de turbidez do efluente da carcinicultura em relação à flotação em coluna, e o uso de um coletor aniônico tende a melhorar a eficiência do processo.

2.5. Referências Bibliográficas

ABCC, Associação Brasileira de Criadores de Camarão. Camarões marinhos: gestão de qualidade e rastreabilidade na fazenda, 1ª edição. Disponível: <http://www.abccam.com.br/download/Get%E3odeQualidade-Grande.pdf>. Acesso em 21 de janeiro de 2010.

ALENCAR, J. R. ; HORTA, P. ; EMOTO, S. ; DUTRA, F. ; WEISS, L.; BOUZON, Z. 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**, 19-23, 2003.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, **Standard Methods for Water and Wastewater**, 18th ed., APHA, 1992.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, J.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos**. Editora Unicamp, Campinas, São Paulo, 401p., 2001.

CARCINICULTURA. 2008. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Carcinicultura>>. Acesso em 23 mai. 2008.

CHELLAPPA, N.T.; LIMA, A.K.A.; CÂMARA, F.R.A., Riqueza de Microalgas em Viveiros de Cultivo Orgânico de Camarão em Tibau do Sul, Rio Grande do Norte, **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 120-122, 2007

GOMES, I.; LACERDA, E.; LEITE, A.; OLIVERA, A. Effluent treatment of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1831) in laboratory, using three stages, sedimentation, oyster filtration and macroalgae absorption. In: Book of Abstract, V. 2, **World Aquaculture Meeting**, 19-23, 2003.

MARINHO-SORIANO, E.; MORALES, C.; MOREIRA, W.S.C. 2002. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp pond effluents in Brazil. **Aquaculture Research**, 33, 1081-1086.

NUNES, A. J. P. O impacto da temperatura no cultivo de camarões marinhos. **Revista da ABCC**, Recife, v. 4, n. 1, p. 43-48, 2002b.

ROCHA, I.P. Desempenho da carcinicultura brasileira em 2007: Desafios e oportunidades para 2008. **Revista da ABCC**, p.23, 2007.

OLIVERA, A.; GUIMARÃES, E.; ALVES, G.; GUIMARÃES, I. 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**, 19-23, 2003.

VIDOTTI, E.C.; ROLLEMBERG, M. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica. **Quim. Nova**, vol, 27, No 1, 139-145, 2004.