

HIDRODINÂMICA E RESSUSPENSÃO DE SEDIMENTOS EM VIVEIROS DE
CAMARÃO

Luana Carolina da Silva Freire

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA OCEÂNICA.

Aprovada por:

Prof^ª. Susana Beatriz Vinzón, D.Sc.

Prof^ª. Josefa Varela Guerra, Ph. D.

Prof. Carlos Eduardo Parente Ribeiro, D.Sc.

Prof. Benoit Le Guennec, Ph. D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MAIO DE 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FREIRE, LUANA CAROLINA DA SILVA

Hidrodinâmica e Ressuspensão de
Sedimentos em viveiros de Camarão
[Rio de Janeiro] 2008

X, 86 p. 29.7 cm (COPPE/UFRJ,
M.Sc., Engenharia Oceânica, 2008)

Dissertação – Universidade Federal
do Rio de Janeiro, COPPE

1. Ressuspensão de Sedimentos
2. Viveiros de Camarão
3. Hidrodinâmica

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

AGRADECIMENTOS

À Profª. Susana Vinzón pela orientação e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

A CAPES pela bolsa de estudos concedida e ao projeto Piatam Mar (Petrobrás) pelo financiamento da campanha de campo.

À Fazenda TECNARÃO-Tecnologia de Camarões Ltda e aos funcionários (Luis Aldatz, João Moura, Antônio Carlos e D. Ivete) pela receptividade e atenção dedicada a nossa equipe na campanha de medições.

Aos Professores da Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica pelos ensinamentos, sem os quais a realização deste trabalho não seria possível.

À equipe de campo (Gabriela, Marcos e Monique) do LDSC–Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos–COPPE/ UFRJ pela dedicação na obtenção dos dados e à estagiária Luciana Fernandes pelo auxílio na análise das amostras em laboratório.

Aos amigos Carla, Daniel, Gabriela, Maria Fernanda, Marise e Rodrigo pelo incentivo, companheirismo, convivência e franca amizade.

À Glace Farias e à Cláudia Gonçalves pelo carinho, atenção e eficiência na realização de seu trabalho.

À minha mãe Elba, meu pai Luiz Antônio, ao meu irmão Leandro e ao meu marido Marcos Gallo, pelo companheirismo e incessante apoio. Vocês, através de gestos simples e grandiosos, me deixaram a dignidade como o maior legado. Agradeço a Deus por vocês fazerem parte da minha vida.

À minha família, especialmente a minha avó Severina e tias Cássia, Cátia e Vilma, pelas orações e torcida. Apesar da distância física, vocês estão sempre presentes no meu dia a dia e no meu coração.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

HIDRODINÂMICA E RESSUSPENSÃO DE SEDIMENTOS EM VIVEIROS DE CAMARÃO

Luana Carolina da Silva Freire

Maio/2008

Orientadora: Susana Beatriz Vinzón

Programa: Engenharia Oceânica

O cultivo de camarões marinhos em cativeiro se constitui numa atividade rentável e de destaque dentro da economia do Rio Grande do Norte (RN). Assim, entender a interação existente entre os aspectos físicos é importante e permite avaliar a eficiência de técnicas e ações de manejo das fazendas. A complexa interação entre os aspectos naturais (ventos, ondas e sedimentos), artificiais (aeração e renovação de água) e biológicos (comportamento do camarão) acarreta mudanças no comportamento geral da hidrodinâmica e sedimentologia observada no interior dos viveiros, afetando a produtividade. Este trabalho visa avaliar experimentalmente a hidrodinâmica e a ressuspensão de sedimentos de fundo em viveiros de camarão, identificando as possíveis causas e sua influência temporal. Os aeradores são responsáveis pela circulação e grande parte dos sedimentos ressuspensos, aumentando a turbidez na coluna d'água e tornando o perfil de concentração de sedimentos homogêneo. As ondas se configuram num agente mobilizador de sedimentos do fundo, mas não agem diretamente na ressuspensão. As fracas correntes geradas por ventos mantêm em suspensão os sedimentos mobilizados pelas ondas e aeradores. Os camarões contribuem na ressuspensão através da bioturbação associada aos horários de alimentação.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

HYDRODYNAMICS AND SEDIMENT RESSUSPENSION IN SHRIMP PONDS

Luana Carolina da Silva Freire

May/2008

Advisor: Susana Beatriz Vinzón

Department: Ocean Engineering

The cultivation of marine shrimp in captivity is a profitable activity and one of the main rentable activities in the economy of Rio Grande do Norte state (RN). Thus, understanding the interaction between the physical aspects is important to assess the effectiveness of management techniques and actions within the farms. The complex interaction between natural aspects (wind, waves and pond sediments), artificial (aeration and water renovation) and biological (shrimp activity) influences the hydrodynamics circulation and sediment behavior observed within the ponds, and may even affect the productivity. This work aims to assess experimentally the hydrodynamics and sediment resuspension of the pond bottom, identifying the possible causes and its influence during the day. The aerators are responsible for the movement and resuspension of sediments, increasing turbidity in the water column and making the concentration profile more homogeneous. The waves mobilize sediments from the bottom, but do not act directly on resuspension. The weak currents generated by winds remain in suspension the sediments mobilized by waves and aerators. The shrimps contribute to resuspension through bioturbation associated with feeding activity.

ÍNDICE TEMÁTICO

I.	INTRODUÇÃO	1
II.	ASPECTOS FÍSICOS DE UM VIVEIRO DE CAMARÃO	7
II.I.	CARACTERÍSTICAS DE UM VIVEIRO DE CAMARÃO	7
II.II.	MANEJO DA FAZENDA	9
II.III.	O CAMARÃO <i>PENEÍDEO</i> DA ESPÉCIE <i>LITOPENAEUS VANNAMEI</i>	11
II.IV.	HIDRODINÂMICA EM VIVEIROS DE CAMARÃO.....	12
II.iv.a.	<i>Circulação natural: Ventos e Ondas</i>	13
II.iv.b.	<i>Circulação artificial: Aeradores e renovação de água</i>	15
II.V.	RESSUSPENSÃO E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM FUNDO DE VIVEIROS	21
III.	METODOLOGIA	26
III.I.	ÁREA DE ESTUDO.....	26
III.II.	COLETA DE DADOS	30
IV.	RESULTADOS: CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA	35
IV.I.	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS VIVEIROS	35
IV.II.	CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA NOS VIVEIROS.....	37
IV.ii.a.	<i>Correntes no fundo</i>	37
IV.ii.b.	<i>Ondas superficiais</i>	45
IV.ii.c.	<i>Tensão Cisalhante no Fundo</i>	48
	Métodos Estatísticos.....	50
	Métodos paramétricos	53
V.	RESULTADOS: CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA	57
V.I.	GRANULOMETRIA E MATÉRIA ORGÂNICA.....	57
V.II.	CARACTERIZAÇÃO DA RESSUSPENSÃO DE SEDIMENTOS	60
V.ii.a.	<i>Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS)</i>	60
V.ii.b.	<i>Alteração do nível do fundo: erosão e deposição</i>	69
V.ii.c.	<i>Mecanismos de ressuspensão de sedimentos em viveiros de camarões</i>	72
VI.	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: FAZENDA DE CULTIVO DE CAMARÕES MARINHOS. FAZENDA TECNARÃO, AREZ/RN.	8
FIGURA 2: FOTO PANORÂMICA DE UM VIVEIRO A PARTIR DA COMPORTA DE DRENAGEM: AERADORES, BANDEJAS E TALUDES.	8
FIGURA 3: CICLO DE VIDA DOS CAMARÕES. (FONTE: FAO AND MULTIMEDIA ÁSIA, 1999).	10
FIGURA 4: ESQUEMA DE CIRCULAÇÃO GERADA POR VENTOS. PERFIS DE VELOCIDADES E FORMAÇÃO DO DÉPOSITO DE SEDIMENTOS. (MODIFICADO DE MARTIN E MCCUTCHEON, 1999 E LEMONNIER E BRIZARD, 2001).	13
FIGURA 5: MOVIMENTO ORBITAL DAS PARTÍCULAS EM ÁGUAS INTERMEDIÁRIAS (MODIFICADA DE DEAN E DALRYMPLE, 1984).	14
FIGURA 6: AERADOR DO TIPO CANALETAS ROTATIVAS EM FUNCIONAMENTO.	17
FIGURA 7: ESQUEMA DA INFLUÊNCIA DOS JATOS EM PLANTA E EM PROFUNDIDADE DOS AERADORES EM VIVEIROS DE CAMARÕES.	18
FIGURA 8: PADRÃO DE CIRCULAÇÃO EM UM VIVEIRO QUADRADO COM AERADORES DE CANALETAS ROTATIVAS POSICIONADOS NOS CANTOS (MODIFICADO DE BOYD, 1998).	19
FIGURA 9: DISPOSIÇÕES DOS AERADORES EM VIVEIROS RETANGULARES. (A) EM DIAGONAL, (B) EM PARALELO E (C) EM LINHA.	21
FIGURA 10: DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DOS SEDIMENTOS NO INTERIOR DO VIVEIRO. RESULTADO OBTIDO POR LEMONNIER E BRIZARD (2001) PARA VIVEIROS NA OCEANIA. AS CORES MAIS ESCURAS INDICAM MATERIAL MAIS FINO.	22
FIGURA 11: ZONA PREFERENCIAL DE DEPOSIÇÃO DE FINOS EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO RELATIVA ENTRE AS COMPORTAS DE ABASTECIMENTO (CA) E DRENAGEM (CD): (A) COMPORTAS ALINHADAS E (B) COMPORTAS EM DIAGONAL (DESALINHADAS). LAWSON E WHEATON (1983) APUD BOYD (1998).	23
FIGURA 12: LOCALIZAÇÃO DA FAZENDA TECNARÃO (FONTE: EMBRAPA, 2007).	27
FIGURA 13: LOCALIZAÇÃO DOS VIVEIROS V04 E V05 NA FAZENDA TECNARÃO. (MODIFICADO DE AZEVEDO, 2006).	28
FIGURA 14: CARACTERÍSTICAS DO CICLO DE PRODUÇÃO DO CAMARÃO CULTIVADO NOS VIVEIROS ESTUDADOS.	28
FIGURA 15: AERADOR DO TIPO CANALETAS ROTATIVAS EM FUNCIONAMENTO NA FAZENDA TECNARÃO.	29
FIGURA 16: ARRAÇOAMENTO ATRAVÉS DE BANDEJAS SUBMERSAS.	29
FIGURA 17: GAIOLA FIXA PARA SUPORTE DO ADV.....	30
FIGURA 18: ADV NA GAIOLA MÓVEL (À DIREITA) E ALTUS NO TRIPÉ (À ESQUERDA).	30
FIGURA 19: V05: POSIÇÃO DAS GAIOLAS (FIXA, MÓVEL E ALTUS), COMPORTAS (CA: ABASTECIMENTO E CD: DRENAGEM) E AERADORES (DE 01 A 08). O PARÊNTESE NA GAIOLA MÓVEL CORRESPONDE AO DIA E SUA POSIÇÃO.	31
FIGURA 20: V04: POSIÇÃO DAS GAIOLAS (FIXA, MÓVEL E ALTUS), COMPORTAS (CA: ABASTECIMENTO E CD: DRENAGEM) E AERADORES (DE 01 A 04). O PARÊNTESE NA GAIOLA MÓVEL CORRESPONDE AO DIA E SUA POSIÇÃO.	32
FIGURA 21: REALIZAÇÃO DA BATIMETRIA ATRAVÉS DA LEITURA DA RÉGUA.	34

FIGURA 22: AMOSTRADOR DE SEDIMENTOS DO FUNDO DESENVOLVIDO PELA EQUIPE DO LDSC.	34
FIGURA 23: V05: BATIMETRIA, COMPORTAS (CA: ABASTECIMENTO E CD: DRENAGEM) E AERADORES (DE 01 A 08). AERADORES DISPOSTOS EM LINHA E COM A INFLUÊNCIA DOS SEUS JATOS.	36
FIGURA 24: V04: BATIMETRIA, COMPORTAS (CA: ABASTECIMENTO E CD: DRENAGEM) E AERADORES (DE 01 A 04). AERADORES DISPOSTOS EM LINHA E COM A INFLUÊNCIA DOS SEUS JATOS.	36
FIGURA 25: CORRENTES MEDIDAS NO DIA 13/05/07 PARA O V05. (A) GF, (B) GM, (C) VENTO.	40
FIGURA 26: CORRENTES MEDIDAS NO DIA 14/05/07 PARA O V05. (A) GF, (B) GM, (C) VENTO.	40
FIGURA 27: CORRENTES MEDIDAS NO DIA 15/05/07 PARA O V05. (A) GF, (B) GM, (C) VENTO.	40
FIGURA 28: CORRENTES MEDIDAS NO DIA 16/05/07 PARA O V04. (A) GF, (B) GM, (C) VENTO. NESTE DIA EXCEPCIONALMENTE, OS AERADORES FORAM LIGADOS NO PERÍODO DA MANHÃ (08H30 ÀS 10H00). 41	
FIGURA 29: CORRENTES MEDIDAS NO DIA 17/05/07 PARA O V04. (A) GF, (B) GM, (C) VENTO.	41
FIGURA 30: CORRENTES MEDIDAS NO DIA 18/05/07 PARA O V04. (A) GF, (B) GM, (C) VENTO.	41
FIGURA 31: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE PERFILAGEM COM ADV NO V04.	42
FIGURA 32: COMPARAÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADES DE CORRENTES COM E SEM O FUNCIONAMENTO DOS AERADORES EM QUATRO PONTOS NO V04.	43
FIGURA 33: PERFIL DE VELOCIDADE LOGARÍTMICO PARA DIFERENTES DISTÂNCIAS DO AERADOR. (40 M EM P2 - CENTRO E 65 M EM P4 – LADO OESTE).	44
FIGURA 34: ESPECTRO DE ENERGIA MÉDIO DE NÍVEIS PARA OS TRÊS INTERVALOS CONSIDERADOS NO V05.	45
FIGURA 35: ESPECTRO DE ENERGIA MÉDIO DE NÍVEIS PARA OS TRÊS INTERVALOS CONSIDERADOS NO V04.	46
FIGURA 36: ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS PARA OS VIVEIROS 04 E 05.	47
FIGURA 37: ESQUEMA TEÓRICO DOS PERFIS DE VELOCIDADES $U(z)$ DEVIDO À CORRENTE E U_{BM} DEVIDO À ONDA. SÃO MOSTRADOS AS DUAS CAMADAS TURBULENTAS E A PROFUNDIDADE DE MEDIÇÃO COM O ADV. MODIFICADO DE NEZU E NAKAGAWA, 1993 E VAN RIJN, 1993.	50
FIGURA 38: V05: TENSÕES NO FUNDO ESTIMADAS A PARTIR DOS MÉTODOS ESTATÍSTICOS.	56
FIGURA 39: V04: TENSÕES NO FUNDO ESTIMADAS A PARTIR DOS MÉTODOS ESTATÍSTICOS.	56
FIGURA 40: CURVA GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS ANALISADAS DO V05.	58
FIGURA 41: CURVA GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS ANALISADAS DO V04.	58
FIGURA 42: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FINOS NO V05. AS LINHAS REPRESENTAM A ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS JATOS DOS AERADORES.	59
FIGURA 43: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FINOS NO V04. AS LINHAS REPRESENTAM A ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS JATOS DOS AERADORES.	59
FIGURA 44: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA MO NO V05 E LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE FUNDO.	60
FIGURA 45: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA MO NO V04 E LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE FUNDO.	60
FIGURA 46: EXEMPLO DA INFLUÊNCIA DAS BOLHAS NO SINAL DE AMPLITUDE E RETROESPALHAMENTO OBTIDO PELO ADV.	61
FIGURA 47: CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA A CONVERSÃO DO SNR DO ADV.	62

FIGURA 48: V05: SÉRIE TEMPORAL DE CSS PARA AS GAIOLAS FIXA E MÓVEL. COM PONTOS SÃO ASSINALADAS AS AMOSTRAS COLETADAS. OS PERÍODOS DE FUNCIONAMENTO DOS AERADORES SÃO DESTACADOS.	63
FIGURA 49: V04: SÉRIE TEMPORAL DE CSS PARA AS GAIOLAS FIXA E MÓVEL. COM PONTOS SÃO ASSINALADAS AS AMOSTRAS COLETADAS. OS PERÍODOS DE FUNCIONAMENTO DOS AERADORES SÃO DESTACADOS.	63
FIGURA 50: PERFIL DE CSS NO VIVEIRO 04 ANTES E DEPOIS DO FUNCIONAMENTO DOS AERADORES.	68
FIGURA 51: V04: VARIAÇÃO DO NÍVEL DO FUNDO, CONCENTRAÇÕES NO FUNDO E TENSÕES. O FUNCIONAMENTO DOS AERADORES ESTÁ DESTACADO.	71
FIGURA 52: RELAÇÃO ENTRE AS TAXAS DE EROÇÃO CALCULADAS E NÍVEL DO FUNDO MEDIDO PELO ALTÍMETRO. OS NÚMEROS (01, 02 E 03) INDICAM OS PICOS DE MÁXIMA EROÇÃO DIÁRIA. AS MÁXIMAS TAXAS DE EROÇÃO ESTÃO DESTACADAS COM CÍRCULOS E AS MÁXIMAS TAXAS DE DEPOSIÇÃO COM QUADRADOS.	71
FIGURA 53: COMPARAÇÃO DAS SÉRIES DE CONCENTRAÇÃO PARA OS DOIS VIVEIROS E IDENTIFICAÇÃO DE PICOS DE MÁXIMA CONCENTRAÇÃO RELACIONADOS À OFERTA DE RAÇÃO (INDICADOS COM CÍRCULOS). OS PERÍODOS DE FUNCIONAMENTO DOS AERADORES E DA ARRAÇOAMENTO ESTÃO DESTACADOS.	73
FIGURA 54: DESENHO ESQUEMÁTICO DO COMPORTAMENTO DA CSS EM VIVEIROS DURANTE O FUNCIONAMENTO DOS AERADORES. AS SETAS INDICAM O SENTIDO DO FLUXO DE SEDIMENTOS E O TAMANHO DELAS SE REFERE À MAGNITUDE.	74

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: TENSÕES DE CISALHAMENTO BENTÔNICAS OBTIDAS POR PETERSON (1999).....	24
TABELA 2: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS VIVEIROS ESTUDADOS.....	28
TABELA 3: ALTERAÇÕES DIÁRIAS DAS PROFUNDIDADES DE MEDIÇÃO DOS ADV'S PARA AS DIFERENTES GAIOLAS E VIVEIROS.....	31
TABELA 4: PARÂMETROS TÍPICOS DAS FORÇANTES NOS VIVEIROS ESTUDADOS.....	50
TABELA 5: CONTRIBUIÇÕES DAS ONDAS E CORRENTES NAS TENSÕES DE FUNDO.....	55
TABELA 6: PERCENTUAIS MÉDIOS DE AREIA, ARGILA, SILTE E MATÉRIA ORGÂNICA NOS VIVEIROS.	57
TABELA 7: ESTIMATIVA DA RESSUSPENSÃO DE SEDIMENTOS PARA OS VIVEIROS.....	65
TABELA 8: INFORMAÇÕES ACERCA DOS CENÁRIOS ADOTADOS PARA A CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DA CONCENTRAÇÃO.....	66

I. INTRODUÇÃO

A carcinicultura marinha é a atividade que visa a produção de camarões em cativeiro, com altas densidades populacionais. No Brasil, a carcinicultura marinha vem crescendo com grande intensidade nos últimos anos. De 1998 até 2003, enquanto a área cultivada teve um crescimento de 243% e a produtividade de 262%, a produção cresceu 1144% (ABCC, 2008). No ano de 2004, com uma produção de aproximadamente 76000 toneladas em 17000 hectares produtivos, o Brasil assumiu a sexta posição mundial e a primeira na América Latina no ranking desta atividade (AZEVEDO, 2006). Apesar disso, até o ano de 2008, a área cultivada permanece constante, mas verifica-se uma queda na produção e conseqüentemente na produtividade da cerca de 30% (ABCC, 2008). No ano de 2005 houve uma desaceleração na produção e na produtividade que, MADRID (2005), relaciona a fatores tais como, novos investimentos afetados pela redução de preços internacionais e pela dificuldade de licenciamento ambiental; redução de densidade de cultivo provocada pela descapitalização dos produtores; valorização do real a partir de outubro de 2002; perdas de produção em função de fenômenos climáticos, enfermidades do camarão (*Mionecrose Muscular*); e medidas comerciais protecionistas tais como a ação *antidumping* dos Estados Unidos. No Brasil, o Estado do Rio Grande do Norte se destaca como o maior produtor de camarão em cativeiro, sendo responsável por 44% das exportações (média estimada dos meses de janeiro e fevereiro, entre 2004 e 2008) (ABCC, 2008). Esta atividade aparece como um dos principais recursos econômicos do estado. As exportações que em 1999 atingiram US\$ 1.5 milhão, ocupando a 14ª posição na pauta de exportações do estado, em 2001 alcançaram a 2ª posição com US\$ 28.2 milhões (IDEMA, 2008).

CUNHA (2006) apresenta uma revisão sobre aspectos aquícolas, econômicos, legislativos e ambientais das atividades de carcinicultura. Neste trabalho, foca a contribuição da engenharia costeira e as conseqüências desta prática no meio ambiente além de recomendar estudos e monitoramento do micro ambiente dos viveiros. O sucesso desta atividade está condicionado à qualidade de vida dos organismos nesse micro ambiente. Em se tratando do camarão, um organismo bentônico, e o viveiro, um corpo de água rasa (profundidades médias da ordem de 1.0 metro), é imprescindível zelar pela qualidade do solo e da água no interior dos viveiros ao longo do cultivo.

Assim, especial atenção deve ser dada à interface água-sedimento e aos processos que aí ocorrem, visando maximizar a produção.

Muitos estudos na literatura tratam de questões acerca da qualidade da água e do solo em viveiros. Grande parte destes trata de aspectos bioquímicos relativos à anaerobiose, ou seja, decomposição da matéria orgânica sob condições de baixos teores de oxigênio dissolvido (O.D.) e formação de compostos tóxicos (amônia) para os organismos cultivados. Assim, os níveis de oxigênio dissolvido tornam-se um ponto crítico para esta atividade. Níveis de O.D. próximos a 1.0 mg/l são indicados como letais para o camarão (BOYD, 1989 *apud* HOPKINS *et al.*, 1991; VINATEA, 2004). Os efeitos adversos de baixos níveis de oxigênio se traduzem numa diminuição do crescimento e numa maior susceptibilidade dos organismos às enfermidades. Na resolução CONAMA nº 357, que trata da classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, sugere-se níveis nunca inferiores a 5.0 mg/l OD para garantir a qualidade da água dos corpos onde a atividade será desenvolvida (MMA, 2008). Segundo VINATEA (2004), os tanques de aquicultura deveriam apresentar concentrações de O.D. da ordem de 5.0 mg/l para o crescimento normal do camarão. É importante destacar que quando se fala de concentrações de O.D. na literatura e não se faz menção à profundidade correspondente, entende-se como nível crítico o fundo dos viveiros.

As principais fontes naturais de oxigênio são: a fotossíntese de fitoplânctons e plantas aquáticas e a difusão do oxigênio atmosférico (VINATEA, 2004). Dentre os sumidouros de oxigênio pode ser destacada a respiração biológica (seres vivos, água e sedimentos), a oxidação química e a difusão para a atmosfera ou por meio dos efluentes. Com a evolução do cultivo, os viveiros passam de uma condição autotrófica (saldo positivo de oxigênio), quando predominam os processos fotossintéticos, para uma condição heterotrófica (saldo negativo), quando os processos de respiração predominam, devido à acumulação de matéria orgânica (ração e dejetos).

No manejo das atividades de aquicultura, os déficits de O.D. podem ser corrigidos através da renovação da água ou a partir da utilização de equipamentos mecânicos chamados de aeradores (BOYD, 1998). As baixas taxas de renovação de água, em viveiros com aeração, indicam que a operação contínua dos aeradores seria a

forma mais eficiente de manter os níveis mínimos de O.D. (WYBAN *et al.*, 1989). Exemplificando o efeito obtido pelo uso da aeração artificial, WYBAN *et al.* (1989), destacam que a taxa média de crescimento para camarão do gênero e espécie *Litopenaeus vannamei* é de 2.1 gramas/semana em viveiros aerados, enquanto que na natureza (quando não submetido ao cativeiro e conseqüentemente, sem aeração artificial), esta taxa se aproxima de 1.5 gramas/semana, considerando uma densidade de 2 a 3 animais/m².

O efeito da aeração artificial aparece basicamente de duas maneiras: na forma de aeração e na forma de circulação. A aeração é definida como a troca de gases entre a atmosfera e a água, enquanto que a circulação se traduz como o movimento da água induzido pelas máquinas. Essa circulação causaria mistura do oxigênio por todo o corpo d'água e, quando não controlada, pode trazer conseqüências indesejáveis, tais como a movimentação do fundo e aumento da turbidez (PETERSON, 1999a; 1999b; PETERSON, 2003). Outras fontes de turbidez em viveiros de camarões, além da aeração, podem ser advindas das atividades de manejo (arraçoamento e entrada de sólidos em suspensão no ato do abastecimento), forças naturais como ventos e ondas superficiais (CUNHA *et al.*, 2007) e até mesmo processos de bioturbação (RITVO *et al.*, 1997; AVNIMELECH e RITVO, 2003; MASALÓ *et al.*, 2008).

Em contraposição aos estudos que tratam sobre níveis de O.D. e alertam sobre a importância da turbidez, pouca informação é encontrada na literatura no que diz respeito aos processos físicos (erosivos e deposicionais) no fundo dos viveiros, bem como a ressuspensão de sedimentos na coluna d'água. Conforme PETERSON (1999a), as tensões de cisalhamento atuantes no fundo do viveiro, juntamente com o tamanho dos sedimentos depositados, descrevem a qualidade da interface água-sedimento, restando ainda a necessidade de informações acerca do comportamento do material em suspensão na coluna d'água;

No que se refere à importância da ressuspensão de sedimentos para a coluna d'água podem ser listados pontos favoráveis e desfavoráveis para a produção de camarões em cativeiro:

Favoráveis:

- o Remover resíduos orgânicos do fundo que podem configurar uma sobrecarga de nutrientes e matéria orgânica, como ração não consumida, fezes, carapaças, fitoplâncton e camarões mortos (ROGERS, 1989; MACLEID *et al.*, 2004 *apud* NEUMEIER *et al.*, 2007);
- o Manter os sedimentos do fundo em estado aeróbio, de modo que haja oxigênio suficiente para a decomposição da matéria orgânica presente no fundo, sem que afete a demanda de O.D. para a respiração dos animais (AVNIMELECH *et al.*, 1999; PETERSON, 2003);
- o Possibilitar uma estimativa da biomassa estocada a partir da turbidez na coluna d'água (RITVO *et al.*, 1997);

Desfavoráveis:

- o Gerar erosão excessiva e perturbar os resíduos orgânicos, aumentando os níveis de amônia e compostos nocivos na coluna d'água (PETERSON, 2003);
- o Redistribuir partículas inorgânicas sobre a matéria orgânica depositada no fundo, impedindo a sua decomposição em condições aeróbias (encouraçamento) (PETERSON, 2003);
- o Aumentar o consumo do oxigênio na coluna d'água. Segundo FAST *et al.* (1988) *apud* HOPKINS *et al.* (1991), do oxigênio consumido em uma hora, 75% seriam consumidos pelos sedimentos, 21% pelo plâncton e somente 4% pelo camarão;
- o Afetar a saúde, o crescimento e as atividades dos camarões (AVNIMELECH *et al.*, 1986; AVNIMELECH, 1999);
- o Limitar a produção primária a partir da diminuição da penetração de luz utilizada para a fotossíntese (YI *et al.*, 2003);

Como apresentado aqui, a turbidez na coluna d'água em atividades de carcinicultura, pode ser benéfica em alguns aspectos e prejudicial em outros. Como regra geral, não se recomenda elevados níveis de turbidez na coluna d'água. Seria importante manter equilíbrio e controle deste parâmetro, por exemplo, a sua evolução temporal e quantificação dos níveis presentes. Idealmente os sedimentos orgânicos seriam mantidos expostos a condições aeróbias, sem comprometer os níveis de O.D. na coluna d'água. Em contrapartida, é importante evitar a movimentação excessiva de

partículas inorgânicas (do fundo e talude), o que elevaria os níveis de turbidez na coluna d'água e limitaria a produtividade primária.

Dentro deste contexto, este trabalho visa como objetivo geral, avaliar experimentalmente a ressuspensão de sedimentos de fundo em viveiros de camarão. Dentre os objetivos específicos, pretende-se:

- o Caracterizar a hidrodinâmica (circulação natural e artificial), sua relação com as características geométricas dos viveiros (dimensões e profundidades) e a distribuição do material do fundo;
- o Identificar as possíveis causas da ressuspensão de sedimentos e sua influência temporal, assim como períodos de erosão/deposição;
- o Quantificar a influência de cada uma das forças na ressuspensão.

Para responder estas questões, foi realizada uma campanha de medições numa fazenda de cultivo de camarões em cativeiro no estado do Rio Grande do Norte. Nesta campanha, foram empregadas novas tecnologias (para atividade de carcinicultura) na coleta de dados de velocidade da corrente no fundo, concentração de sedimentos em suspensão e estabilidade do fundo do viveiro. É importante destacar que, se pretendia inicialmente, obter também informações sobre consumo de O.D. (na coluna d'água e nos sedimentos) e outros parâmetros de qualidade de água (transparência, condutividade, pH, temperatura etc.), o que possibilitaria relacionar variações entre esses parâmetros (especialmente O.D.) e Concentração de Sedimentos em Suspensão. Infelizmente, a tentativa da caracterização do comportamento temporal e espacial dos parâmetros de qualidade da água não foi possível neste trabalho, basicamente devido às falhas dos equipamentos.

Esta dissertação apresenta aspectos relativos a conceitos básicos da atividade de carcinicultura e uma revisão de aspectos físicos, hidrodinâmicos e sedimentológicos em viveiros de camarão (Capítulo 2). No Capítulo 3 é apresentada uma descrição da área de estudo e uma síntese da metodologia empregada no desenvolvimento do trabalho. Os resultados da pesquisa estão apresentados em dois capítulos, separados em caracterização geométrica e hidrodinâmica (Capítulo 4) e caracterização sedimentológica (Capítulo 5), do fundo dos viveiros e ressuspensão de sedimentos.

Finalmente, no Capítulo 6 são apresentadas as discussões e conclusões do estudo desenvolvido.

II. ASPECTOS FÍSICOS DE UM VIVEIRO DE CAMARÃO

O ambiente para cultivo de camarão em cativeiro deve representar da forma mais fiel possível, o desenvolvimento dos organismos como acontece na natureza. Assim, um projeto de aqüicultura deve ser muito bem planejado, exigindo cuidados que vão desde a escolha do local onde o empreendimento será instalado até o contínuo monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos envolvidos neste tipo de atividade. As atividades de aqüicultura são desenvolvidas em propriedades destinadas especificamente para o cultivo de camarões marinhos em cativeiro, conhecidas por fazendas de cultivo de camarões (Figura 1).

II.i. Descrição de um viveiro de camarão

Uma fazenda de cultivo de camarões marinhos constitui-se num empreendimento composto de um conjunto de reservatórios, chamados viveiros, destinados somente à engorda dos camarões (Figura 2). Geralmente são instaladas em locais próximos a corpos d'água, e até mesmo em área de manguezal.

A água é captada do corpo de água adjacente à fazenda por bombeamento e é levada a um canal de abastecimento para ser distribuída posteriormente entre os viveiros. Os viveiros são ligados ao canal de abastecimento e ao corpo d'água por estruturas de controle de nível. A água vinda do canal entra nos viveiros através de uma comporta de abastecimento e é devolvida ao corpo d'água pela comporta de drenagem ou através de um canal de drenagem.



Figura 1: Fazenda de cultivo de camarões marinhos. Fazenda TECNARÃO, Arez/RN.

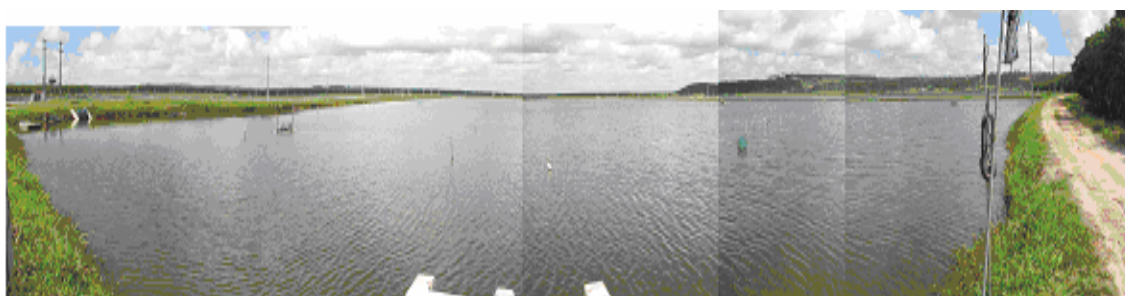


Figura 2: Foto panorâmica de um viveiro a partir da comporta de drenagem: aeradores, bandejas e taludes.

A forma mais comum dos viveiros é a retangular, com declividades do fundo suaves em direção à comporta de drenagem para facilitar o escoamento da água na despesca. O tamanho do viveiro varia em função das dimensões da propriedade, sistema de cultivo (intensivo ou semi-intensivo) e topografia local (VALENTI, 1996; BELTRAME E DA COSTA, 2004). Na literatura, os viveiros estudados de empreendimentos na Austrália, Brasil, Estados Unidos etc, apresentam em média 1.0 hectare de área (NUNES *et al.*, 1996; PETERSON, 2000; DELGADO *et al.*, 2003) e profundidades variando de 0.8 a 1.2 metros. Os viveiros de terra são contornados por taludes laterais que devem ser protegidos contra a ação de ventos, ondas superficiais e correntes, para evitar erosão. Geralmente a parte superior dos taludes é vegetada, enquanto a parte inferior é protegida com enrocamento. Aeradores são utilizados como principais reguladores de qualidade da água e do solo dos viveiros. Essas máquinas funcionam normalmente todas as noites (período de baixa concentração de oxigênio dissolvido) ou em caráter emergencial (níveis de oxigênio inferiores a 3.0 mg/l)

(VINATEA, 2004). Durante o dia, os viveiros geralmente estão com a superfície da coluna d'água saturada de oxigênio.

Geralmente, os viveiros de terra são construídos utilizando solo disponível no local onde o empreendimento está sendo instalado, o que diminuiria os custos com empréstimo de material. O fundo do viveiro deve ser composto de uma mistura de areia, silte e argila (RITVO *et al.*, 1997; PETERSON, 2000). Uma das principais características a se observar no solo é a sua permeabilidade, que deve ser baixa, para permitir que não haja grande fluxo de percolação no solo, o que provocaria uma grande necessidade de reposição de água nos viveiros. No que se refere aos sedimentos de fundo, BOYD *et al.* (1994) afirma que em viveiros na Tailândia, a maior parte dos sedimentos é composta de material erodido dos taludes. SMITH (1996) identificou que 70 a 80% do material acumulado em viveiros é uma mistura de quartzo, caolinita, ilita e mica e 5 a 10% de matéria orgânica e compostos voláteis e o restante de produtos de ferro, alumínio e sílica.

A densidade de estocagem, o manejo com a ração e a aeração são alguns dos aspectos que afetam a qualidade dos sedimentos encontrados em viveiros de aquicultura (PETERSON, 1999a). SMITH (1996) afirma que de 5 a 36% da área do fundo do viveiro é coberta por sedimentos depositados recentemente. Esses depósitos são compostos de resíduos orgânicos, fezes, alimentos, plâncton e carapaça de camarões (HOPKINS *et al.*, 1994; DELGADO *et al.*, 2003) que dependendo das condições hidrodinâmicas, se deposita naquelas regiões onde as velocidades são baixas, podendo ocorrer assim zonas anaeróbias.

II.ii. Manejo da fazenda

O processo reprodutivo e o desenvolvimento de larvas de camarões são realizados em laboratórios, conhecidos como laboratórios de larvicultura. Essas larvas ficam acondicionadas em um viveiro berçário até que elas atinjam maturidade, quando então passam a ser chamadas de pós-larvas e podem ser vendidas para os produtores. As pós-larvas apresentam tamanhos que variam de 5 a 25 mm de comprimento e constitui o

principal insumo para assegurar a produção do camarão cultivado. (PIGNATARO, 2003). É nesta etapa que acontece a transferência para os viveiros de engorda (Figura 3).

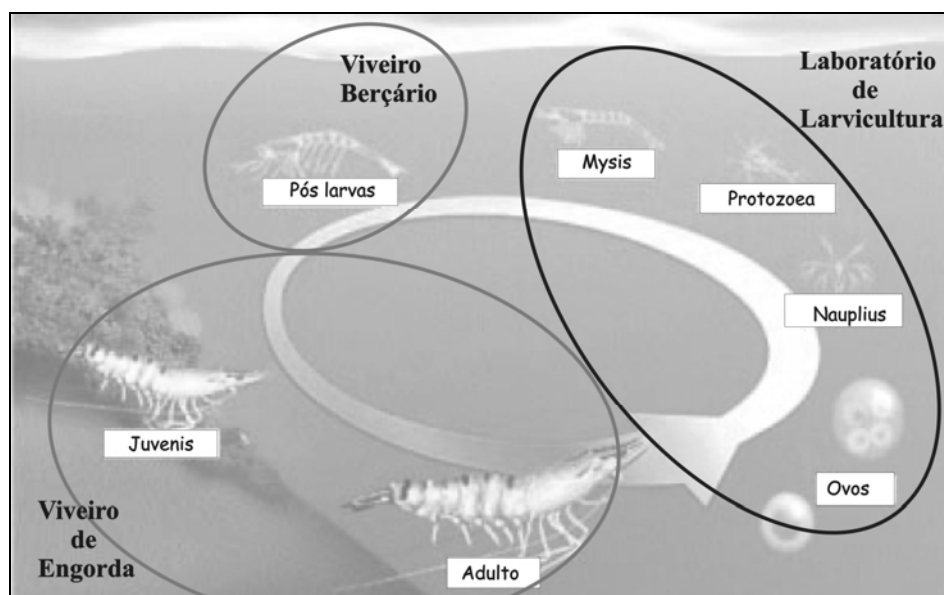


Figura 3: Ciclo de vida dos camarões. (modificado de FAO, 2008).

No viveiro de engorda, a alimentação dos camarões, conhecida comumente como arraçoamento, restringe-se basicamente a oferta de ração artificial adquirida no comércio. A forma da oferta de alimentos (a lance ou através de bandejas submersas) depende da idade dos organismos. No método tradicional, a ração é distribuída através de lances, onde um funcionário joga ração para os organismos dentro do viveiro (do talude ou a partir de uma embarcação). À medida que os camarões crescem, a oferta passa a ser realizada através de bandejas submersas distribuídas no interior do viveiro. O número de bandejas depende da área do viveiro e são fixadas no fundo através de estacas. Devido ao alto custo da ração, a quantidade ofertada em viveiros de engorda está condicionada a densidade de estocagem, ao tamanho dos camarões e as condições climáticas e hidrológicas do local. A densidade de estocagem corresponde ao número de pós-larvas transferidos do berçário para o viveiro, dividido pela área do viveiro (PETERSON, 2003). O arraçoamento causa um aumento geral na demanda de oxigênio no interior do viveiro, provocado pelo deslocamento dos animais até o alimento, sua manipulação e ingestão, e pelo processo de digestão. Em viveiros com alta densidade é recomendado arraoar naqueles horários em que o oxigênio está acima de 70% da saturação (VALENTI, 1996). Geralmente o alimento é ofertado no fim da manhã e ao final da tarde (VINATEA, 2004).

Nos viveiros de engorda, as pós-larvas permanecem por cerca de 90 a 110 dias, período em que o camarão atingiria o tamanho indicado para o consumo (o padrão exigido para a exportação é de aproximadamente 12 gramas (PIGNATARO, 2003)). É neste momento que a despesca é realizada. Para iniciar o procedimento de despesca, o nível d'água é reduzido e uma rede em forma de cone é instalada na comporta de drenagem. A comporta de drenagem é aberta totalmente, permitindo o escoamento de toda a água do viveiro. Os camarões ficam presos na rede e são retirados por funcionários. Passam imediatamente por choque térmico e tratamento com metabissulfito de sódio para garantir que a aparência dos camarões não se altere até o destino final.

II.iii. O camarão *Litopenaeus vannamei*

O camarão *Litopenaeus* (gênero) *vannamei* (espécie), comumente chamado de camarão branco do Pacífico, é a espécie cultivada no nordeste brasileiro e pertence à família dos *peneídeos*. A introdução dessa espécie no nordeste brasileiro foi satisfatória, devido à estabilidade das condições climáticas da região (AZEVEDO, 2006).

O camarão *peneídeo* é bentônico e onívoro. Devido a sua característica bentônica, habitantes dos fundos dos corpos d'água, os camarões caminham apoiados nos substratos e podem inclusive nadar. A sua distribuição espacial no interior dos viveiros está relacionada diretamente a qualidade do fundo (AVNIMELECH e RITVO, 2003). São consumidores oportunistas e se alimentam, quando em cativeiro, de qualquer material disponível no substrato, como algas e ração artificial (MCTIGUE e FELLER, 1989 *apud* VALENTI, 1996). Na natureza, alimentam-se de detritos, larvas de insetos, resto de animais e vegetais, algas, moluscos ou outros crustáceos. Nessas condições, o canibalismo é freqüente (VALENTI, 1996). Em cativeiro, os organismos cultivados possuem aproximadamente o mesmo tamanho e peso, e o alimento é ofertado diariamente, a competição entre os organismos é minimizada.

De uma maneira geral, a maioria das espécies de *peneídeos* possui maior atividade no fim da tarde e à noite, e se enterra durante o dia. Como exceção, espécies

de camarão branco (incluindo o *L. vannamei*) seriam ativas tanto durante o dia quanto durante a noite (PÉREZ-FARFANTE, 1969 *apud* VALENTI, 1996).

Segundo estudos em laboratório com *L. vannamei*, PONTES (2006) conclui que a atividade locomotora do camarão ocorre primordialmente à noite e que a exploração do substrato (associada à busca do alimento) ocorre ao longo do dia, sendo mais freqüente nos horários de maior luminosidade. Também baseados em estudos de laboratório, PONTES e ARRUDA (2005) observaram que a ingestão da ração pelos camarões inicia-se mais rapidamente durante o dia que durante a noite, indicando que nestes horários os animais se encontram mais propícios à alimentação. O consumo de ração ocorreria na meia hora imediatamente posterior a sua oferta. Este resultado é consistente com observações semelhantes realizadas numa fazenda semi-intensiva em Acaraú/CE com camarões da espécie *subtilis* realizado por NUNES *et al.* (1996).

DELGADO *et al.* (2003) baseado num estudo em viveiros com cultivo intensivo de *L. vannamei*, sem renovação de água, observou o comportamento do camarão através da captura de animais no fundo em diferentes horários e locais dentro do viveiro. Um menor número de animais foi capturado na região central do viveiro e pode estar relacionado a níveis mais baixos de oxigênio. Independente do local de captura no viveiro (centro ou periferia), um menor número de animais foi capturado a noite. Esse é um indício de que esta espécie seria mais ativa durante o dia ou permaneceria na superfície à noite.

II.iv. Hidrodinâmica em viveiros de camarão

A circulação em viveiros é caracterizada pela ação conjunta de diversas forças, dentre elas citam-se os aeradores, os ventos/ondas e a renovação de água (PETERSON *et al.*, 2000). O efeito combinado desses fatores somados às características físicas e sedimentológicas (geometria do viveiro, topografia e material presente no fundo) determina a estrutura do escoamento no interior dos viveiros (KANG *et al.*, 2004).

II.iv.a. Circulação natural: Ventos e Ondas

Os viveiros de camarão normalmente apresentam pistas que permitem uma efetiva atuação dos ventos. Assim, o vento corresponderia ao fator natural que mais influencia a circulação no interior dos viveiros, além de ser também o grande responsável pela geração de ondas locais que podem ocasionar tensões no fundo e conseqüentemente, ressuspender sedimentos.

Um viveiro de camarão assemelha-se bastante a um lago confinado de menores dimensões. Dessa forma, conceitos básicos de circulação em lagos podem ser utilizados na caracterização da hidrodinâmica em viveiros.

O vento agindo sobre a superfície do corpo d'água transfere energia cinética que posteriormente, será distribuída verticalmente por toda a coluna d'água (MARTIN e MCCUTCHEON, 1999). Uma pequena parcela dessa energia destina-se a geração de ondas superficiais e o restante aparece na forma de correntes. O padrão de correntes gerado pelos ventos pode ser explicado por uma corrente superficial que, ao encontrar o lado oposto à direção que o vento está soprando, retorna pelo fundo (Figura 4). Assim, o perfil vertical de corrente teria uma componente maior na superfície, que diminui com a profundidade, até ser nula numa determinada altura sobre o fundo. Abaixo dessa profundidade existe um fluxo de retorno aproximadamente uniforme que é mais lento que o fluxo na superfície, sendo responsável pela formação do depósito de sedimentos no lado oposto à direção do vento.

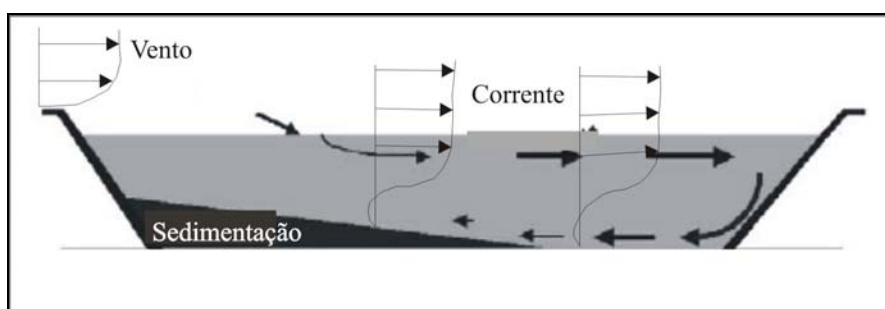


Figura 4: Esquema de circulação gerada por ventos. Perfis de velocidades e formação do depósito de sedimentos. (modificado de MARTIN e McCUTCHEON, 1999 e LEMONNIER e BRIZARD, 2001).

No que se refere à presença de ondas em viveiros de camarão, CUNHA *et al.* (2007) fizeram uma revisão bibliográfica sobre formulações de geração e propagação de ondas em viveiros e analisaram a sua influência na geração de tensões cisalhantes no fundo. As ondas de gravidade geradas pelos ventos promovem circulação em toda coluna d'água induzida por movimentos orbitais. Um viveiro de camarão, devido a suas pequenas profundidades, poderia ser classificado como um corpo de água rasa ou intermediária no que se refere à atuação de ondas ($\frac{h}{L} < \frac{1}{2}$), segundo a relação entre a profundidade local (h) e o comprimento de onda (L) (DEAN e DALRYMPLE, 1984). Nestes casos, o movimento orbital é elíptico (Figura 5), e próximo ao fundo, as órbitas se tornam planas e o movimento da água se torna essencialmente uma oscilação horizontal.

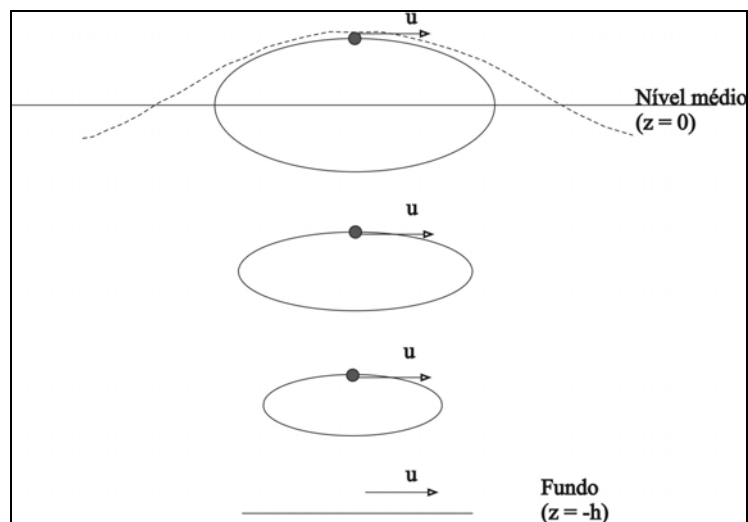


Figura 5: Movimento orbital das partículas em águas rasas e intermediárias (modificada de DEAN e DALRYMPLE, 1984).

CUNHA *et al.* (2007) alertam também sobre a possível formação de um padrão de ondas cruzadas geradas pelas reflexões das ondas nos taludes e o surgimento de oscilações ressonantes advindas da possível interação onda-onda, com períodos maiores que aqueles das ondas individuais.

Um outro tipo de ondas longas que podem estar presentes em ambientes como lagos e viveiros de camarões são os seiches superficiais. Sua formação pode estar relacionada ao deslocamento ou inclinação da superfície da água gerada pelo

empilhamento (*setup*) devido à atuação dos ventos (MARTIN e MCCUTCHEON, 1999) ou ao efeito da ressonância gerado por múltiplas reflexões das ondas (CUNHA *et al.*, 2007). O tipo de seiche mais comum encontrado em lagos são os seiches unimodais (MARTIN e MCCUTCHEON, 1999). Para uma bacia retangular, com dimensões a e b , os períodos dos modos próprios de oscilação podem ser estimadas pela relação:

$$T_{mn} = \frac{2}{\sqrt{gh}} \frac{ab}{\sqrt{n^2b^2 + m^2a^2}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

T_{mn} - período de oscilação (s);

a - largura do viveiro (m);

b - comprimento (m);

h - profundidade local (m);

n - modo de oscilação correspondente a largura;

m - modo de oscilação correspondente ao comprimento;

g - aceleração da gravidade (m/s^2);

II.iv.b. Aeradores e renovação de água

A utilização dos aeradores é amplamente difundida em aquicultura como complemento da aeração natural, com finalidade de incorporar e distribuir (horizontal e verticalmente) oxigênio por todo o viveiro, reduzir a estratificação na coluna d'água, fornecendo condições adequadas para a vida aquática e melhorar a qualidade da água. Uma melhora na qualidade da água do viveiro implica num aumento de áreas que podem ser habitadas pelos camarões e minimização de condições de estresse. Isso se traduz em animais maiores, mais saudáveis, e, portanto uma maior produção (ROGERS, 1989).

É importante precisar o nível de aeração artificial a ser aplicada, já que esta prática é a atividade com maior peso no consumo de eletricidade em uma fazenda de camarão. Segundo PETERSON (2003), a aeração corresponde a 80% do consumo de toda a energia utilizada em fazendas de engorda de camarões marinhos e ao segundo item na estrutura de custos de operações (a ração é o principal item, com 52% do custo

total de operações, MADRID (2005b)). A aeração artificial varia em função da cultura e do tipo de cultivo (intensivo ou semi-intensivo) (BOYD, 1998). A quantidade de aeradores necessários para fornecer aeração adequada para os viveiros é influenciada também pelo tempo de cultivo e tamanho dos camarões. Quanto maiores os organismos, maior a necessidade de oxigênio para realizar suas atividades fisiológicas. Além disso, quanto maior o tempo de cultivo, mais matéria orgânica foi produzida e depositada no fundo, contribuindo para aumentar a demanda de oxigênio para a sua decomposição. Segundo PETERSON (2003), viveiros recém-estocados não necessitam de aeração mecânica para fornecimento de oxigênio, mas sim para redução da estratificação na coluna d'água e garantia da mistura dos plânctons por toda a área do viveiro.

Existem diversos tipos de aeradores que podem ser empregados em aquicultura: os aeradores de gravidade, de superfície, difusores e de turbina (BOYD, 1998; VINATEA, 2004). As diferenças entre os diversos tipos de aeradores disponíveis para a aquicultura estão relacionadas à forma de geração da aeração na água. Tanto os difusores quanto os de turbina, adicionam oxigênio diretamente na água do viveiro. Já os aeradores de gravidade e superfície, incrementam a interface ar-água e influenciam na circulação gerando uma redistribuição do oxigênio disponível. A escolha do aerador mais adequado está condicionada a características próprias dos equipamentos, características físicas dos viveiros (profundidade e geometria) e características biológicas referentes à cultura (biomassa estocada) (BOYD, 1998; PETERSON, 2003).

Os aeradores de superfície são os mais utilizados em aquicultura (BOYD, 1998; VINATEA, 2004). O tipo mais comum são os chamados aeradores de canaletas rotativas (*paddlewheels*) que são os mais indicados para viveiros de águas rasas (LAWSON, 1995 *apud* PFEIFFER *et al.*, 2007). Esses equipamentos são máquinas flutuantes constituídas por um motor e uma série de pás conectadas através de um eixo central. Quando acionado o motor, as pás giram em torno do eixo central e desenvolvem um percurso circular na interface ar-água, conforme mostrado na Figura 6. A taxa de transferência de oxigênio dependerá do diâmetro do cilindro de rotação, do comprimento e profundidade de submersão das canaletas e da velocidade de rotação que é função da potência do motor (MOORE e BOYD, 1992 *apud* VINATEA, 2004).



Figura 6: Aerador do tipo canaletas rotativas em funcionamento.

Estes aeradores empurram a massa d'água induzindo assim uma circulação na direção horizontal, além de gerar também respingos de partículas de água na direção vertical. Os respingos são dispersos dentro de uma região com altura e largura constante em frente ao aerador (KANG *et al.*, 2004).

No comportamento dos jatos gerados pelos aeradores (TENEKEES e LUMLEY, 1972; KANG *et al.*, 2004) (Figura 7), observa-se a formação de uma camada cisalhante turbulenta. Essa camada é instável, cresce rapidamente e gera vórtices circulares, que ao encontrar um ambiente do fluido “parado”, acarreta “trocas e misturas” de grande quantidade de movimento entre o jato e o fluido (campo próximo). Dessa forma, as velocidades dos jatos diminuem e a velocidade ambiente do fluido aumenta devido ao cisalhamento que ocorre na interface. A máxima velocidade está sempre no eixo central do jato. À medida que se afasta do aerador, a largura do jato aumenta e a velocidade diminui segundo um perfil gaussiano (campo afastado). Então, a velocidade inicial do jato se dissipa totalmente no fluido dentro do viveiro pela reflexão com os taludes e atrito no fundo. O jato (função do ângulo de expansão) alcança o fundo quando está a uma distância maior que sete vezes a profundidade média da coluna d'água (PETERSON *et al.*, 2000; PETERSON *et al.*, 2001). É a partir desse ponto, onde se espera que o processo de erosão do material do fundo pode ocorrer devido às correntes geradas pelo aerador.

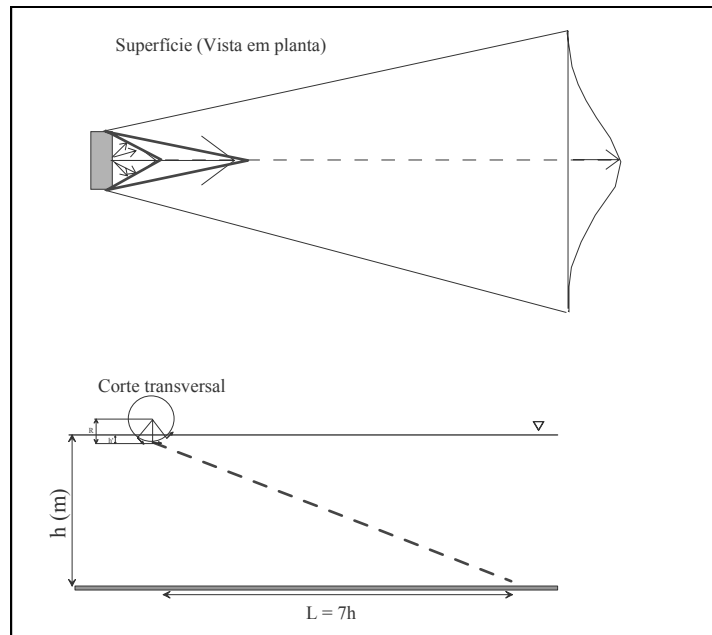


Figura 7: Esquema da influência dos jatos em planta e em profundidade dos aeradores em viveiros de camarões.

Existem estudos recentes que relacionam a circulação com o arranjo de aeradores em viveiros de camarões. Grande parte desses estudos refere-se a um arranjo mais simples, aeradores posicionados nos cantos dos viveiros de menor tamanho e quadrados (BOYD, 1998; BRIGGS e FUNGE-SMITH, 1994 *apud* DELGADO *et al.*, 2003; VINATEA, 2004). Nesses casos, os aeradores são posicionados nos cantos e paralelos aos taludes de forma que os jatos gerados por eles tenham seus efeitos somados, garantindo assim um padrão circular bem definido, como mostrado na Figura 8. Quando os jatos dos diferentes aeradores trabalham em conjunto, possibilita-se a distribuição das tensões sobre uma área maior e assegura-se também uma melhor condição do solo. Porém, as maiores velocidades ocorrem na periferia do viveiro e condições estagnantes (sedimentação) no centro. Dessa forma, os aeradores devem estar distantes pelo menos de 3 a 4 metros dos taludes, evitando que as maiores velocidades das correntes provoquem erosão.

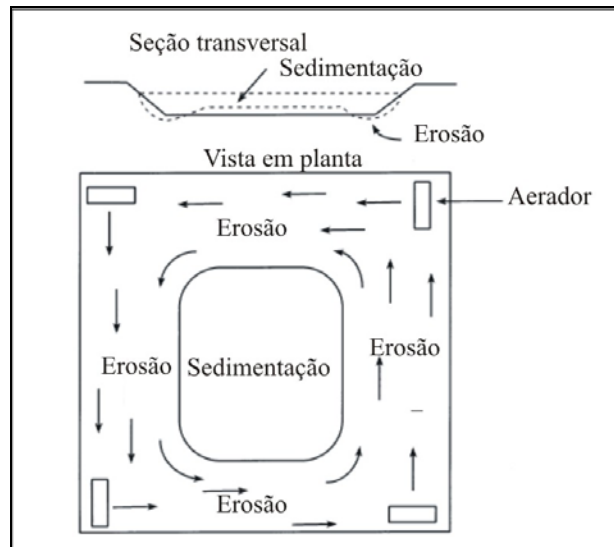


Figura 8: Padrão de circulação em um viveiro quadrado com aeradores de canaletas rotativas posicionados nos cantos (modificado de BOYD, 1998).

Estudos foram encontrados na literatura sobre a influência dos aeradores na circulação hidrodinâmica em viveiros retangulares, tanto feitos a partir de medições de velocidades (PETERSON, 2000; DELGADO *et al.*, 2003) quanto através de simulações (PETERSON *et al.*, 2000; KANG *et al.*, 2004). Em viveiros retangulares, o arranjo dos aeradores discutido acima para viveiros quadrados pode ser eficiente na geração do padrão de circulação circular, mas pode não satisfazer quanto aos níveis de oxigênio necessário para garantir a produção, basicamente devido à maior área a ser abrangida. Assim a instalação de equipamentos adicionais é considerada, que devem ser instalados na metade do comprimento, de modo que os jatos de água dos aeradores fiquem paralelos à largura do viveiro e abranja a maior área possível (BOYD e WATTEN *apud* BOYD, 1998). Também, o posicionamento relativo entre as comportas de abastecimento e drenagem condiciona o arranjo dos aeradores, além de definir áreas de deposição de finos no interior dos viveiros. Conhecendo-se a zona preferencial de sedimentação de finos, os produtores podem estruturar o posicionamento adequado dos aeradores e assegurar, portanto, a eliminação ou redução dessas zonas através de aeração mecânica (LAWSON e WHEATON *apud* BOYD, 1998).

PETERSON (2000) apresenta medições realizadas com correntômetro eletromagnético ao longo de uma grade regular (com espaçamento de aproximadamente 20 m) em duas profundidades: a 20 cm do fundo e a 15 cm da superfície. DELGADO *et al.* (2003), realizaram medições de velocidades em seis pontos ao longo da largura e

oito pontos ao longo do comprimento dos viveiros e medições de oxigênio a 30 cm do fundo e na superfície. As medições em profundidade foram feitas a 5.0 cm do fundo e então espaçadas a cada 30 cm, e a superfície foi considerada a 15 cm abaixo da linha d'água.

A partir destas medições PETERSON *et al.* (2000), validaram as simulações numéricas desenvolvidas com o modelo CFD (*Computation Fluid Dynamics*, Peterson, 1999a) e assim, determinaram a distribuição espacial das velocidades e tensões no fundo geradas pelo funcionamento dos aeradores. KANG *et al.* (2004), estudou a circulação induzida por aeradores através de velocidades medidas (0.2h, 0.5h e 0.8h) e simuladas a partir de um modelo 2DH.

A partir da análise dos trabalhos anteriores conclui-se que a circulação em viveiros retangulares não teria um padrão bem definido como nos viveiros quadrados, mas seria caracterizada pela presença das maiores velocidades na periferia (da ordem de 10.0 cm/s) e menores velocidades (da ordem de 1.0 cm/s) no centro dos viveiros. O fluxo gerado em profundidade pelo aerador apresentou perfil logarítmico na região do campo afastado (PETERSON, 2000; KANG *et al.*, 2004).

Quanto ao melhor arranjo dos aeradores adicionais (além dos quatro posicionados nos cantos), existem estudos que avaliam sua influência quanto à incorporação de oxigênio na água (NETTO e VINATEA, 2005) e distribuição de tensões bentônicas no fundo dos viveiros (PETERSON, 2001). Em ambos os estudos, foram utilizados aeradores do tipo canaleta rotativas em viveiros retangulares com cultivo do *vannamei*. Os arranjos analisados para os aeradores adicionais (diagonal, paralelo e em linha) estão mostrados na Figura 9. NETTO e VINATEA (2005) estudaram a concentração residual de oxigênio dissolvido (diferenças entre os níveis de O.D. uma hora depois dos aeradores terem sido ligados menos o registrado antes de serem ligados) em três horários: 6h00, 18h00 e 24h00. A disposição em diagonal proporciona melhor oxigenação na água do fundo do viveiro, apresentando valores superiores que aqueles para a disposição em paralelo. PETERSON *et al.* (2001) através de simulações numéricas (empregando o modelo CFD mencionado anteriormente) determinaram as tensões cisalhantes no fundo em cada caso (paralelo, diagonal e em linha) e relacionaram com as tensões críticas bentônicas obtidas por PETERSON

(1999a, b). A análise foi feita através de um mapeamento do fundo em três zonas: vermelha (tensões excessivas, gerando erosão), verde (tensões ideais) e zonas mortas (deposição). A comparação entre os resultados indica que o arranjo em diagonal distribui, da melhor forma, as tensões no fundo dos viveiros, minimizando as zonas onde se deflagrariam processos erosivos e aumentando as zonas consideradas ideais.

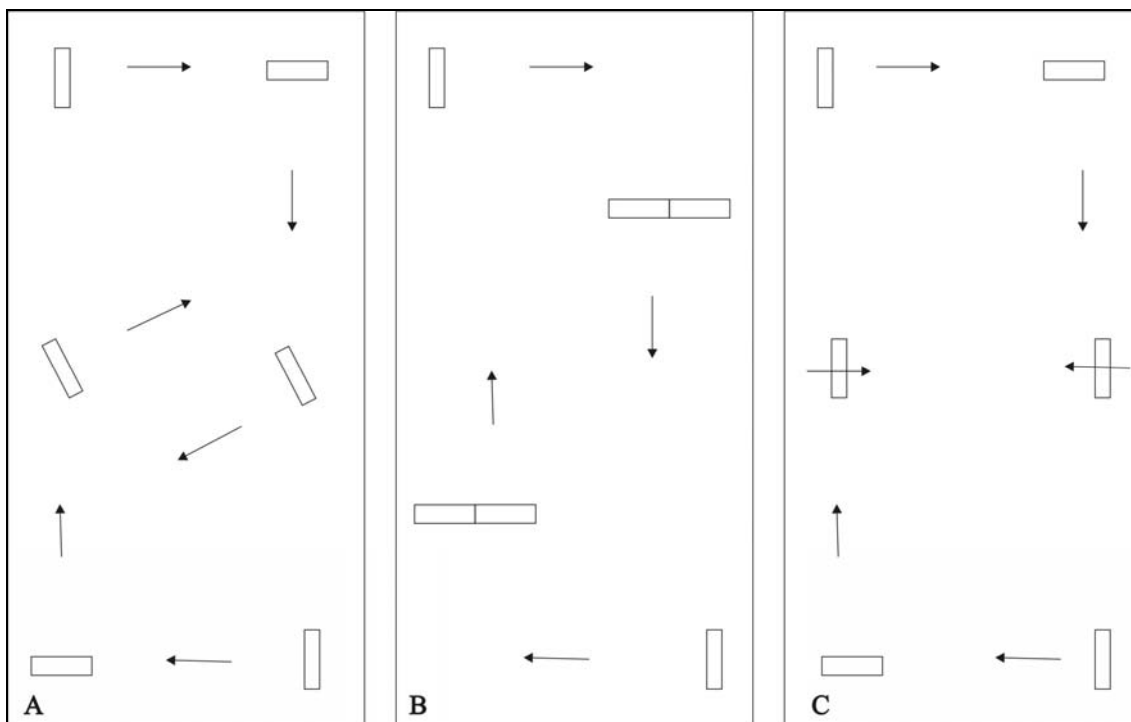


Figura 9: Disposições dos aeradores em viveiros retangulares. (A) em diagonal, (B) em paralelo e (C) em linha.

II.v.Ressuspensão e deposição de sedimentos em fundo de viveiros

A ação conjunta das forçantes naturais (ventos e ondas superficiais), artificiais (aeradores) e biológicas (bioturbação) favoreceria alterações na estrutura dos sedimentos depositados no fundo, deixando-os, quando não consolidados, susceptíveis a suspensão e transporte pelas correntes. O material mais grosso encontrado no fundo está relacionado àqueles locais onde as correntes são mais fortes, enquanto que os finos estão presentes naquelas áreas de velocidades menos intensas (PETERSON, 2000).

A circulação hidrodinâmica junto com as propriedades dos sedimentos, determinaria os processos de erosão e sedimentação, indicando, por exemplo, os pontos preferenciais de deposição. LEMONNIER e BRIZARD (2001) mostram como seria a

distribuição dos sedimentos no fundo em função da intensidade e do padrão de circulação natural ou artificial (Figura 10) de viveiros retangulares. A zona de deposição central está relacionada à circulação artificial induzida pelo padrão circular de correntes gerado pelos aeradores. A posição dessa zona de deposição é alterada quando se considera, além do efeito dos aeradores, a ação dos ventos. Nesse caso, a zona de deposição é deslocada para sotavento, o lado oposto à direção dominante do vento.

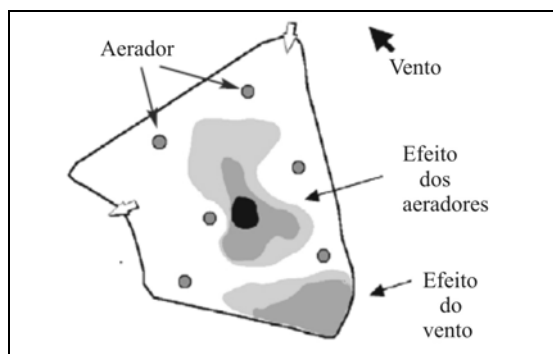


Figura 10: Distribuição teórica dos sedimentos no interior do viveiro. Resultado obtido por LEMONNIER e BRIZARD (2001) para viveiros retangulares na Oceania. As cores mais escuras indicam material mais fino.

Além do padrão de circulação induzido pelo arranjo dos aeradores e pelos ventos, o ponto de deposição preferencial no interior dos viveiros sofre também influências com relação à posição relativa entre as comportas de abastecimento e drenagem no ato da renovação de água. OCA *et al.* (2004) avaliaram diferenças quanto à mistura e localização da zona de deposição em várias configurações de comportas para viveiros retangulares. Quando as comportas estão desalinhadas e posicionadas em lados opostos, as correntes geradas na comporta de abastecimento mantêm sua simetria até uma distância de cerca de um quarto do comprimento do viveiro. Essa simetria é progressivamente perdida na metade do viveiro e, a partir daí observa-se a formação de vórtices nas laterais que configurariam as zonas preferenciais de deposição (Figura 11).

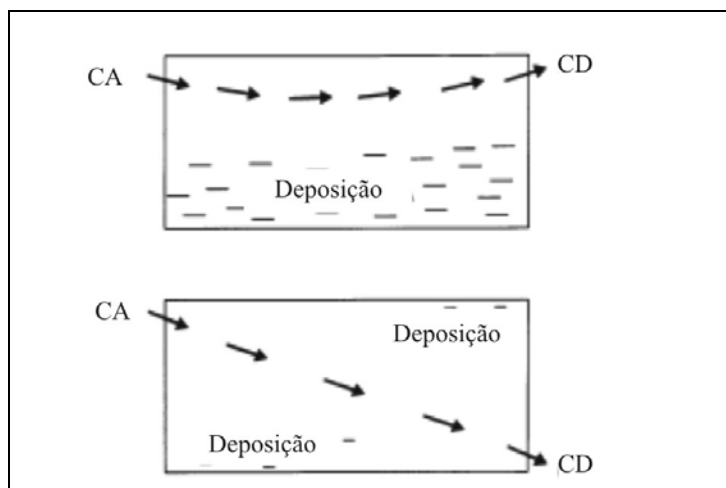


Figura 11: Zona preferencial de deposição de finos em função da posição relativa entre as comportas de abastecimento (CA) e drenagem (CD): (a) comportas alinhadas e (b) comportas em diagonal (desalinhadas) de acordo com LAWSON e WHEATON (1983) *apud* BOYD (1998).

A ressuspensão de sedimentos é consequência da ação de tensões cisalhantes no fundo que, quando atingem um valor crítico, deflagra-se o processo de erosão e conseqüentemente, um aumento da turbidez na coluna d'água (THOMFORDE e BOYD, 1991 *apud* PFEIFFER *et al.*, 2007).

A erodibilidade de sedimentos coesivos, que depende de fatores físicos, químicos e biológicos, é afetado pela presença de partículas orgânicas. PETERSON (1999a, b) estimou a qualidade dos sedimentos no fundo dos viveiros, relacionando-a diretamente às tensões de cisalhamento críticas, chamadas pelo autor de tensões bentônicas. Partindo do diagrama de *Shields* (que relaciona o tamanho do sedimento com a tensão crítica de movimento), desenvolveu uma adaptação (através de extrapolação da curva para diversas faixas de valores de *Reynolds*) para partículas finas e orgânicas, visando obter a tensão crítica do escoamento em viveiros de camarão. Assim, foi possível classificar o fundo dos viveiros em seis zonas, que são função dos materiais a serem ressuspensos para cada faixa de tensões presentes (Tabela 1). Faixas com tensões inferiores a 0.001 N/m^2 caracterizariam processos de deposição e enterramento de matéria orgânica, favorecendo condições anaeróbias no fundo. Aquelas regiões com tensões variando de 0.001 a 0.01 N/m^2 são consideradas ideais, pois não causam erosão no fundo, mantém carapaças, excretas, fitoplâncton e camarões mortos em suspensão e o alimento não consumido no limite da ressuspensão. Naquelas faixas

com tensões superiores a 0.1 N/m² ocorreria erosão no fundo, gerando então, maior ressuspensão de sedimentos, o que não seria desejável.

Tabela 1: Tensões de cisalhamento críticas obtidas por PETERSON (1999).

Tensão cisalhante (N/m ²)	Diâmetro do grão (mm)	Material Ressuspenso
0.1 – 2.3	0.063 – 3.000	Areia
0.03 – 0.1	0.004 – 0.063	Silte
0.01 – 0.03	0.001 – 0.004	Argila
0.003 – 0.01	0.012 – 0.100	Ração
0.001 – 0.003	0.001 – 0.012	Células e Algas

Na literatura, muitos estudos alertam sobre a importância de se conhecer a relação entre a turbidez na coluna d'água e as forças físicas (naturais e artificiais), apesar de não existir estudos que avaliam a influência dos ventos, ondas e aeradores na ressuspensão de sedimentos.

No que se refere às relações entre o comportamento do camarão e a turbidez (forças biológicas), a grande maioria dos estudos, trata da influência do animal em cativeiro na ressuspensão de sedimentos em tanques ou em laboratório para situações controladas.

O comportamento exploratório de peixes (AVNIMELECH *et al.*, 1999; KASSILA e HUSSENOT, 2006) e camarões (RITVO *et al.*, 1997; AVNIMELECH e RITVO, 2003) foi estudado e estão intimamente relacionados à ressuspensão de sedimentos, apresentando-se como um mecanismo de perturbação contínua. Diante do comportamento bentônico desses organismos, o simples fato de movimentação em busca de alimentos ou deslocamento ao longo da coluna d'água, acarreta perturbações no fundo. A espécie, o tamanho, a densidade de estocagem dos organismos cultivados, além do comportamento exploratório do fundo, são fatores críticos que ditam a magnitude da ressuspensão em viveiros.

No que se refere especificamente aos camarões, RITVO *et al.* (1997) realizaram um estudo para identificar a relação entre o tamanho do *vannamei* nas perturbações no substrato, e concluíram que a turbidez correlaciona-se linearmente com o comprimento do camarão. Quanto maiores os camarões, maiores serão as áreas superficiais do abdômen e maiores as patas locomotoras e natatórias. Além disso, os grandes camarões

andariam mais rápido que os pequenos e a relação entre a área de exploração do substrato e o tamanho do camarão é direta.

Sob situações reais, onde não se tem o controle das forças físicas, nenhum estudo sobre a influência da bioturbação na ressuspensão foi encontrado. Isso se deve possivelmente a dificuldade de se mensurar o movimento dos organismos, nessas condições, bem como o efeito da bioturbação sobre o solo (KASSILA e HUSSENOT, 2006; MASALÓ *et. al.*, 2008).

III.METODOLOGIA

A campanha de medições foi realizada na fazenda TECNARÃO – Tecnologia de Camarões Ltda. no período de 13/05/07 a 19/05/07, e foi programada de modo a obter informações que permitissem a caracterização hidrodinâmica, física e sedimentológica de viveiros de cultivo de camarão.

Para caracterizar fisicamente o viveiro, foram determinadas as dimensões e a batimetria local. A caracterização sedimentológica englobou estudos de concentração de sedimentos em suspensão e granulometria. Já para a caracterização hidrodinâmica foram realizados estudos referentes à identificação de padrões de circulação e determinação de tensões atuantes no fundo.

III.i. Área de Estudo

A Fazenda TECNARÃO – Tecnologia de Camarões Ltda situa-se no município de Arez (Rio Grande do Norte, RN). Localiza-se a 58 km ao Sul da cidade do Natal, capital do estado (IDEMA, 2007). Integra-se como parte antrópica ao Sistema estuarino lagunar Nísia Floresta – Papeba – Guarairas, um importante pólo turístico e econômico do RN (Figura 12).

O Sistema estuarino lagunar Nísia Floresta – Papeba – Guarairas se estende por uma área de aproximadamente 180 km², compreendendo os municípios de Nísia Floresta, Georgino Avelino, Arez e Tibau do Sul. Além do lazer, turismo e pesca, grande parte do sistema é utilizada na prática do cultivo de camarão em cativeiro.



Figura 12: Localização da fazenda TECNARÃO (modificado de EMBRAPA, 2007).

A fazenda possui uma área de aproximadamente 117 hectares, sendo 84 destes produtivos. Compõe-se de 30 viveiros destinados à engorda dos camarões, com diferentes densidades de estocagem e estágios de cultivo. Seus insumos (rações, fertilizantes, pós-larvas) são comprados e, boa parte de sua produção destina-se à exportação (2500 a 3000 kg/hectare).

Dois critérios foram utilizados para justificar a escolha dos viveiros que seriam monitorados durante a campanha de medições para responder aos objetivos propostos: o tempo de povoamento e a geometria dos viveiros. Os viveiros escolhidos deveriam ter geometrias semelhantes e estágios de cultivo diferentes, o que permitiria comparar possíveis influências no comportamento dos sedimentos de fundo frente à forças naturais e artificiais. Os viveiros escolhidos são mostrados na Figura 13, V04 e V05, ambos retangulares com aproximadamente 1.0 m de profundidade que diferem em relação à área (2.5 e 5.3 hectares) e ao tempo de cultivo empregado (04 e 90 dias, respectivamente). A Tabela 2 apresenta um resumo das características geométricas e os dados referentes ao ciclo de produção estão na Figura 14.

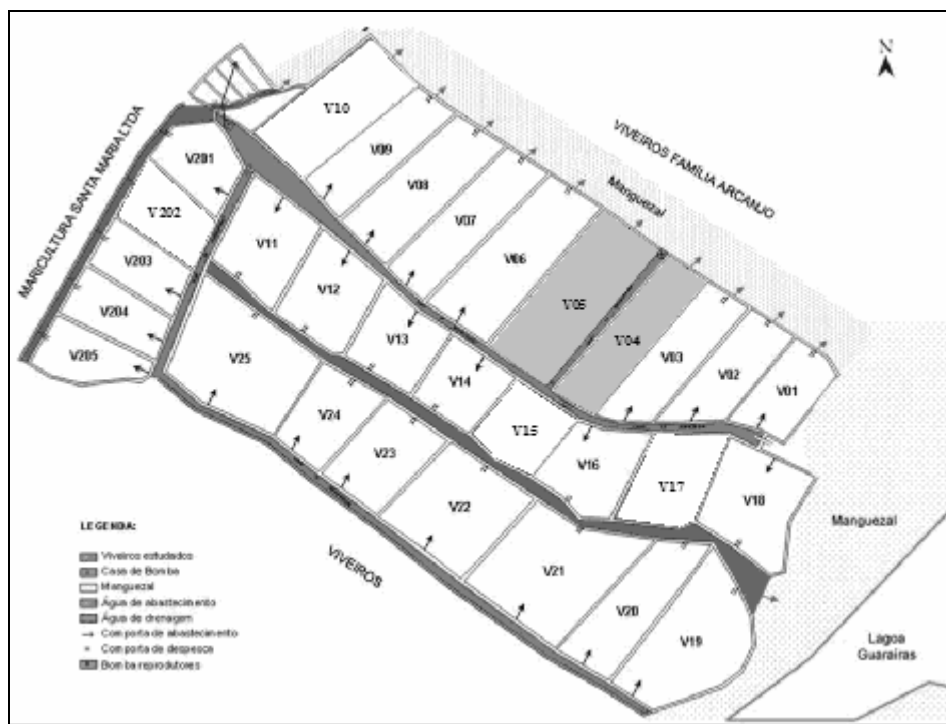


Figura 13: Localização dos viveiros V04 e V05 na fazenda TECNARÃO. (modificado de AZEVEDO, 2006)

Tabela 2: Principais características geométricas dos viveiros estudados.

Viveiro	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (ha)	Profundidade média (m)	Orientação (°N)
V 04	352	72	2.5	0.77	38
V 05	364	147	5.3	0.90	37

Viveiro 05 (V05)

Idade do camarão: 90 dias

Densidade: 12 camarões/m²

Tamanho aproximado: 12.0 cm

Peso aproximado: 18.0 g

Despescado dia 16/05/07



Viveiro 04 (V04)

Idade do camarão: 4 dias

Densidade inicial: 24 camarões/m²

Tamanho aproximado: 2.5 cm

Despesca parcial: 3.0 g

Povoado dia 12/05/07



Figura 14: Características do ciclo de produção do camarão cultivado nos viveiros estudados.

A densidade de estocagem empregada no povoamento é maior que a verificada na despesca, conforme mostrado na Figura 14. Em viveiros recém-povoados, os camarões são pequenos e necessitam de menos espaço. À medida que o cultivo avança e os camarões estocados crescem e engordam, o espaço se torna menor e a densidade deve ser reduzida. Parte dos organismos cultivados é levada para outro viveiro e aí permanece até a despesca, quando se atinge os padrões exigidos para a exportação. Desta forma, evita-se o desenvolvimento de condições estressantes.

No caso dos viveiros estudados, os aeradores utilizados são do tipo canaleta rotativas (*paddlewheels*) de 3 hp, 70 a 120 rpm (Figura 15) e diferem em quantidade. A quantidade de aeradores em cada viveiro é função da área dos mesmos, sendo oito no V05 e quatro no V04. Segundo o manejo da fazenda, os aeradores funcionam diariamente no período de aproximadamente 8 horas (das 21h00 às 05h00) durante a noite. A alimentação dos camarões é realizada através de bandejas submersas no V05 (Figura 16) e com o lançamento da ração, pelo funcionário, a partir do talude para dentro do viveiro (arraçoamento a lance) no V04. No caso de um viveiro com cultivo avançado, a alimentação através de bandejas minimiza o desperdício de ração, porém exige que os camarões tenham que se deslocar até a bandeja para se alimentar. O mesmo princípio não é aplicado em um viveiro recém-povoado, já que para tanto os organismos cultivados despenderiam muito esforço para alimentar-se. O arraçoamento é realizado duas vezes ao dia, às 09h00 e às 13h00. A taxa de renovação da água do viveiro utilizada pela fazenda é de cerca de 5% nos últimos 30 a 60 dias de cultivo, visando manter o nível de água do viveiro constante e suprir perdas por evaporação.



Figura 15: Aerador do tipo canaletas rotativas em funcionamento na fazenda TECNARÃO.



Figura 16: Arraçoamento através de bandejas submersas.

III.ii. Coleta de Dados

Os viveiros estudados foram monitorados por três dias consecutivos. Do dia 13/05/07 a 16/05/07 a coleta de dados foi realizada no V05, e do dia 16/05/07 ao dia 19/05/07 o monitoramento foi feito no V04.

Velocímetros ou ADV's (*Acoustic Doppler Velocimeter*) NORTEK com frequência de 6 MHz foram utilizados na obtenção de informações de correntes pontuais e nível d'água nos viveiros. Os ADV's foram instalados nos viveiros em gaiolas de aço inox (Figura 17 e Figura 18). As duas gaiolas foram posicionadas simultaneamente no viveiro durante três dias, em cada um dos viveiros. Uma das gaiolas permanecia fixa (fixadas no fundo através de estacas de madeira de manguezal) no lado oposto ao jato dos aeradores e próxima ao centro do viveiro, enquanto a outra tinha alterações diárias na posição e profundidade de medição, no intuito de caracterizar a circulação e a concentração de sedimentos em vários locais dentro do viveiro. As posições das gaiolas estão mostradas nas Figura 19 e Figura 20. A profundidade de medição está mostrada na Tabela 3.

Os ADV's foram configurados a uma frequência de amostragem de 2 Hz para coletar 2048 amostras (intervalo de amostragem de aproximadamente 17 minutos) a cada 30 minutos. Essa configuração permitiria a determinação das características das ondas através do método PUV (empregando o software *wavextract* da NORTEK, 2002). A partir dos dados de correntes, foram determinadas as intensidades das tensões que atuam no fundo. Os sinais de retroespalhamento (SNR) fornecidos também pelos ADV's foram utilizados na estimativa de concentração de sedimentos em suspensão.



Figura 17: Gaiola Fixa para suporte do ADV.



Figura 18: ADV na gaiola móvel (à direita) e ALTUS no tripé (à esquerda).

Tabela 3: Alterações diárias das profundidades de medição dos ADV's para as diferentes gaiolas e viveiros.

Viveiro	Dia	Gaiola	Altura em relação ao fundo
05	13/14	Fixa	15 cm
		Móvel	35 cm
	14/15	Fixa	15 cm
		Móvel	35 cm
	15/16	Fixa	15 cm
		Móvel	15 cm
04	16/17	Fixa	15 cm
		Móvel	15 cm
	17/18	Fixa	15 cm
		Móvel	15 cm
	18/19	Fixa	15 cm
		Móvel	45 cm

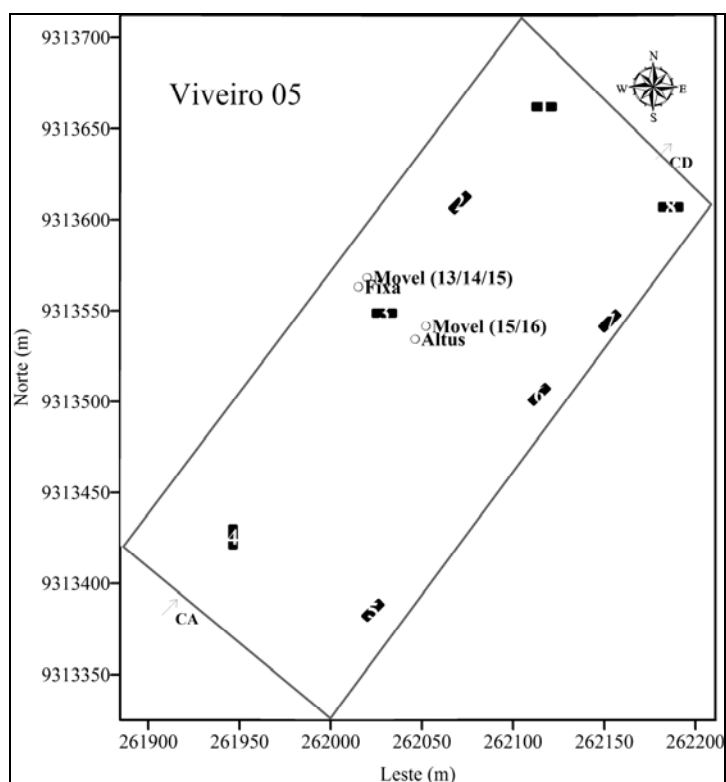


Figura 19: V05: Posição das gaiolas (Fixa, Móvel e ALTUS), comportas (CA: abastecimento e CD: drenagem) e aeradores (de 01 a 08). O parêntese na Gaiola Móvel corresponde ao dia e sua posição.

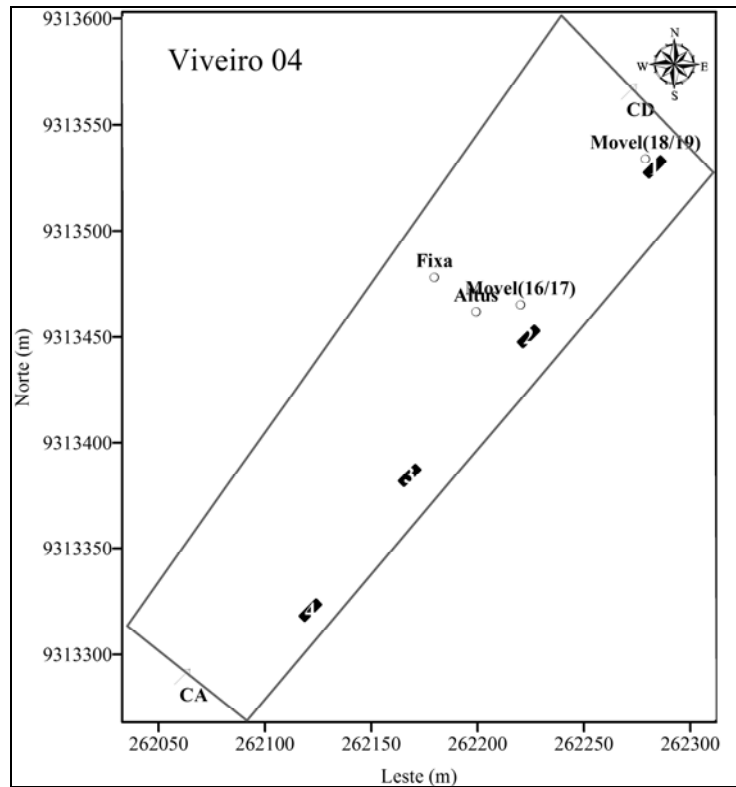


Figura 20: V04: Posição das gaiolas (Fixa, Móvel e ALTUS), comportas (CA: abastecimento e CD: drenagem) e aeradores (de 01 a 04). O parêntese na Gaiola Móvel corresponde ao dia e sua posição.

Um altímetro (ALTUS) da marca MICREL com frequência de 2 MHz e resolução de 0.06 cm (MICREL, 2000) foi utilizado para medir erosão e sedimentação. O equipamento foi fixado no fundo e centro de ambos os viveiros (três dias em cada um) através de um tripé de aço inox, a uma altura de aproximadamente 20 cm (Figura 18). Este equipamento capta informações acerca de variações no nível do fundo que são identificadas como processos erosivos e deposicionais. Foi fixado no centro, considerando que este seria o ponto representativo de processos de erosão e sedimentação no viveiro como um todo, além de não sofrer influência direta dos taludes. O equipamento foi configurado para fazer medições em intervalos de 10 minutos.

A batimetria dos viveiros foi determinada através de medições de profundidades em diferentes locais (cerca de 60 pontos em cada viveiro) empregando uma mira topográfica (Figura 21). A definição das dimensões dos viveiros e a localização dos pontos batimétricos, bem como outros pontos de interesse (pontos de coleta de

amostras, posições de aeradores e gaiolas), foram realizadas utilizando GPS (*Global Positioning System*) GARMIN 76.

Nos três dias de monitoramento de cada um dos viveiros, também foram coletados amostras de água para determinação da concentração de sedimentos em suspensão e amostras de sedimentos do fundo para caracterização granulométrica.

Como forma de subsidiar estas atividades, foi empregada uma balsa para o deslocamento no interior dos viveiros. Diante das grandes dimensões e facilidade de acesso, os pontos de amostragem escolhidos para o monitoramento dos parâmetros físicos estão situados na metade Norte dos viveiros e foram definidos em função do posicionamento das bandejas de arraçoamento e aeradores. Por razões de logística, coletas de amostras de água não foram realizadas no período compreendido entre 18h00 e 06h00.

As amostras de água foram coletadas através de uma garrafa amostradora horizontal WILDCO BETA PLUS (2.2 litros) em alíquotas de 200 ml e acondicionadas em potes plásticos. Posteriormente em laboratório foram processadas para determinar a concentração de sedimentos em suspensão através do método de filtração (ANEEL, 2000) em papel WHATTMAN de 0.045 μm .

As amostras de fundo foram coletadas através de um amostrador de sedimentos desenvolvido em laboratório pela equipe do LDSC (Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos) da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro). O amostrador consiste de dois tubos concêntricos de PVC de 40 mm de diâmetro e 1.20 m de altura (Figura 22). À extremidade inferior do tubo interno conectou-se uma tampa e na outra extremidade, desenvolveu-se um sistema que permitisse o deslizamento dos tubos. Assim, o vácuo era gerado, sem que a água entrasse no tubo, e permitia a coleta de um testemunho de aproximadamente 30 cm de altura (aproximadamente 300 gramas de amostra seca). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos para posterior análise granulométrica e determinação do teor de matéria orgânica.

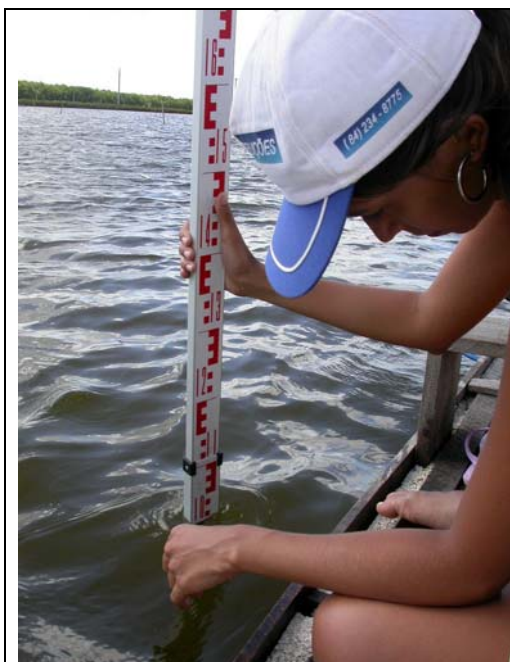


Figura 21: Realização da batimetria através da leitura da régua.



Figura 22: Amostrador de sedimentos do fundo desenvolvido pela equipe do LDSC.

Para a determinação da granulometria e teor de matéria orgânica, as amostras de sedimentos foram levadas à estufa numa temperatura de 60°, garantindo que não haveria a queima da matéria orgânica. Depois de seca, a amostra foi destorroada e quarteada. A metade do material foi então pesada e misturada a 10 ml de água oxigenada (40 volumes) e levada novamente à estufa a uma temperatura de 105° por aproximadamente dois dias. Uma vez retirada da estufa, a amostra foi pesada e o teor de matéria orgânica determinado. Esta mesma amostra foi então submetida ao processo de peneiramento úmido, sendo lavada com água filtrada na peneira #230 (0.063 mm) para a separação do material grosso do fino. O material grosso foi seco em estufa a uma temperatura de 105°, enquanto o material fino foi acondicionado em potes plásticos e levado posteriormente a uma análise de granulometria utilizando o MALVERN (*Mastersize Microplus v 2.15*). Depois de seco o material grosso, o mesmo foi submetido a uma análise de peneiramento (ABNT), onde se utilizou a série com as seguintes peneiras: 45, 80, 120, 170, 230 (0.355, 0.180, 0.125, 0.090, 0.063 mm respectivamente).

IV. RESULTADOS: CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA

IV.i. Características geométricas dos viveiros

A área dos viveiros utilizados neste estudo é bem superior à relatada na literatura consultada no caso de viveiros retangulares (WYBAN *et al.*, 1989; PETERSON *et al.*, 2001; KANG *et al.*, 2004) que, em geral, têm aproximadamente 1.0 hectare de área. A diferença verificada nas áreas entre esses viveiros e os estudados chega a cerca de duas vezes para o V04 e cinco vezes para o V05. E como dito no capítulo 02, isso influenciaria a determinação do número e posicionamento de aeradores.

Em relação à batimetria (Figura 23 e Figura 24), as profundidades mais pronunciadas encontram-se localizadas na metade Norte e Oeste dos viveiros. Possivelmente isso estaria relacionado à circulação no interior dos viveiros e a influência da comporta de drenagem, que deve ser o ponto mais profundo para favorecer o escoamento no ato da despesca.

As diferenças identificadas nos viveiros 04 e 05 no que diz respeito à quantidade dos aeradores estão relacionadas a discrepâncias nas áreas dos mesmos (08 para o V05 e 04 para o V04). Os aeradores, em ambos os viveiros, estão dispostos em linha, uma fileira de 04 máquinas no V04 e duas no V05. Nas figuras, também são mostradas as áreas de influência dos jatos dos aeradores, determinadas a partir de levantamentos com o GPS. Da observação dos jatos, tem-se um indício de que o padrão de circulação, neste caso (aeradores dispostos em linha), com os jatos sempre orientados do talude Leste para o talude Oeste, difere daquele encontrado na literatura (Figura 9). Verifica-se também que no viveiro 05, a metade Norte está com um maior número de aeradores que a metade Sul, possivelmente devido ao fato desta região ser mais profunda e necessitar de uma maior circulação e aeração.

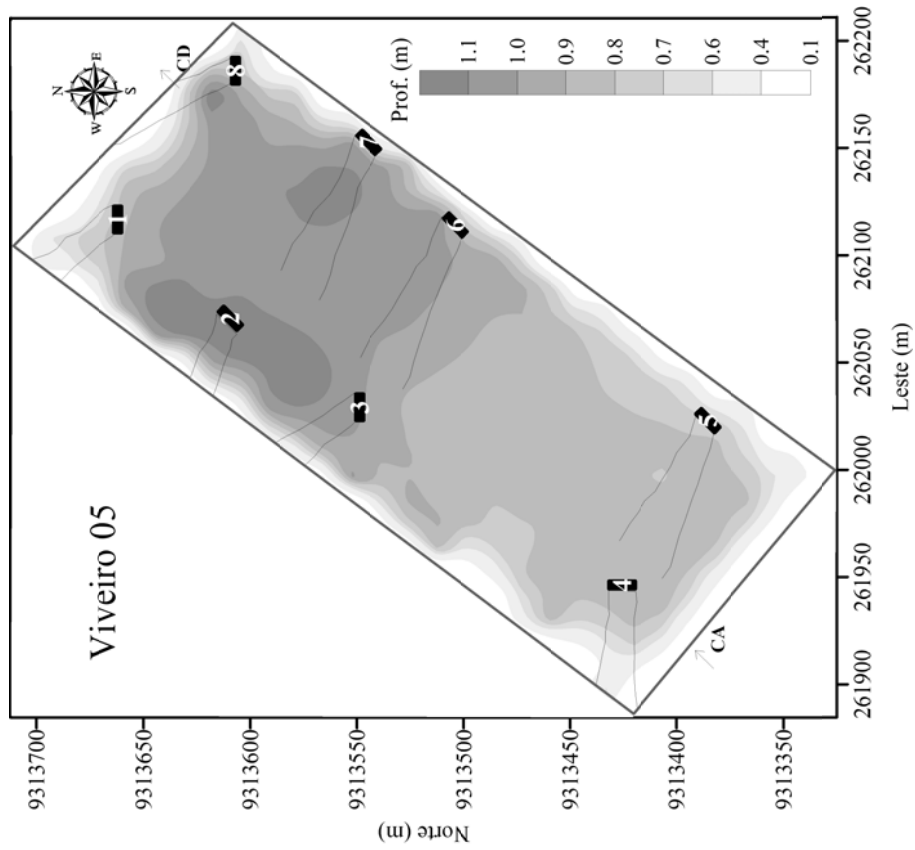


Figura 23: V05: Batimetria, comportas (CA: abastecimento e CD: drenagem) e aeradores (de 01 a 08). Aeradores dispostos em linha e com a influência dos seus jatos.

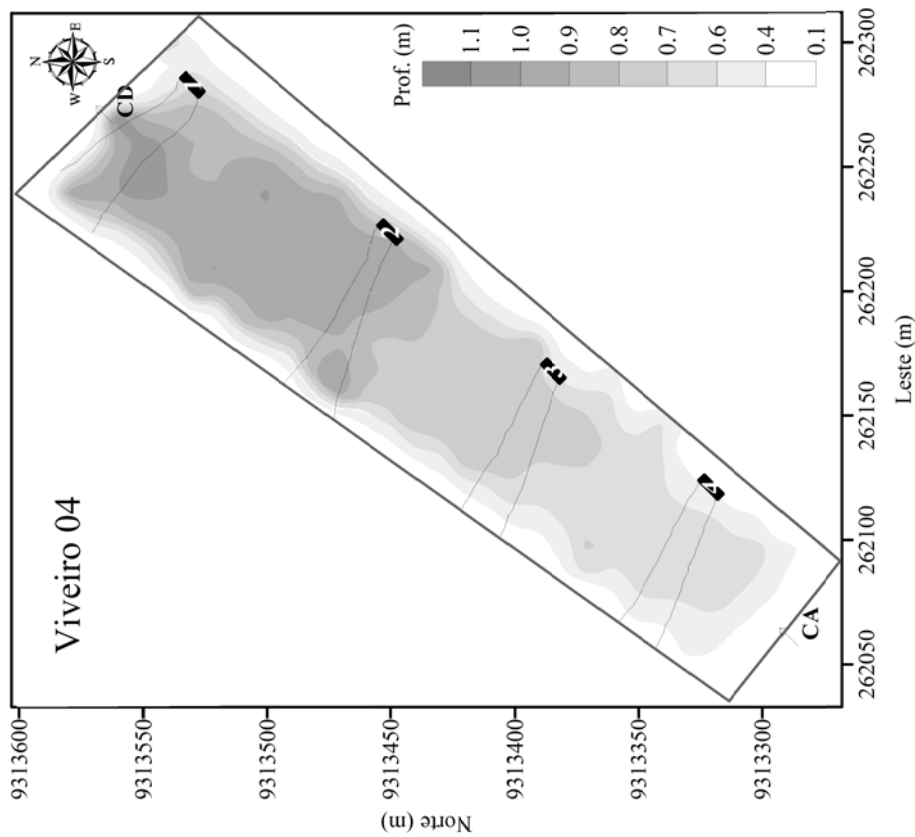


Figura 24: V04: Batimetria, comportas (CA: abastecimento e CD: drenagem) e aeradores (de 01 a 04). Aeradores dispostos em linha e com a influência dos seus jatos.

IV.ii. Circulação hidrodinâmica nos viveiros

Para caracterização da hidrodinâmica em viveiros de camarão duas forçantes serão analisadas: as correntes no fundo, geradas por ventos e pelos aeradores, e ondas superficiais. Essas correntes e a ação de ondas superficiais agindo sobre a camada de lama depositada acima dos sedimentos, geram tensões que governam os processos de erosão e sedimentação no leito, bem como a difusão na coluna d'água (KIM *et al.*, 2000).

IV.ii.a. Correntes no fundo

A caracterização das correntes nos viveiros analisados consiste numa análise dos dados de intensidades e direções obtidas a partir de medições dos ADV's instalados nas Gaiolas Fixa e Móvel. Deste ponto do texto em diante, as abreviações GF e GM serão usados para se referir às gaiolas fixa e móvel, respectivamente.

Medições de intensidade e direção dos ventos no local de estudo não foram registradas. Desta forma, os dados de vento referem-se a registros no Aeroporto Internacional Augusto Severo em Natal (REDEMET, 2007). A distância do aeroporto até a fazenda é de aproximadamente 60 km.

Quanto ao padrão de correntes verificado, as mesmas têm o seu comportamento relacionado ao horário e ao distanciamento entre gaiolas, aeradores e taludes. As correntes observadas durante o funcionamento dos aeradores, no viveiro 05, têm direções caóticas, relacionadas a interferências entre os jatos dos vários aeradores (direção O-NO) e possíveis reflexões entre os mesmos e os taludes. No viveiro 04, o padrão das correntes geradas pelos aeradores é mais uniforme no tempo, tanto em relação às intensidades quanto às direções (NO) – devido à presença de um menor número de aeradores gerando, portanto, um padrão mais regular de correntes.

Nas Figura 25 a Figura 30 são mostradas as séries de velocidades de correntes para ambas as gaiolas (valores médios a cada um minuto) e a velocidade do vento (valores horários). Quatro períodos foram identificados: um primeiro período durante o

funcionamento dos aeradores (21h00 às 05h00), um segundo período que corresponde à atuação dos ventos (10h00 às 17h00) e dois períodos intermediários (05h00 às 10h00 e 17h00 às 21h00).

Quanto às intensidades das correntes, verificam-se grandes diferenças das correntes geradas pelos aeradores - atingindo velocidades de 0.1 m/s - de três a quatro vezes maiores que àquelas encontradas durante a atuação dos ventos (2º período). Os períodos intermediários são caracterizados por velocidades muito baixas, da ordem de 0.01 m/s. As velocidades encontradas durante o funcionamento dos aeradores são da mesma ordem de magnitude daquelas presentes na literatura (PETERSON, 2000; DELGADO *et al.*, 2003; KANG *et al.*, 2004).

Nos períodos antes e depois do funcionamento dos aeradores (períodos intermediários), o comportamento nas direções das correntes é uniforme em ambos os viveiros, apresentando uma direção preferencial, SE e S-SE, respectivamente. Já no período de atuação dos ventos, a direção é aproximadamente E. Nos três períodos mencionados, o sentido das correntes registradas é contrário ao do vento, indicando a presença de recirculação vertical, ou seja, a superfície se desloca na direção do vento e, o fundo, registrado pelos ADV's, no sentido oposto. Essa afirmativa está de acordo com o diagrama teórico apresentado na Figura 4, além de corroborar com a identificação de menores profundidades no lado Sul e Leste dos viveiros.

Mudanças nas intensidades das correntes são percebidas entre os períodos, possivelmente devido às diferentes intensidades do vento durante o dia. Como afirmado anteriormente, as maiores intensidades são encontradas antes e depois do meio dia (2º período). Esse fato também foi verificado em campo durante os trabalhos.

Visando identificar alterações no comportamento espacial das correntes dentro do viveiro, a GM teve sua posição e altura de medição modificada diariamente. Nos três primeiros dias, as medições foram realizadas no V05 e nos outros dias no V04.

No lado Oeste dos viveiros (lado Oeste do V05), observa-se a influência direta do aerador (de número 03) e interferências das correntes com o talude Oeste (Figura 25 e Figura 26). Neste caso, o posicionamento entre as gaiolas coincide e as profundidades

de medição diferem entre si (GF fundo e GM meia profundidade). Verifica-se ainda, que as velocidades das correntes apresentam um comportamento similar para ambas as gaiolas.

No centro dos viveiros (centro do V05, Figura 27), as correntes no fundo não sofrem influência direta do aerador (aerador 06), apresentando menores magnitudes e um padrão menos caótico, comparada com as registradas na GF. Também seriam menos influenciadas por interferências com os taludes, por se encontrarem mais distante do mesmo. No período onde não se verifica o funcionamento do aerador, as correntes no fundo devidas à recirculação vertical pelo vento, diminuem em magnitude do lado Oeste (registradas na GF) para o centro do viveiro (registradas na GM). Conforme mostrado no diagrama teórico (Figura 4), na circulação induzida por ventos, às velocidades no fundo são maiores a sotavento (lado Oeste do viveiro) e diminuem em direção a barlavento (lado Leste do viveiro) devido basicamente ao atrito no fundo.

No lado Leste dos viveiros (lado Leste do V04), as correntes no fundo apresentam pequenas intensidades comparadas com o lado Oeste (registradas pela GF) (Figura 28). Mesmo estando posicionada ao lado do aerador (aerador 02) e fora da influência direta do jato, pouco efeito é sentido no fundo. Isto se deve ao fato de o maior desenvolvimento das velocidades geradas pelos aeradores estar relacionado a maiores distâncias das máquinas (PETERSON *et al.*, 2000; KANG *et al.*, 2004). Fora do período de funcionamento do aerador, as velocidades neste ponto (barlavento) diminuem quando comparadas com as registradas no lado Oeste (sotavento).

No lado Norte dos viveiros (lado Norte do V04), as correntes no fundo, durante o funcionamento dos aeradores (Figura 29), apresentam menores magnitudes que a meia profundidade (Figura 30), e pouco superior aos períodos onde não há a atuação do aerador. Estas velocidades são menores que no lado Oeste (registradas com a GF). Devido à posição da gaiola, verifica-se um comportamento caótico durante o funcionamento dos aeradores em ambas as situações, podendo ser por interferências dos jatos e taludes. As correntes no fundo (15 cm) apresentam sentido contrário ao do vento enquanto que, próximo à superfície (45 cm), as correntes têm a mesma direção que os ventos.

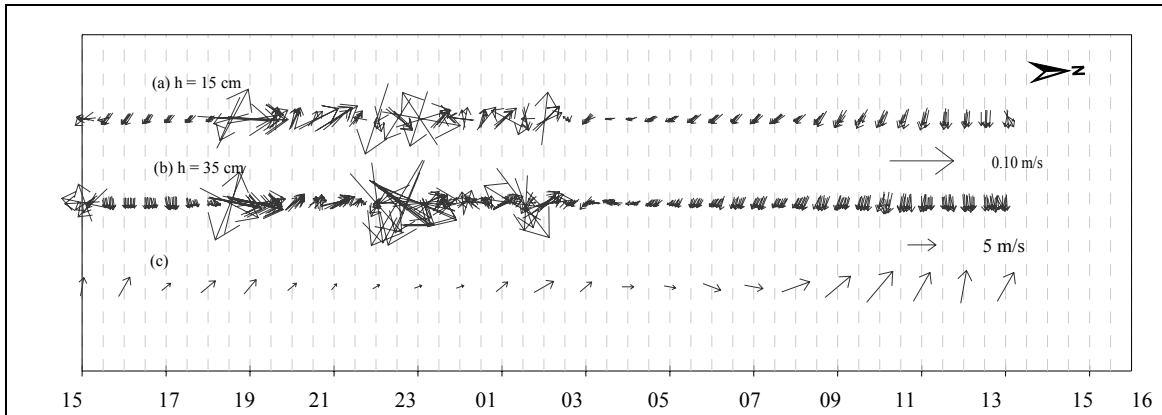


Figura 25: Correntes medidas no dia 13/05/07 no V05. (a) GF, (b) GM, (c) Vento.

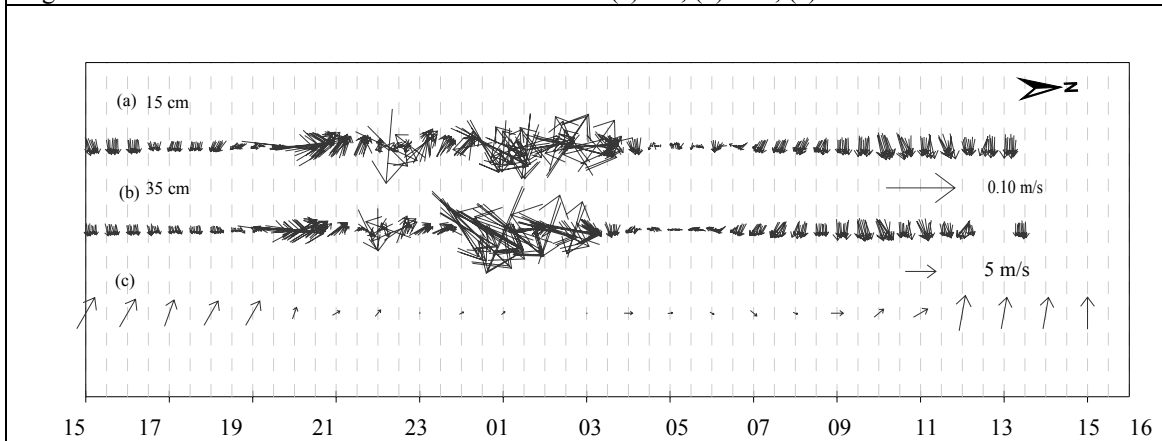


Figura 26: Correntes medidas no dia 14/05/07 no V05. (a) GF, (b) GM, (c) Vento. □

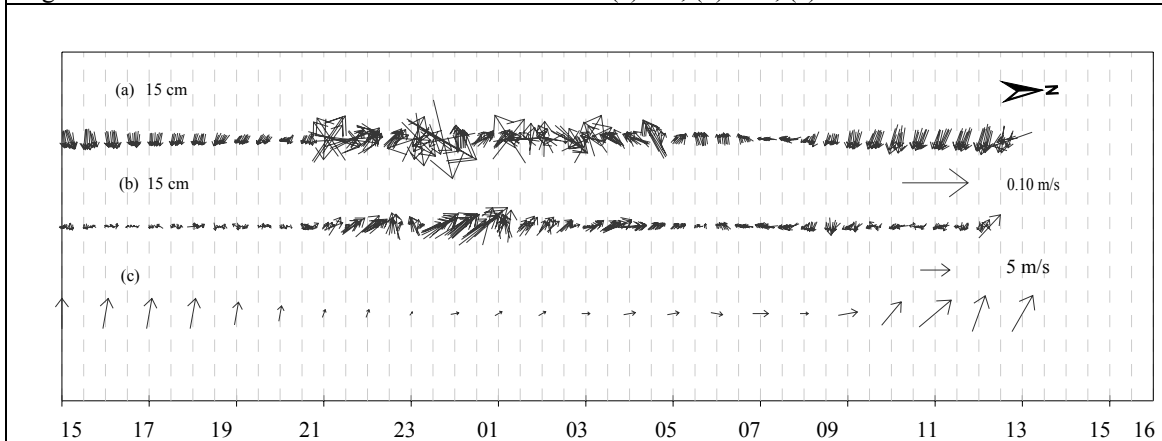


Figura 27: Correntes medidas no dia 15/05/07 no V05. (a) GF, (b) GM, (c) Vento.

OBS: As direções das correntes registradas pelos ADV's estão referidas ao Norte geográfico. A declividade magnética local é de 20° Oeste.

De forma geral, a circulação hidrodinâmica em viveiros é bastante similar à observada em lagos confinados, diferenciando-se somente quanto à presença de equipamentos mecânicos que geram circulação durante a madrugada. Foi verificada recirculação vertical gerada por ventos com velocidades no fundo que diminuem de sotavento para barlavento. A circulação induzida pelos aeradores, neste caso, difere do

padrão circular ou elíptico descrito na literatura. Esta diferença baseia-se no fato de os jatos dos aeradores estarem orientados do talude Leste para Oeste. Assim, as maiores velocidades são identificadas no lado Oeste (susceptível à erosão), diminuindo para o lado Leste (zonas de deposição). Independentemente da região no interior do viveiro, quando comparadas às registradas durante o período de atuação dos ventos, as velocidades no fundo são maiores durante o funcionamento dos aeradores.

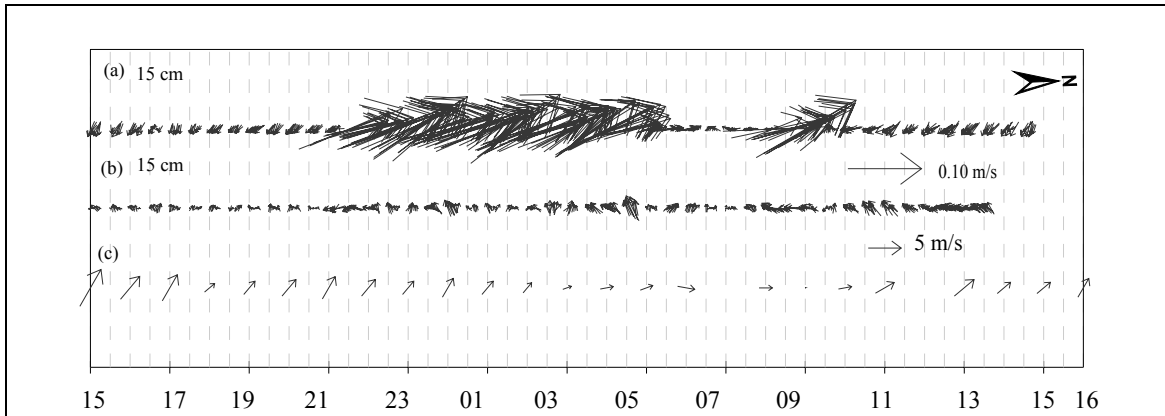


Figura 28: Correntes medidas no dia 16/05/07 no V04. (a) GF, (b) GM, (c) Vento. Neste dia excepcionalmente, os aeradores foram ligados no período da manhã (08h30 às 10h00).

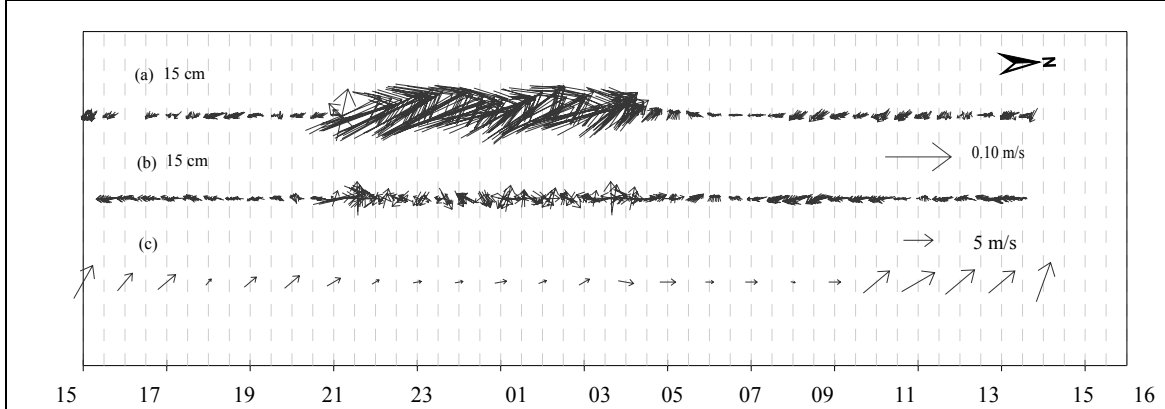


Figura 29: Correntes medidas no dia 17/05/07 no V04. (a) GF, (b) GM, (c) Vento.

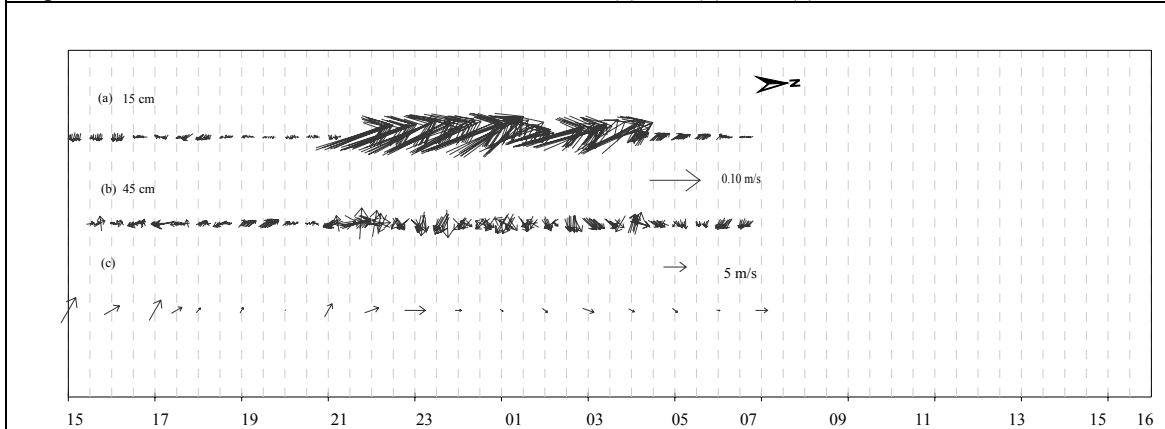


Figura 30: Correntes medidas no dia 18/05/07 no V04. (a) GF, (b) GM, (c) Vento.
OBS: As direções das correntes registradas pelos ADV's estão referidas ao Norte geográfico. A declividade magnética local é de 20° Oeste.

No intuito de caracterizar o comportamento vertical das correntes dentro do viveiro foram realizados oito perfis, em quatro pontos no interior do viveiro 04 (Figura 31 e Figura 32). A perfilagem foi realizada na manhã do dia 19/05/07, quando a direção do vento era aproximadamente de Sul. As medições foram feitas para uma condição “sem aerador” e para a condição “com aerador”. Nesse último caso, os equipamentos estavam em funcionamento enquanto a perfilagem estava sendo realizada (intervalo de 1 hora). Três profundidades com intervalos de tempo de 3 minutos foram empregadas na medição das velocidades com o ADV. Os valores apresentados são as médias, mínimos e máximos no minuto central, para minimizar alterações nas medições durante a subida e descida do equipamento, ver Figura 32.

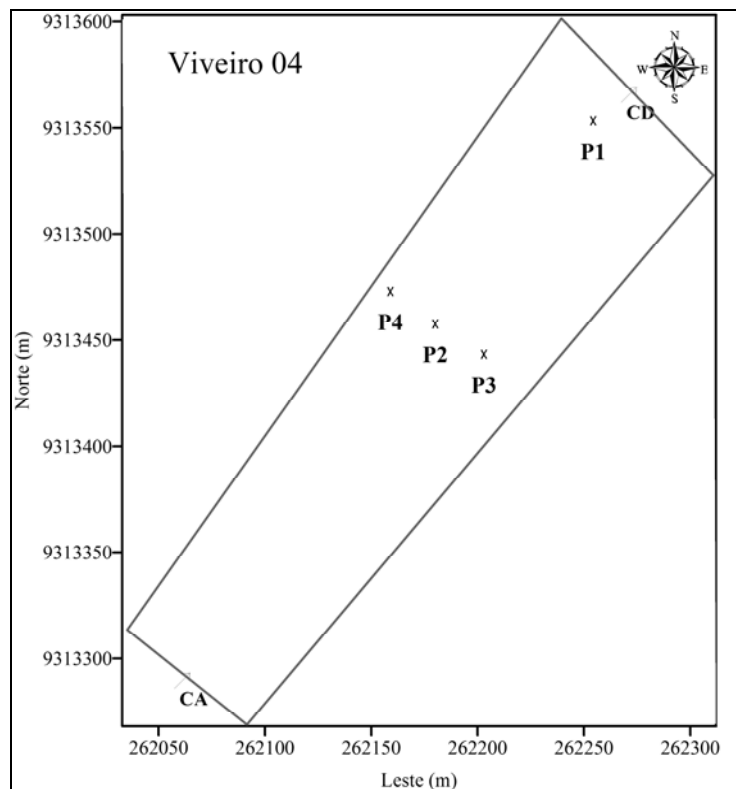


Figura 31: Localização dos pontos de perfilagem com ADV no V04.

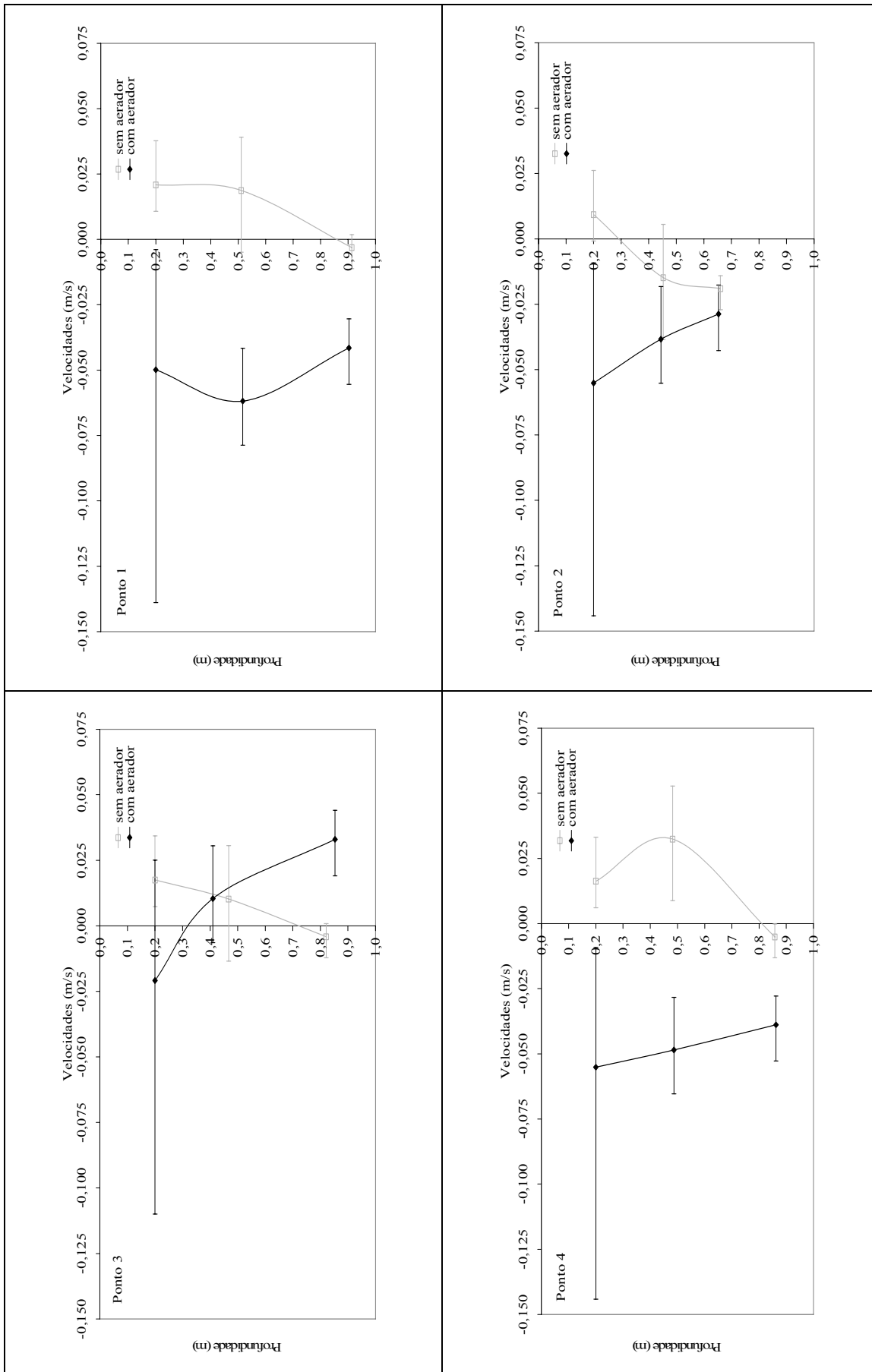


Figura 32: Comparação de perfis de velocidades de correntes com e sem o funcionamento dos aeradores em quatro pontos no V04.

Para a situação “sem aerador”, observam-se perfis típicos de velocidades influenciados por vento, com a direção na superfície coincidindo e, no fundo em oposição, à direção do vento. As maiores magnitudes foram identificadas nos pontos P1 (lado Norte) e P4 (lado Oeste) relacionadas às maiores pistas disponíveis e localizadas a sotavento. Já para a situação “com aerador”, nos pontos P1, P2 (centro) e P4 as correntes seguem a direção dos jatos em toda a coluna d’água. No ponto P3 (lado Leste), ponto situado fora da influência dos jatos verifica-se uma inversão das correntes em profundidade que pode está relacionada possivelmente a uma recirculação dos jatos na retaguarda dos aeradores. O perfil de velocidades, durante o funcionamento dos aeradores, é aproximadamente logarítmico como se pode ver na Figura 33. KANG *et al.* (2004) e PETERSON *et al.* (2000) também observaram esse perfil em estudos realizados para viveiros retangulares com múltiplos aeradores. Os perfis logarítmicos estariam relacionados à distância dos aeradores aos pontos onde se realizam as medições. No caso dos viveiros estudados, o melhor ajuste entre os dados medidos e o perfil teórico foi observado quando os aeradores estavam mais distantes e as maiores velocidades também foram identificadas nessa situação.

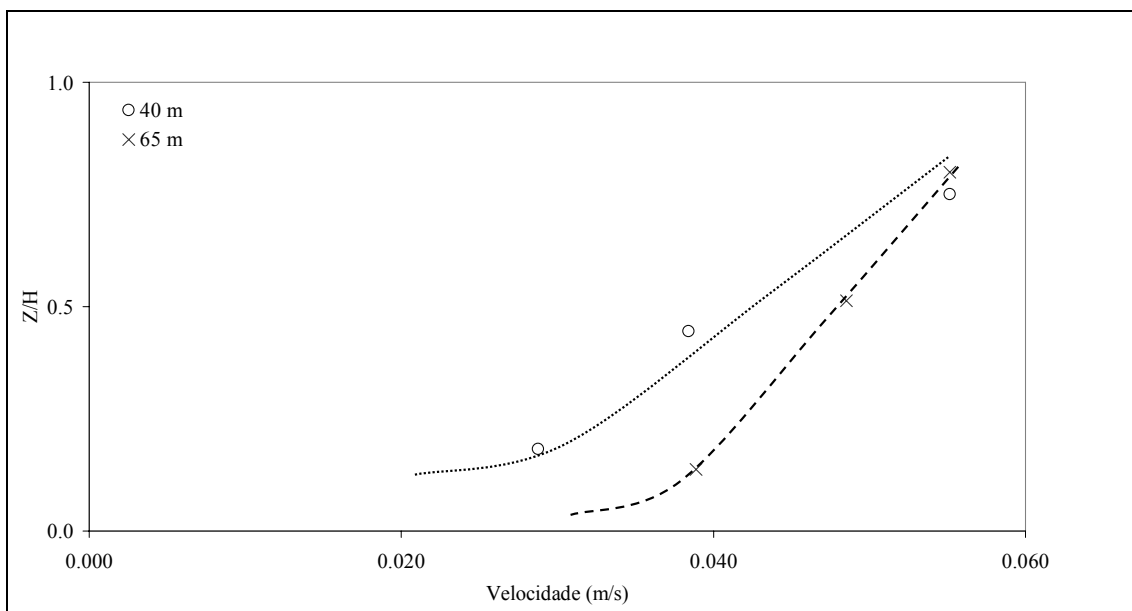


Figura 33: Perfil de velocidade logarítmico para diferentes distâncias do aerador. (40 m em P2 - centro e 65 m em P4 – lado Oeste).

IV.ii.b. Ondas superficiais

A Figura 34 e Figura 35 mostram o espectro de energia de níveis, para dias específicos e diferentes horários (13 e 17/05/07) usados como exemplo para o V05 e V04, respectivamente. Na apresentação dos resultados de ondas foram considerados os mesmos períodos utilizados na caracterização da hidrodinâmica, desconsiderando apenas o período relativo ao funcionamento dos aeradores. Por se tratar de um ambiente fechado e consideráveis extensões de pistas na superfície livre dos viveiros, o vento é o principal agente gerador de ondas curtas dentro dos viveiros.

Observa-se que as características das ondas são regulares tanto no que se refere aos diferentes horários quanto aos diferentes dias e viveiros analisados. Os períodos típicos identificados variam de 2.22 a 2.38 segundos para o V05 (Figura 34) e de 2.56 a 2.63 segundos para o V04 (Figura 35).

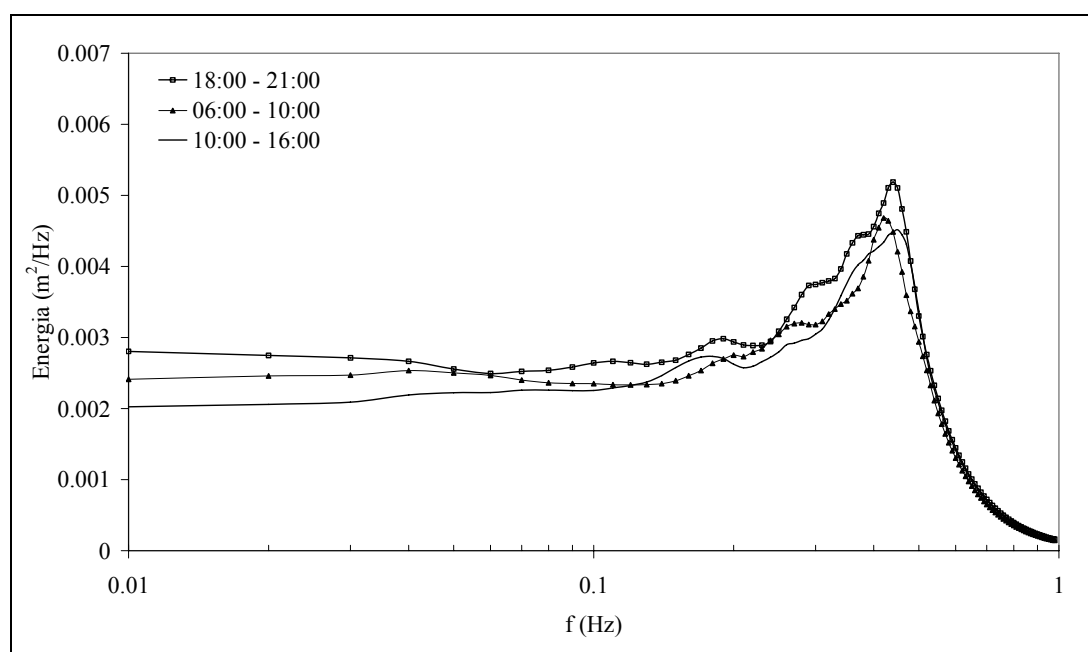


Figura 34: Espectro de energia médio de níveis para os três intervalos considerados no V05.

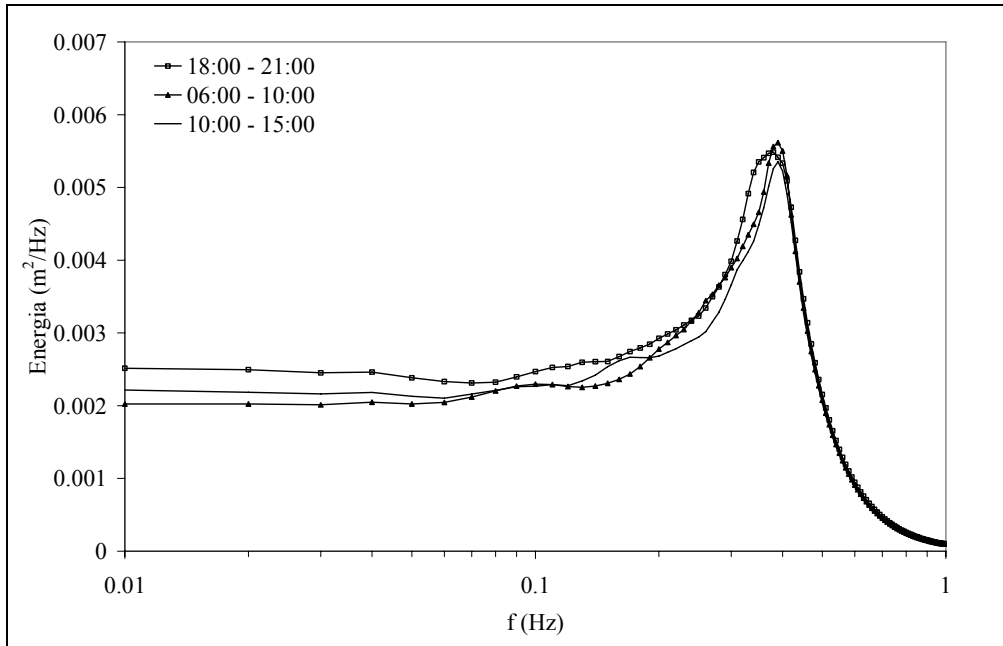


Figura 35: Espectro de energia médio de níveis para os três intervalos considerados no V04.

Em se tratando de alturas significativas das ondas (H_s), observa-se um comportamento homogêneo para o V05 (com variações de 17.0 e 18.0 cm) enquanto que no V04, as alturas significativas variaram de 15.0 a 18.0 cm (Figura 36). Os valores identificados para o período e altura significativa das ondas nos viveiros 04 e 05 foram constatados em campo. Também, CUNHA (2006) durante visitas de campo em diversas fazendas no Rio Grande do Norte, constatou que em viveiros com aproximadamente 1.0 metro de profundidade, as ondas tinham períodos entre 1 e 2 segundos e alturas entre 5 e 20 centímetros.

O comprimento de onda (L) é calculado para águas rasas e intermediárias (DEAN e DALRYMPLE, 1984) por:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

L – comprimento de onda (m);

T – período de onda (s);

A relação entre a profundidade local (h) e o comprimento da onda (L) define se o problema se passa em águas rasas ou intermediárias (DEAN e DALRYMPLE, 1984). Se $\frac{h}{L} < \frac{1}{20}$, o problema se passa em águas rasas. Se $\frac{1}{20} < \frac{h}{L} < \frac{1}{2}$, se passa em águas intermediárias. Para uma onda com altura significativa (H_s) de 0.2 m e período de 2.0 segundos se propagando num viveiro com profundidade local (h) de 1.0 metro, o comprimento de onda (L) é de 5.2 metros. A relação entre a profundidade local e o comprimento de onda é de 0.19, indicando que o problema se passa em águas intermediárias.

Durante o trabalho de campo, não foram observadas reflexões múltiplas na margem, possivelmente devido ao amortecimento deste efeito nos taludes devido à presença de enrocamento. No que se refere à possibilidade da existência de ondas com períodos mais longos (seiches), não foram registrados devido a sua pequena amplitude. Considerando as características geométricas dos viveiros estudados e segundo Eq. 1 (pág. 14) foram obtidos seiches unimodais de 90 s e 50 s para os viveiros 05 e 04, respectivamente.

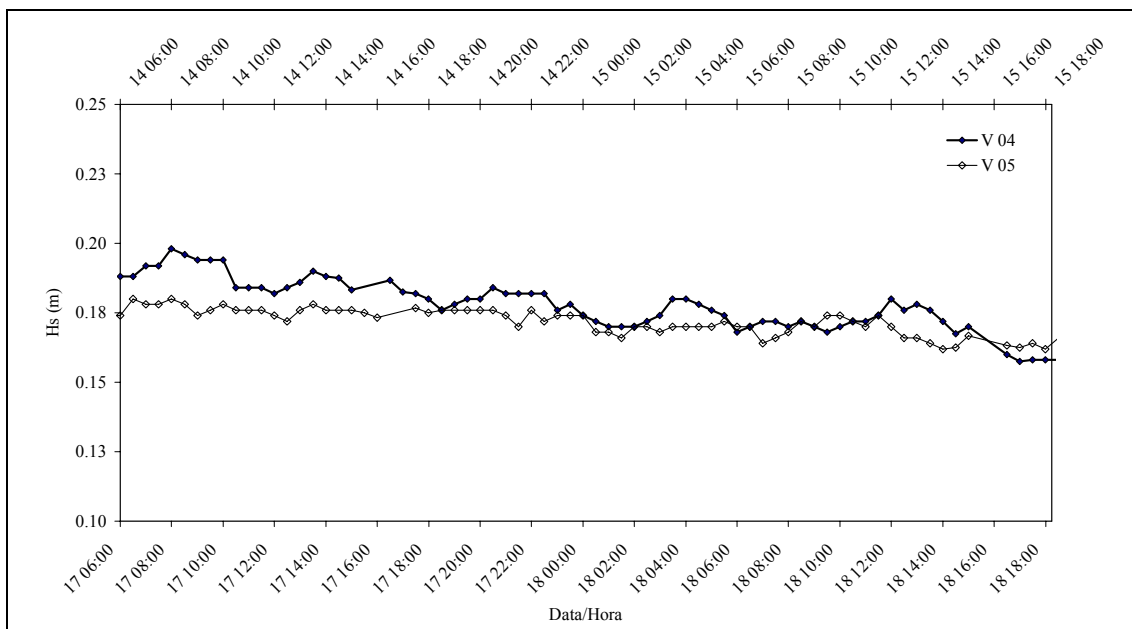


Figura 36: Altura significativa das ondas para os viveiros 04 e 05 (registradas pela GF).

IV.ii.c. Tensão Cisalhante no Fundo

Correntes e ondas agindo no fundo dos viveiros, geram tensões que governam os processos de erosão e sedimentação. A ressuspensão de sedimentos acontece quando estas tensões ultrapassam valores críticos (Tabela 1), considerados como limite para mobilização de cada tipo de material. A determinação das tensões geradas pelo escoamento e sua comparação com as tensões críticas permitiriam avaliar quando se deflagram erosão e sedimentação e a contribuição de cada agente nos processos.

A estimativa de tensões cisalhantes através da medição de velocidades *in situ* em ambientes de águas rasas refere-se, na literatura, a estudos realizados em planícies de marés lamosas (ANDERSEN *et al.*, 2007). Nesses casos, as tensões advindas das correntes (de maré) dominam àquelas por ondas e a profundidade local é superior a 1.0 metro (KIM *et al.*, 2000; HUTHNANCE *et al.*, 2002; POPE *et al.*, 2006; VERNEY *et al.*, 2006). Em relação à aplicabilidade do ADV nesses ambientes, os estudos disponíveis têm apresentado resultados satisfatórios.

O viveiro de camarão se configura num ambiente raso, com profundidades médias inferiores a 1.0 m onde se observa como já foi mostrada, a atuação de correntes geradas tanto pelos aeradores quanto pelos ventos. Aliado a isso, o comportamento bentônico dos camarões é mais um limitante a ser considerado já que os organismos podem causar bioturbação e alteração da rugosidade do fundo. Dessa forma, a estimativa das tensões que atuam no fundo de viveiros de camarões é bastante complexa e deve levar em consideração a influência de todos esses aspectos.

Antes de se proceder ao cálculo para estimar tensões algumas considerações conceituais devem ser explicitadas. Na Figura 37, são mostrados os dois perfis teóricos de velocidades, para correntes e ondas. Observa-se que, num escoamento com atuação de ondas e correntes, as ondas dominam a turbulência próxima ao fundo e as correntes dominam no restante da coluna d'água. Diante disso, o ponto em que o equipamento será instalado é de extrema importância e determina qual efeito será captado. As medições de velocidades com o ADV, para o cálculo das tensões foram realizadas a 15 cm do fundo. Segundo NEZU e NAKAGAWA (1993), o perfil de velocidade da corrente pode ser dividido em três regiões: região onde o escoamento sofre o efeito da

rugosidade do fundo (*wall region*) que se estende nos primeiros 15% da coluna d'água, uma região intermediária e uma região correspondente à superfície livre, onde a hipótese de um perfil logarítmico de velocidades é válido. A camada turbulenta devido à onda pode ser determinada através da expressão (FREDSOE, 1984 *apud* VAN RIJN, 1993):

$$\frac{\delta_w}{A_{bm}} = 0.15 \left(\frac{A_{bm}}{k_s} \right)^{-0.25} \quad \text{Eq. 3}$$

Para o caso estudado (um viveiro de 1.0 metro de profundidade) e para os valores obtidos de velocidades de correntes e parâmetros de onda (Tabela 4), foram obtidos valores de 15 cm e 2.4 mm para as espessuras das camadas turbulentas de corrente e onda, respectivamente. Portanto, pode-se afirmar que o cálculo da tensão está sendo realizado fora da camada turbulenta da onda e aproximadamente no limite da camada turbulenta devido a correntes. Também tem que se considerar o efeito da rugosidade no fundo que, afeta a distribuição de velocidades próximas ao fundo e conseqüentemente, a estimativa das tensões aí atuantes (VAN RIJN, 1993). Em relação à classificação do escoamento em função da rugosidade do fundo, deve-se utilizar um parâmetro adimensional chamado de número de Reynolds do grão (Re_r), definido por:

$$Re_r = \frac{k_s u_{b*}}{\nu} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

u_{b*} - velocidade de atrito no fundo definida como $u_{b*} = \sqrt{\tau_{wm} / \rho}$;

ν - coeficiente de viscosidade cinemática (para a água $\nu = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$);

k_s (m) – Rugosidade hidráulica ($3d_{90}$);

d_{90} – diâmetro correspondente a 90% do material que fica retido na peneira;

Neste caso, o escoamento foi classificado como turbulento de fundo rugoso, com a influência da onda e intermediário (entre liso e rugoso) considerando as correntes. Portanto, o escoamento foi considerado como rugoso e a formulação apresentada para estimar tensões refere-se a escoamento turbulento de fundo rugoso.

Tabela 4: Parâmetros típicos das forçantes nos viveiros estudados.

T (s)	2.0
H_s (m)	0.20
$V_{Aerador}$ (m/s)	0.20
V_{Vento} (m/s)	0.07

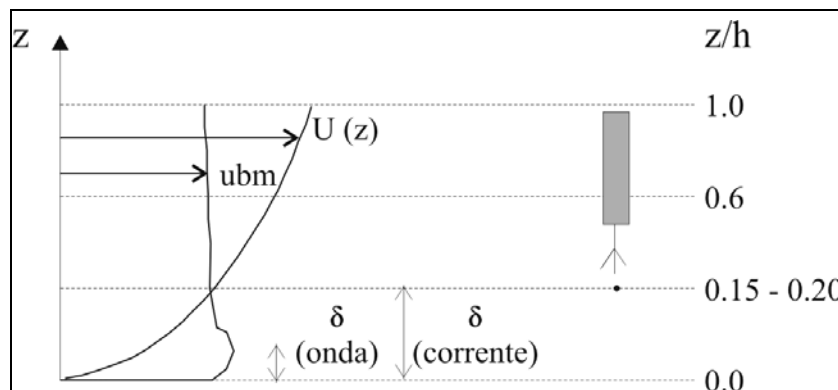


Figura 37: Esquema teórico dos perfis de velocidades $U(z)$ devido à corrente e u_{bm} devido à onda. São mostradas as duas camadas turbulentas e a profundidade de medição com o ADV. Modificado de NEZU e NAKAGAWA, 1993 e VAN RIJN, 1993.

Neste trabalho, as tensões cisalhantes agindo sobre o fundo de viveiros de camarões foram estimadas a partir de dados de velocidades no fundo. Foram empregados métodos estatísticos para o cálculo das tensões diretamente a partir dos dados de velocidades *in situ* e formulações paramétricas para os cálculos das tensões devidas a correntes e ondas separadamente.

Métodos Estatísticos

Foram utilizados métodos estatísticos de 1º momento (baseados em velocidades médias) ou de 2º momento (baseados em flutuações turbulentas de velocidades). O método estatístico de 1º momento baseia-se na hipótese de um perfil de velocidade logarítmico (método LP), enquanto os métodos do 2º momento (método Re e TKE) assumem um perfil de tensão que apresenta tensões constantes próximo do fundo (ANDERSEN *et al.*, 2007).

O método do perfil logarítmico (LP) assume um perfil de velocidade logarítmico expresso pela equação de *von Karman* e fluxo turbulento. Neste método, as tensões são determinadas a partir de valores médios do módulo de velocidade horizontal no

intervalo de cálculo. A complexidade envolvida neste método compreende em estimar o parâmetro de rugosidade do fundo, que é um parâmetro experimental e dependente do tipo de sedimento estudado. Além disso, a presença de camarões habitando o fundo do viveiro ocasiona também alterações nessa rugosidade. Também, o conhecimento prévio da altura de medição também é necessário e se configura em mais uma complicação devido a alterações causadas por períodos de erosão e deposição (POPE *et al.*, 2006).

A tensão cisalhante é estimada a partir da expressão abaixo:

$$\tau_{LP} = \rho \frac{U^2(z)}{\frac{1}{\kappa^2} \log^2 \left(\frac{z}{z_0} \right)} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

$U(z)$ – velocidade média da corrente a determinada profundidade (z) acima do leito;

κ – constante de *von Karman* (~ 0.4);

z – profundidade de medição (~ 15 cm);

z_0 – altura da rugosidade do fundo ($k_s/30$);

ρ - massa específica do fluido (1025 kg/m^3);

Aqui, por se tratar de um ambiente com a presença de ondas, empregou-se uma modificação do método LP (VERNEY *et al.*, 2006), que substitui a velocidade média pela velocidade máxima no intervalo de cálculo (LP_{\max}). A intenção estaria relacionada à necessidade de captar o efeito das ondas através das suas velocidades orbitais.

Segundo DYER (1986), o cálculo das tensões de *Reynolds* (Re) seria a forma mais indicada para estimar tensões em fluxos turbulentos. As tensões de *Reynolds* são estimadas a partir da equação abaixo:

$$\tau = -\rho \left(\overline{u'w'} + \overline{v'w'} \right) \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

u' - flutuação turbulenta da velocidade Leste-Oeste

v' - flutuação turbulenta da velocidade Norte-Sul

w' - flutuação turbulenta da velocidade vertical

DYER (1986) chama a atenção quanto à possibilidade de desalinhamento do equipamento durante medições em campo e assim, a presença de fluxos secundários, o que afetaria a precisão dos resultados. Esse efeito, neste estudo, não traria conseqüências para o cálculo, pois as medições de velocidade foram feitas com o suporte do equipamento fixo ao fundo. HUTHNENCE *et al.* (2002), elucida o fato de as tensões obtidas a partir deste método serem sensivelmente dependentes das medições das flutuações das velocidades verticais das ondas. Como observado na Figura 5, esse efeito seria minimizado com medições de velocidades próximo ao fundo.

No método da Energia Cinética Turbulenta (TKE), a tensão cisalhante no fundo é proporcional à energia cinética turbulenta K e é expressa pela equação abaixo:

$$K = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})$$
$$\tau_{TKE} = \rho C_{TKE} K$$

Eq. 7

Onde:

C_{TKE} – Constante de proporcionalidade: 0,19 a 0,21 (VERNEY *et al.*, 2006);

Este método permite a inclusão do efeito das ondas, uma vez que as flutuações das velocidades são amplificadas pelas velocidades orbitais.

As tensões estimadas nas posições das gaiolas fixas são apresentadas na Figura 38 e Figura 39 para os viveiros 05 e 04 respectivamente. Neste estudo, as tensões cisalhantes foram estimadas empregando um intervalo de cálculo de um minuto, para a determinação tanto dos valores médios quanto das flutuações de velocidades. Analisando as figuras, verifica-se que as tensões calculadas através dos três métodos têm comportamento semelhante para os dois viveiros. Apesar dessa semelhança, os métodos baseados em medições de turbulência (Re e TKE) apresentam valores de tensões superiores àquele baseado em valores médios de corrente (LP_{max}). No horário

em que os aeradores estão funcionando, observa-se a presença de correntes constantes no tempo e perfil de velocidades logarítmico. Portanto, era de se esperar que os resultados obtidos pelo método LP se aproximassem dos resultados estimados pelos outros dois métodos. As tensões neste período são da ordem de 0.10 N/m^2 , correspondente à tensão crítica da ressuspensão para a areia fina (Tabela 1), segundo PETERSON (1999 a,b). No V05 (Figura 38) a correlação entre as tensões estimadas nos três métodos não é tão boa quanto às tensões calculadas para o V04 (Figura 39). Isso se deve provavelmente à influência de possíveis interferências que possam existir entre os jatos dos aeradores instalados no viveiro 05. No período em que os ventos e ondas superficiais são mais atuantes, as tensões máximas acontecem entre 12h00 e 15h00 e tem intensidade de 0.01 N/m^2 , uma ordem de magnitude menor do que as encontradas durante a madrugada (com o funcionamento dos aeradores). Essa tensão seria responsável por manter, conforme a Tabela 1, a matéria orgânica em suspensão e corresponde também, à tensão crítica mínima necessária para ressuspender partículas de argila. As tensões estimadas através dos métodos baseados na turbulência são coincidentes enquanto que o método LP_{\max} subestima os valores de tensão (ainda que se considere a velocidade máxima no cálculo).

Métodos paramétricos

As tensões de fundo calculadas através de métodos estatísticos não consideram as influências das ondas e correntes separadamente. No intuito de tentar separar as contribuições dessas forçantes, foram estimadas as tensões que agem no fundo dos viveiros através de formulações paramétricas descritas na literatura para cada efeito separadamente.

Em se tratando de águas intermediárias e rasas, o movimento oscilatório das partículas gerado pelas ondas superficiais induz uma tensão de cisalhamento no fundo expressa por (CHL, 2002):

$$\tau_{wm} = f_w \rho \frac{u_{bm}^2}{2} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

f_w - fator de atrito de onda;

u_{bm} - máxima componente horizontal da velocidade orbital induzida pela onda;

O fator de atrito é parametrizado a partir das máximas componentes horizontais do deslocamento e da velocidade orbital da partícula, definidos através das expressões (DEAN e DALRYMPLE, 1984):

$$A_{bm} = \frac{H}{2 \sinh(kh)} \quad \text{Eq. 9}$$

$$u_{bm} = A_{bm} \cdot \sigma \quad \text{Eq. 10}$$

Onde

A_{bm} - máxima componente horizontal de deslocamento da partícula induzida pela onda;

k - número de onda, definido como $\frac{2\pi}{L}$;

σ - frequência da onda, definido como $\frac{2\pi}{T}$;

O fator de atrito da onda para um escoamento turbulento e rugoso pode ser obtido através da expressão (CHL, 2002):

$$\frac{1}{4\sqrt{f_w}} + \log_{10}\left(\frac{1}{4\sqrt{f_w}}\right) = \log_{10}\left(\frac{A_{bm}}{k_s}\right) - 0,17 + 0,24(4\sqrt{f_w}) \quad \text{Eq. 11}$$

A tensão no fundo devido às correntes promediada no tempo é dada por (VAN RIJN, 1993):

$$\tau = \rho g \frac{U^2}{C^2} \quad \text{Eq. 12}$$

Onde:

U - módulo das velocidades médias das correntes horizontais (m/s);

C – coeficiente de atrito de Chézy, calculado pela expressão: $C = 18 \log_{10} \left(\frac{6h}{k_s} \right)$;

As tensões paramétricas foram calculadas empregando os dados mostrados na Tabela 4. As contribuições por correntes foram estimadas considerando separadamente as velocidades das correntes geradas pelos aeradores e pelos ventos. As parcelas para cada forçante estão mostradas na Tabela 5. Observa-se que a contribuição das tensões referente às correntes dos aeradores é da mesma ordem de magnitude daquelas identificadas pelos métodos estatísticos ($\sim 0.1 \text{ N/m}^2$). Nos períodos em que o aerador não funciona, as tensões no fundo teriam influência de vento e ondas superficiais. Nesses períodos, a tensão calculada pela contribuição dos ventos ($\sim 0.008 \text{ N/m}^2$) é da mesma ordem daquelas calculadas através do método LP_{\max} . Portanto, a diferença entre os valores de tensões estimados pelos métodos turbulentos (Re e TKE) e o LP_{\max} , seria então correspondente às contribuições das ondas nas tensões. Essa diferença entre os valores de tensões é menor ao valor estimado pelo método paramétrico (0.25 N/m^2). Este valor é superior inclusive à contribuição dos aeradores nas tensões e não foi registrado pelo ADV. Isso se deve talvez a profundidade em que a medição de velocidade foi realizada, e como mostrado fora da camada de contorno da onda.

Tabela 5: Contribuições das ondas e correntes nas tensões de fundo.

$\tau_{Onda} \text{ (N/m}^2\text{)}$	0.250
$\tau_{Aerador} \text{ (N/m}^2\text{)}$	0.070
$\tau_{Vento} \text{ (N/m}^2\text{)}$	0.008

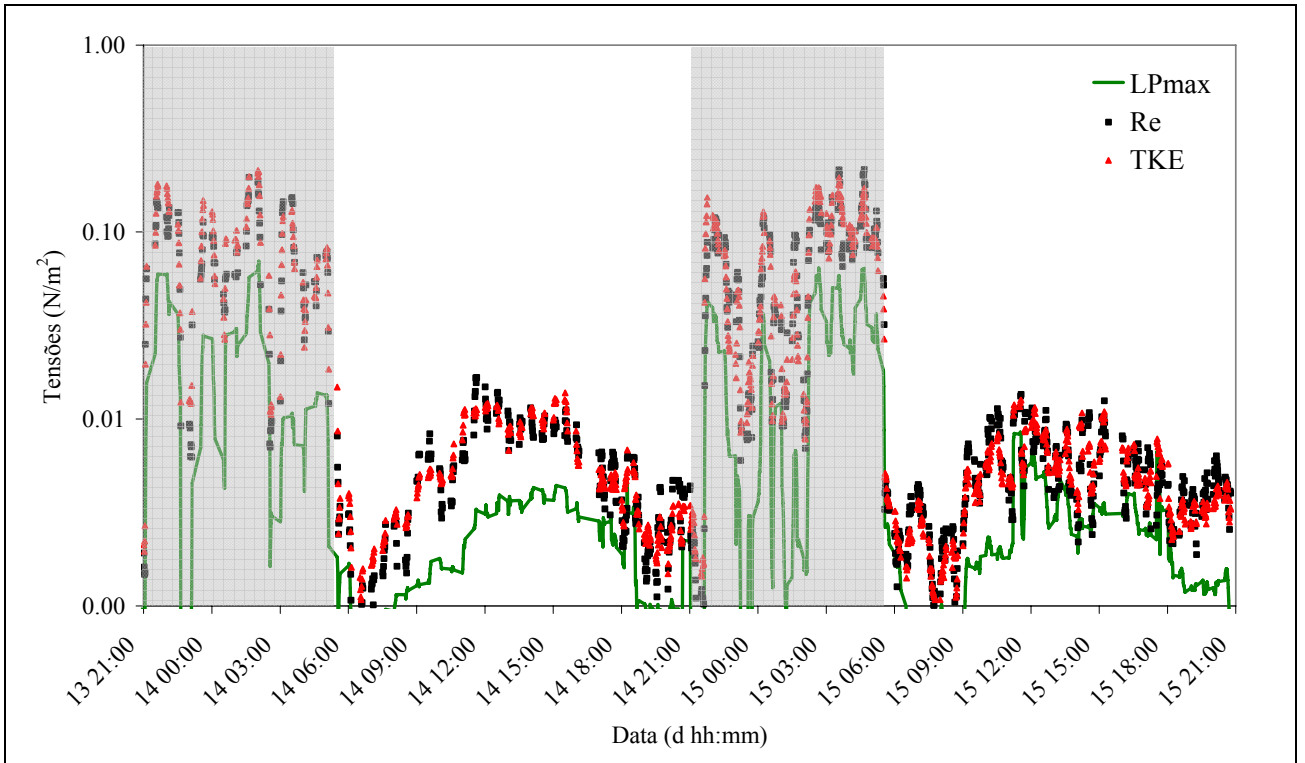


Figura 38: V05: Tensões no fundo estimadas a partir dos métodos estatísticos (intervalos de 1 minuto).

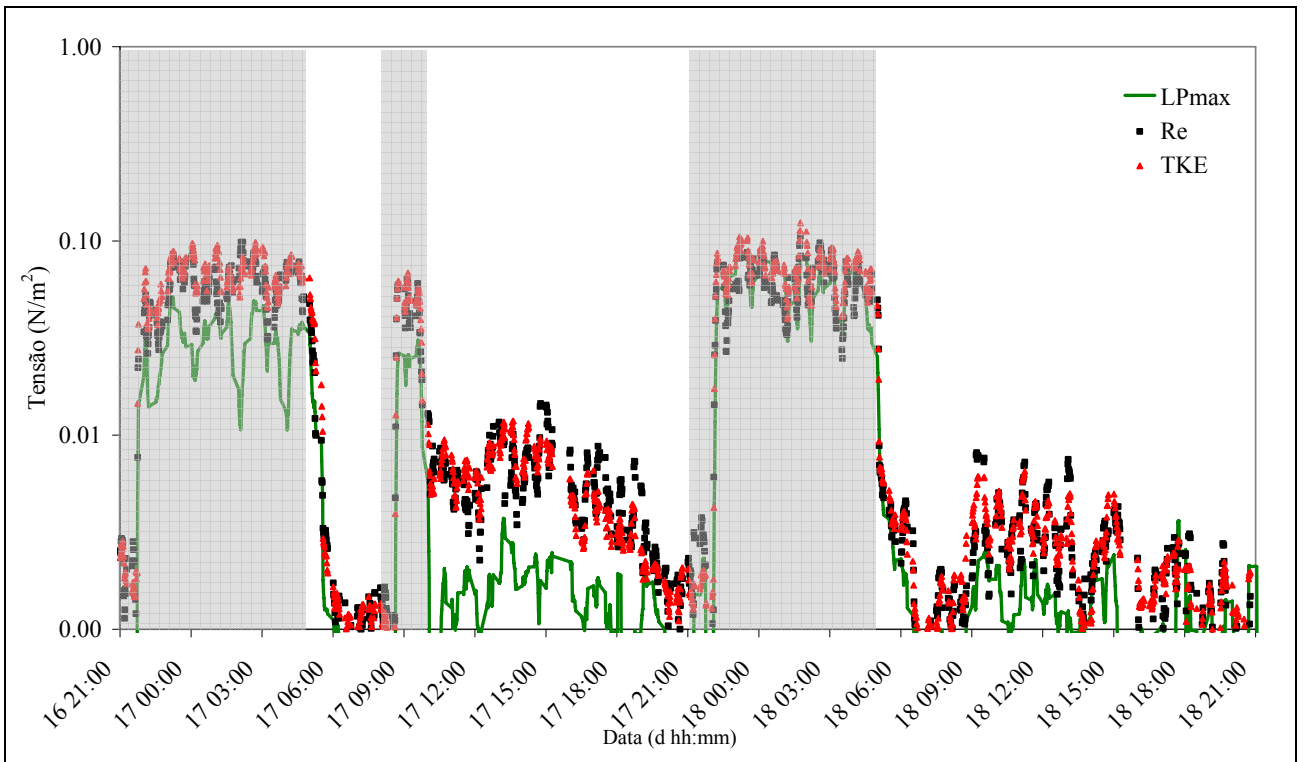


Figura 39: V04: Tensões no fundo estimadas a partir dos métodos estatísticos (intervalos de 1 minuto).

V. RESULTADOS: CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA

V.i. Granulometria e Matéria Orgânica

A análise das curvas granulométricas dos viveiros 04 (Figura 41) e 05 (Figura 40) mostra que o material de fundo é composto basicamente de finos, sendo o material mais grosso representado pela areia fina. O d_{50} médio das partículas do viveiro 05 é 13 μm enquanto que no viveiro 04 é 16 μm , diâmetro correspondente a silte em ambos os casos. PETERSON (2000) em seus estudos em viveiros na Austrália, encontrou valores para o d_{50} da ordem de 10 μm e d_{90} da ordem de 100 μm , valores muito semelhantes aos encontrados neste trabalho. A Tabela 6 mostra as quantidades médias percentuais de silte, argila, areia e matéria orgânica para os viveiros estudados.

Tabela 6: Percentuais médios de Areia, Argila, Silte e Matéria Orgânica nos viveiros.

Viveiro	V04	V05
Areia (%)	18	13
Silte (%)	65	79
Argila (%)	14	04
Matéria Orgânica (%)	03	04

No capítulo anterior, foi discutido como a circulação hidrodinâmica governa os processos de erosão e deposição dos sedimentos. Os pontos preferenciais de deposição dos sedimentos seriam a sotavento, lado Sul e Leste do viveiro, e as regiões com menores velocidades. Vale a pena lembrar que as velocidades diminuem do talude Oeste para o talude Leste, em função da disposição dos aeradores. Também se pode esperar uma distribuição diferente de tamanhos, em parte em função da hidrodinâmica.

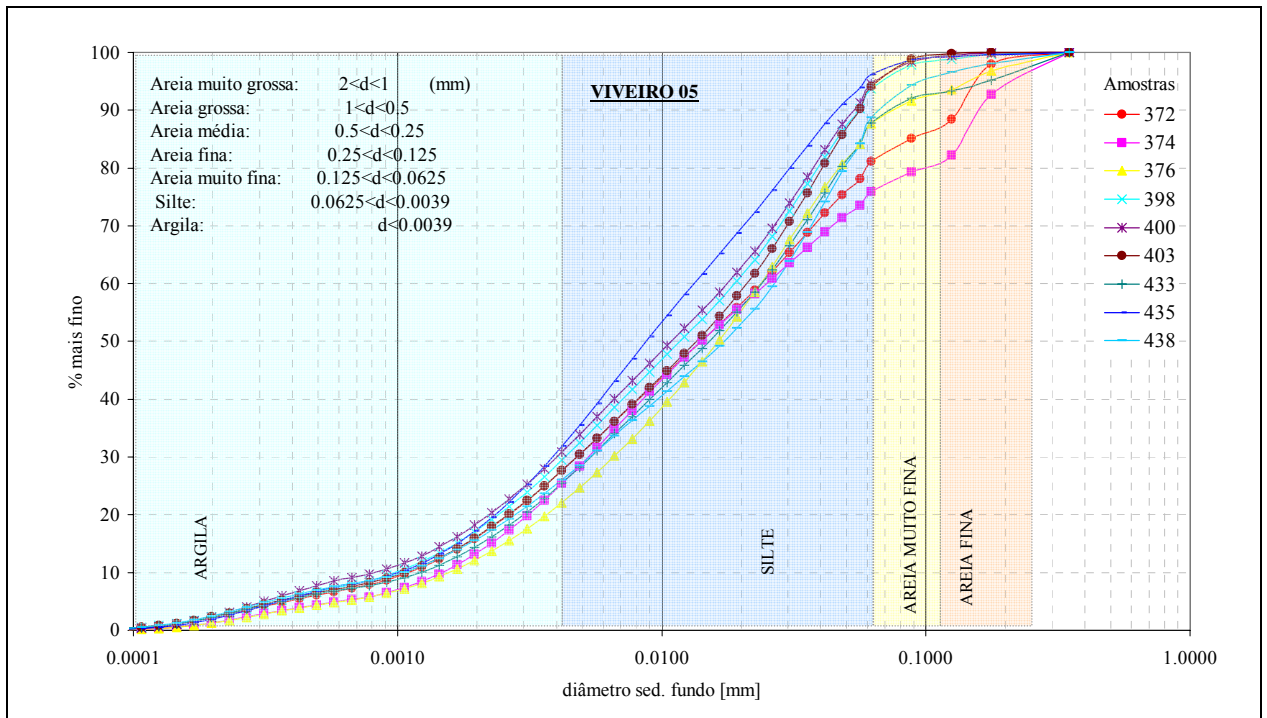


Figura 40: Curva granulométrica das amostras analisadas do V05.

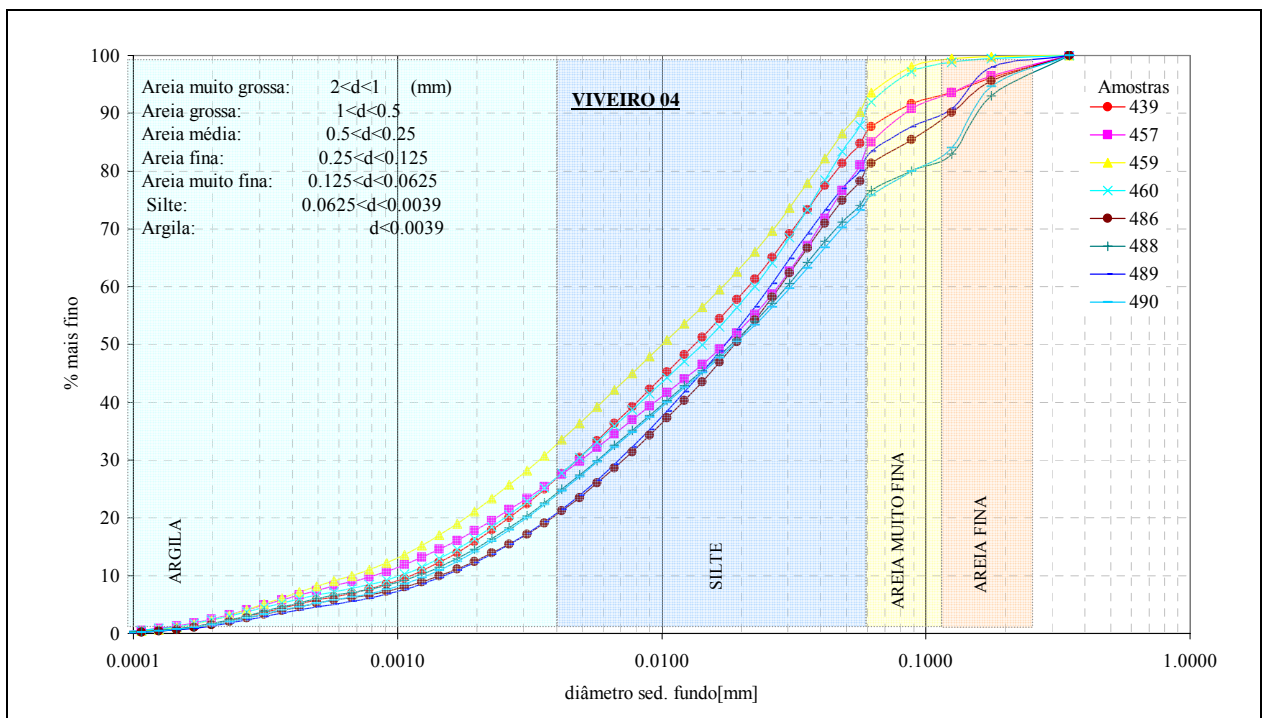


Figura 41: Curva granulométrica das amostras analisadas do V04.

Conforme observado na Figura 42 e Figura 43, o teor de finos está condicionado às correntes geradas pelos aeradores e vento, à comporta de abastecimento e ao tempo de cultivo. Quanto ao percentual de finos no V05, verifica-se o maior conteúdo no lado

Sul (Figura 42), caracterizando este setor como uma região propícia à deposição (como já foi assinalado). Isso se deve provavelmente ao número reduzido de aeradores ao Sul, sua localização a barlavento e a proximidade da comporta de abastecimento (ponto susceptível a entrada de sedimentos em suspensão no ato do abastecimento). No V04, os finos estariam localizados no lado Leste, a barlavento e no lado oposto aos jatos dos aeradores, ver Figura 43. O percentual de finos é inferior ao que se vê no outro viveiro, já que se trata de um cultivo em estágio menos avançado e recentemente povoado.

Antes de ser povoado, o solo dos viveiros passa por um tratamento para oxidação e decomposição da matéria orgânica. O teor de finos disponíveis nos viveiros apresenta relação direta com o teor de matéria orgânica (Figura 44 e Figura 45). A quantidade de matéria orgânica mostrou-se também, função do tempo de cultivo. Era de se esperar, então que o V05 apresentasse teores de matéria orgânica superiores ao V04, já que este se trata de um viveiro recém-povoado.

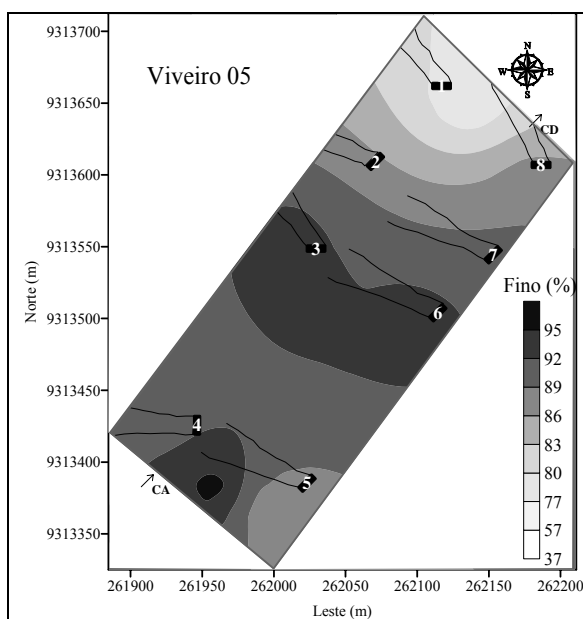


Figura 42: Distribuição espacial de finos no V05. As linhas representam à área de influência dos jatos dos aeradores.

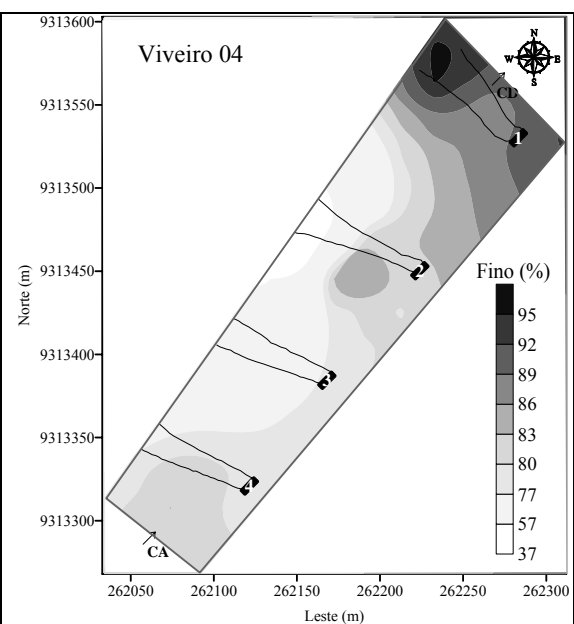


Figura 43: Distribuição espacial de finos no V04. As linhas representam a área de influência dos jatos dos aeradores.

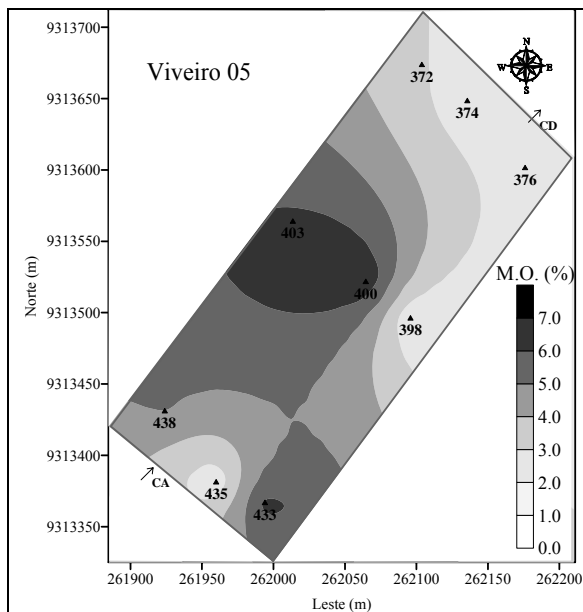


Figura 44: Distribuição espacial da MO no V05 e localização das amostras de fundo.

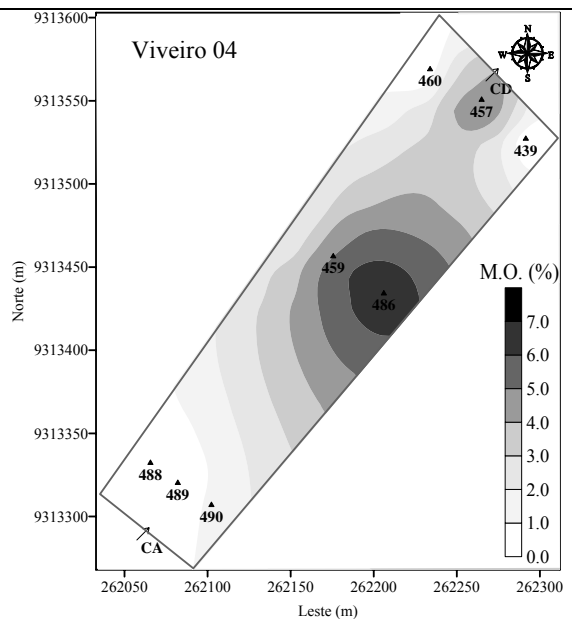


Figura 45: Distribuição espacial da MO no V04 e localização das amostras de fundo.

V.ii. Caracterização da Ressuspensão de Sedimentos

Para a caracterização da movimentação dos sedimentos, avaliou-se a evolução do nível do fundo e estimaram-se as concentrações de sedimentos em suspensão a partir do retroespalhamento do sinal acústico do ADV. Esses parâmetros foram relacionados com as principais forçantes hidrodinâmicas e com as tensões calculadas, com a finalidade de melhor entender as causas e quantificar a ressuspensão de sedimentos em viveiros de camarão.

V.ii.a. Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS)

O estudo da concentração de sedimentos em suspensão foi realizado a partir de coleta de amostras pontuais (15, 40 e 80 cm da superfície) juntamente com o monitoramento contínuo através do sinal acústico do ADV. O ADV detecta as reflexões do sinal acústico pelo material particulado em suspensão e pode ser usado, de forma indireta, na obtenção de informações acerca da quantidade de material particulado presente na água (FUGATE e FRIEDRICH, 2002). Essas informações são medidas na forma da intensidade das reflexões do material em suspensão, também chamado de retroespalhamento ou SNR (*Signal Noise Ratio*) (NORTEK, 2001).

Outros alvos presentes na água, como por exemplo, peixes, plânctons e bolhas de ar correspondem a fontes potenciais de erros na estimativa da concentração de sedimentos em suspensão a partir do ADV. Segundo LIBICKI *et al.*(1989), as bolhas de ar seriam muito mais eficientes no retroespalhamento do sinal que os sedimentos com tamanho equivalente. Durante o funcionamento dos aeradores é esperada a formação de bolhas, pois estas máquinas geram respingos de partículas de água na direção vertical (Figura 6).

Objetivando não superestimar as concentrações devido à presença de bolhas, nos períodos onde se tem o funcionamento dos aeradores, foi implementada uma metodologia para sua eliminação. Essa eliminação foi feita a partir de uma correção no retroespalhamento (SNR) com base no sinal de amplitude. O sinal de amplitude do ADV é uma medida da qualidade dos dados fornecidos pelo equipamento (MASALÓ *et al.*, 2008). A magnitude da amplitude difere em função do meio em que o equipamento se encontra, por exemplo, ar ou água. Assim, uma alteração do sinal quando o equipamento se encontra dentro do mesmo meio, pode ser interpretada como uma interferência, por exemplo, de bolhas. Os valores médios identificados para as amplitudes foram aproximadamente de 100 unidades (*Counts*) e todos os valores 20 % maiores que o valor médio foram eliminados, já que os mesmos estariam relacionados à presença de bolhas no sinal (Figura 46). Para o preenchimento dos dados eliminados foi feita uma média móvel de duas horas de duração.

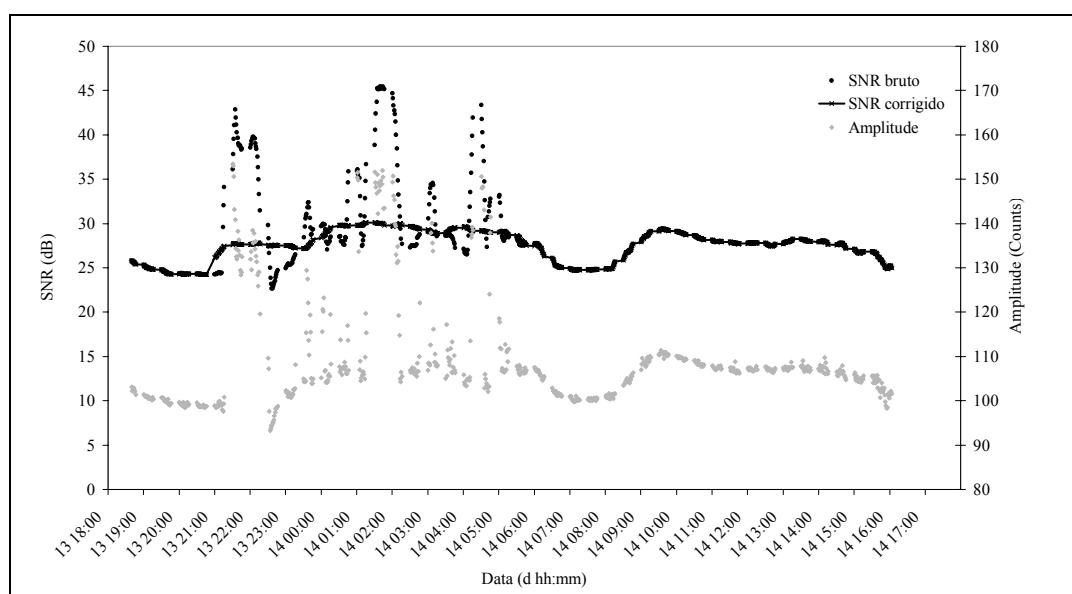


Figura 46: Exemplo da influência das bolhas no sinal de amplitude e retroespalhamento obtido pelo ADV.

O sinal corrigido do SNR foi convertido para a CSS em mg/l através das relações com as concentrações obtidas das amostras pontuais, gerando assim uma curva de calibração. Quinze amostras foram ensaiadas para os dois viveiros, mas somente nove destas foram utilizadas para a calibração. As amostras utilizadas corresponderiam àquelas coletadas em pontos próximos ao ADV (GF). A relação apresenta um coeficiente de correlação de 80 % (Figura 47), considerado de boa qualidade por se tratar de um ajuste entre dados obtidos em campo. É válido destacar que não foram coletadas amostras durante o funcionamento dos aeradores.

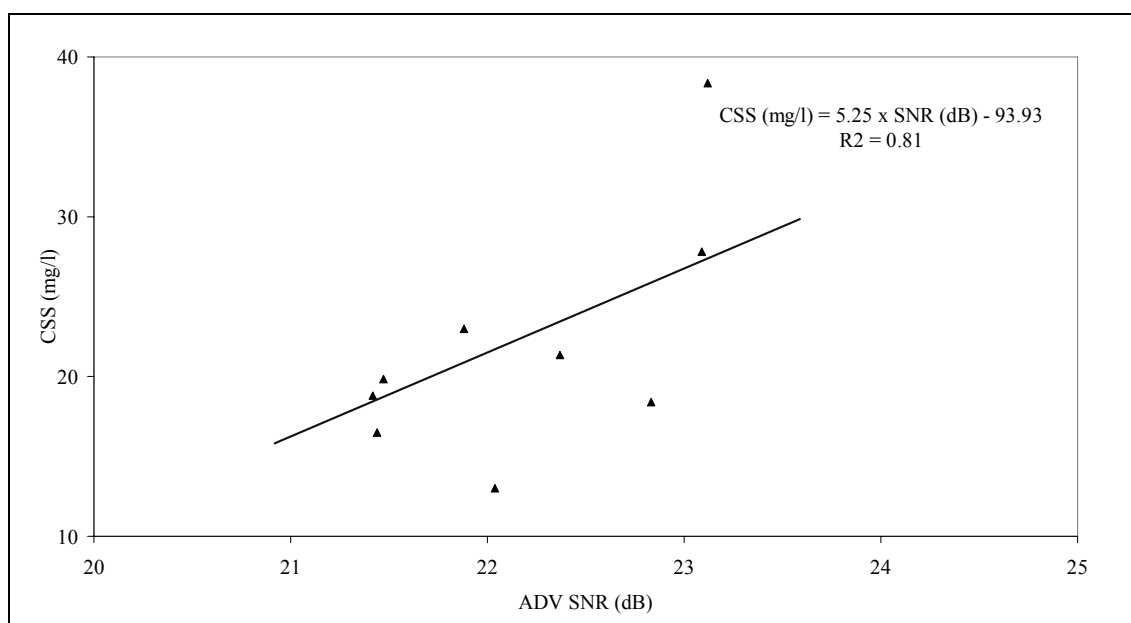


Figura 47: Curva de calibração para a conversão do SNR do ADV.

Os resultados de CSS das amostras coletadas foram graficados junto com as séries temporais de concentrações nos dois viveiros obtidas após a calibração, conforme mostrado na Figura 48 e Figura 49. Observa-se, nestas figuras, que as amostras no V04 se ajustaram melhor à estimativa da CSS que no V05.

O padrão observado em ambos os viveiros para a dinâmica da CSS deve levar em conta, dentre outras coisas, a relação de distância existente entre os ADV's e os aeradores, bem como sua localização frente a área de influência dos jatos e as comportas. O talude corresponde a um ponto crítico dentro do viveiro, já que se trata de um local continuamente exposto às correntes (geradas por aeradores e ventos) e susceptível a sofrer processos erosivos, configurando-se assim em uma potencial fonte

de material excedente para a coluna d'água. HALIDE *et al.* (2003) apresentam medições de CSS (com OBS – *Optical Backscattering Sensor*) nas comportas de abastecimento e drenagem de viveiros retangulares na Indonésia. Em média os valores de CSS atingem 150 mg/l na comporta de abastecimento e 30 mg/l na comporta de drenagem.

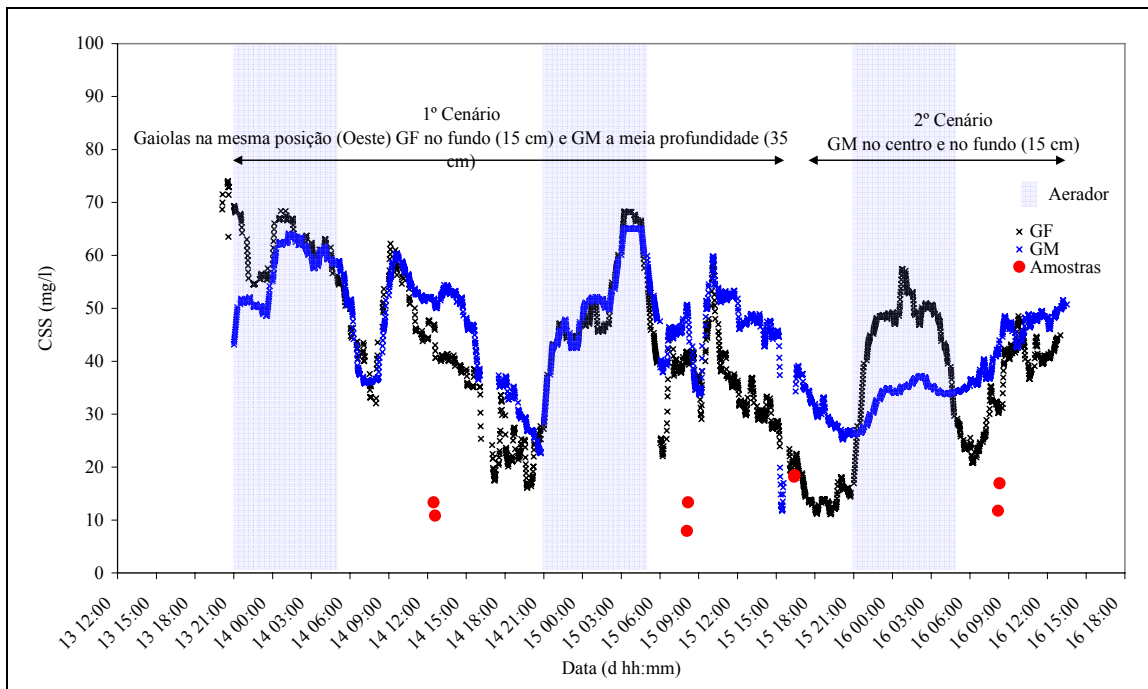


Figura 48: V05: Série temporal de CSS para as gaiolas fixa e móvel. Com pontos são assinaladas as amostras coletadas. Os períodos de funcionamento dos aeradores são destacados.

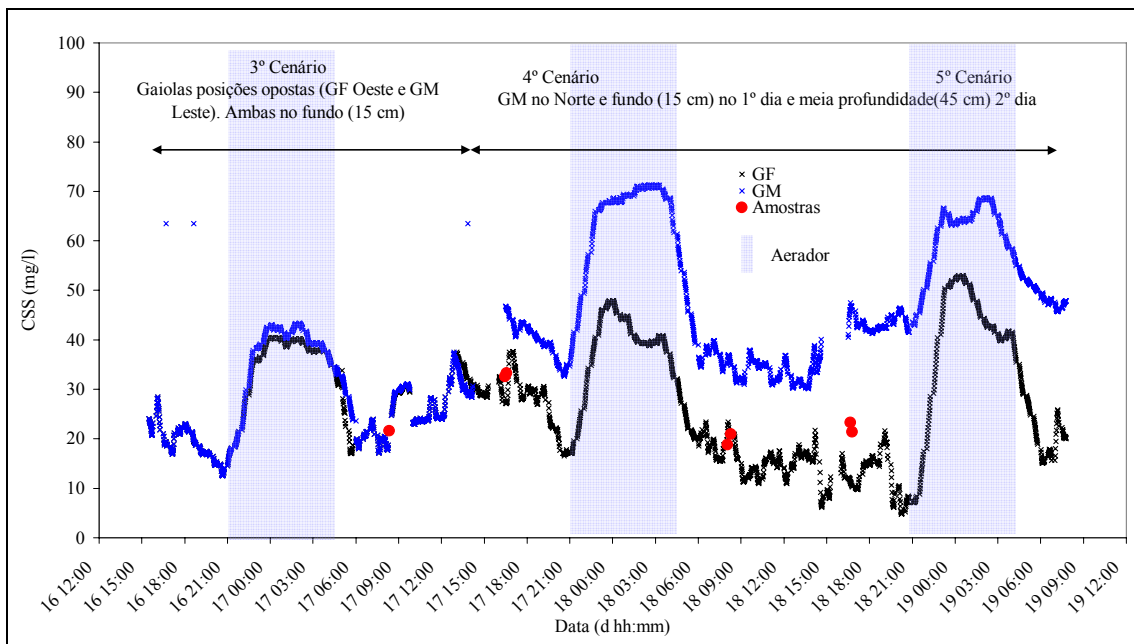


Figura 49: V04: Série temporal de CSS para as gaiolas fixa e móvel. Com pontos são assinaladas as amostras coletadas. Os períodos de funcionamento dos aeradores são destacados.

O padrão de comportamentos verificado será discutido visando destacar os aspectos mais relevantes quanto à variabilidade temporal e espacial observada na CSS. Da mesma forma da caracterização hidrodinâmica, a GF será utilizada na caracterização temporal enquanto que a GM embasará a caracterização espacial.

De forma geral, independente do viveiro e do posicionamento das gaiolas, observa-se a existência de um comportamento diário e cíclico do material em suspensão com picos de máximas e mínimas concentrações bem definidos em função da atuação das forçantes no local (aeradores e ventos). Verifica-se que as máximas concentrações estariam ocorrendo durante a madrugada, horário em que os aeradores estariam funcionando, e que as mínimas concentrações aconteceriam antes e depois de os aeradores serem ligados. À tarde, quando atua o vento, a concentração é máxima perto das 15h00 e decai até ser mínima, às 21h00 (Figura 48 e Figura 49).

Com relação à variabilidade temporal, em ambos os viveiros, o comportamento da CSS a 15 cm do fundo segue o padrão geral descrito acima. Quando postos em funcionamento, os aeradores geram correntes que põem a camada de lama em suspensão (que repousa sobre sedimentos consolidados), aumentando assim a CSS no fundo. Quando desligados (próximo das 05h00), o material até então em suspensão, tende a sedimentar, causando uma diminuição na CSS no fundo, atingindo o pico de mínima CSS entre 06h00 e 07h00. Um outro pico de CSS (~30 mg/l) presente no V04 é observado na manhã do dia 17/05 e se refere a um período em que os aeradores foram ligados por cerca de 1 hora. Um segundo pico de máxima CSS foi observado diariamente às 09h00 da manhã, mas sua presença será discutida mais adiante (veja item V.ii.c). Durante o dia, quando os ventos passam a atuar de forma mais intensa, o comportamento da CSS oscila em função das ondas presentes no viveiro.

A variação da CSS medida no fundo quando os aeradores estão ligados é de 45 a 70 mg/l para o V05 e de 40 a 55 mg/l no V04. Assim, as maiores concentrações medidas ocorrem no V05 e possivelmente estaria relacionado a um maior teor de finos, parâmetro importante na dinâmica local da CSS.

Durante a atuação dos ventos, a variação da CSS é comparável em ambos os viveiros, indo de 12 a 50 mg/l para o V05 e de 5 a 38 mg/l no V04. Isso mostra o poder do aerador como agente causador da ressuspensão dos sedimentos frente ao efeito gerado pelo vento. Quantitativamente isso pode ser visto na Tabela 7. Esta tabela mostra a taxa de ressuspensão para os quatro períodos analisados na hidrodinâmica tanto para o V04 quanto para o V05 e, os valores das taxas de ressuspensão, associam-se à área abaixo das curvas mostradas na Figura 48 e Figura 49. Percebe-se que, em ambos os viveiros e em todos os quatro intervalos, as taxas de ressuspensão de sedimentos do fundo são comparáveis. Naquele intervalo referente ao funcionamento dos aeradores (das 21h00 às 05h00), são encontradas as maiores ressuspensões (marcadas em negrito na Tabela 7). Em média, os aeradores são os responsáveis por 50% da ressuspensão dos sedimentos verificada ao longo de um dia.

Tabela 7: Estimativa da Ressuspensão de sedimentos para os viveiros.

Viveiro	Data início	Data fim	Hora início	Hora fim	R (%)
05	13	14	21:00	05:00	45.84
	14	14	05:00	10:00	20.70
	14	14	10:00	17:00	23.21
	14	14	17:00	21:00	10.25
	14	15	21:00	05:00	52.14
	15	15	05:00	10:00	23.05
	15	15	10:00	17:00	23.04
	15	15	17:00	21:00	1.77
04	16	16	17:00	21:00	9.89
	16	17	21:00	05:00	42.10
	17	17	05:00	10:00	17.08
	17	17	10:00	17:00	30.93
	17	17	17:00	21:00	18.75
	17	18	21:00	05:00	53.60
	18	18	05:00	10:00	14.61
	18	18	10:00	17:00	13.04
	18	18	17:00	21:00	6.32
	18	19	21:00	05:00	55.15

Quanto à variabilidade espacial, verifica-se que o padrão da CSS é bem semelhante para os dois viveiros. Cinco situações foram analisadas (em função do deslocamento da GM) para facilitar a caracterização espacial da concentração, sendo o 1º e o 2º cenários no V05 e o 3º, o 4º e o 5º no V04. O intervalo de tempo em cada ponto, profundidade de medição em relação ao fundo e a posição das gaiolas estão listados na Tabela 8.

Tabela 8: Informações acerca dos cenários adotados para a caracterização espacial da concentração.

Cenários	Intervalo de tempo	Profundidade (cm)	Posição
1°	18h00 13/05/07 às 15h00 15/05/07	GF 15	Oeste
		GM 35	
2°	15h30 15/05/07 às 13h30 16/05/07	GF 15	Oeste
		GM 15	Centro
3°	15h30 16/05/07 às 14h10 17/05/07	GF 15	Oeste
		GM 15	Leste
4°	16h30 17/05/07 às 14h30 18/05/07	GF 15	Oeste
		GM 15	Norte
5°	16h30 18/05/07 às 08h00 19/05/07	GF 15	Oeste
		GM 45	Norte

No lado Oeste dos viveiros (lado Oeste do V05), cenário 01 (Figura 48), nos períodos em que os aeradores estão ligados, as concentrações no fundo (registradas na GF) coincidem com as encontradas a meia profundidade (registradas na GM). Indicando homogeneidade vertical de CSS. Nos horários em que os ventos passam a atuar, as concentrações, no fundo e a meia profundidade diferem, e as menores concentrações são registradas no fundo.

No centro dos viveiros (centro do V05), cenário 02 (Figura 48), durante o funcionamento dos aeradores, as concentrações no fundo do centro do viveiro (GM) são menores que no lado Oeste (GF). Já durante a atuação dos ventos, o comportamento se inverte, estando as maiores CSS no centro do viveiro.

No lado Leste dos viveiros (lado Leste do V04), cenário 03 (Figura 49), nos períodos em que os aeradores estão ligados e durante a atuação dos ventos, as concentrações no fundo (GM) coincidem com as registradas no lado Oeste (GF). Então, a variação das concentrações no fundo ao longo da largura do viveiro (V04) seria homogênea tanto durante o funcionamento dos aeradores quanto durante a atuação dos ventos.

No lado Norte dos viveiros (lado Norte do V04), cenários 04 e 05 (Figura 49), as CSS são maiores que no lado Oeste (GF), independentemente da profundidade considerada (fundo, cenário 04 e meia profundidade, cenário 05). Este comportamento se dá durante o dia todo (com e sem o funcionamento dos aeradores). Assim, pode ser

destacado um aumento das concentrações no comprimento (V04) desde o centro até o lado Norte Isso se deve principalmente ao fato de uma maior dinâmica ao Norte como mostrado anteriormente, devido basicamente a maior pista e maior número de aeradores.

Da mesma forma que na análise das velocidades na vertical, o comportamento da CSS em profundidade (Figura 50), frente ao efeito dos aeradores, foi investigado através de uma perfilagem realizada nos pontos mostrados na Figura 31. Deve ser considerado que a perfilagem foi realizada durante a manhã, numa situação onde se tinha pouco vento. Dessa forma, a perfilagem para a condição “sem aerador”, representar o perfil de concentrações identificado durante um dos picos de valores mínimos de CSS (entre 06h00 e 08h00). A forma do perfil nesta situação é de um perfil típico de concentrações, tendo o valor mínimo na superfície (entre 20 e 30 mg/l) e máximo no fundo (entre 50 e 60 mg/l). Durante este período, as maiores concentrações foram identificadas no lado Norte (P1) e lado Leste (P3). Para a situação “com aerador”, é importante considerar que o perfil é representativo da condição de apenas uma hora de aeração. Portanto, não são atingidos os valores máximos de concentrações. A forma dos perfis é mais homogênea, com concentrações de 50 a 60 mg/l. As maiores concentrações também foram identificadas no lado Norte do viveiro (P1). Diante do exposto, pode-se concluir que os aeradores tendem a homogeneizar as concentrações de sedimentos em suspensão na coluna d’água. Uma maior dinâmica indica uma maior mistura e aumento crescente das concentrações em toda a coluna.

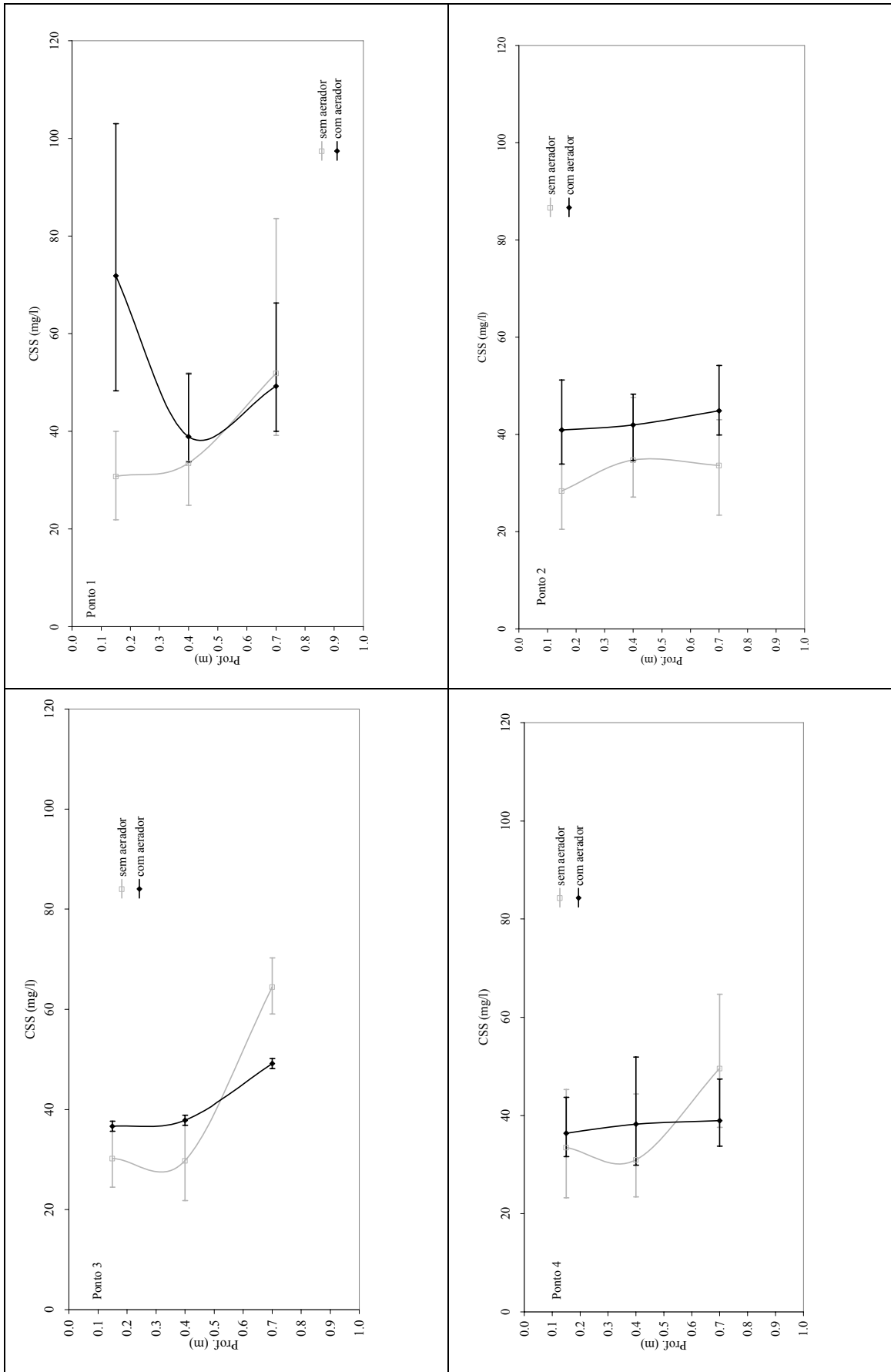


Figura 50: Perfil de CSS no viveiro 04 antes e depois do funcionamento dos aeradores.

V.ii.b. Alteração do nível do fundo: erosão e deposição

A evolução do nível do fundo foi medida, em ambos os viveiros, através do altímetro. Serão apresentados somente os resultados referentes ao V04, pois devido a problemas ocorridos na instalação do equipamento no V05, perdas no sinal invalidaram os dados coletados para este viveiro. Essas perdas de sinal se devem ao posicionamento inadequado do equipamento na vertical.

As alterações registradas no fundo foram comparadas com as concentrações e tensões estimadas para a GF (Figura 51). Na Figura 52, compara-se a série de elevação do fundo com as taxas de erosão calculadas a partir dos valores medidos de concentrações (valores médios em cada *burst*). Maiores valores de altitude indicam erosão no fundo (taxas de erosão positivas) enquanto que menores valores representam períodos de deposição (valores negativos para as taxas de erosão).

Segundo a Figura 51, verifica-se uma boa correlação entre os três parâmetros considerados: variação do nível do fundo, concentrações no fundo e tensões. São observados três períodos de erosão (de 4.0, 2.0 e 2.0 mm) diretamente correlacionados com os picos de máximas concentrações ocasionados pelo funcionamento dos aeradores. Como mostrado na Figura 52, esses picos de erosão sucedem os picos de taxas positivas e são coincidentes com os picos de taxas negativas. Nesses períodos, as tensões estimadas são da ordem de 0.10 N/m^2 e corresponde à tensão crítica para se ter erosão. Esta tensão coincide com o limite da ressuspensão para a areia fina (Tabela 1) descrito por PETERSON (1999 a, b). Posteriormente, verifica-se uma diminuição da altitude no fundo (deposição) que é consequência de uma queda de concentrações quando os aeradores são desativados e as tensões passam a ser menores que 0.005 N/m^2 . Nos horários em que os ventos atuam não se verifica erosão no fundo, mas sim um aumento e oscilações nas concentrações no fundo. Durante estes horários, observam-se valores de tensão da ordem de 0.01 N/m^2 , que seria responsável por manter o material em suspensão. Segundo Tabela 1, esta seria a tensão crítica mínima necessária para ressuspender partículas de argila.

Apesar de a onda gerar uma tensão no fundo de 0.25 N/m^2 , superior às tensões geradas pelos aeradores, não se observa ressuspensão de sedimentos na profundidade de

medição (15 cm). A ação das ondas sobre o fundo pode elevar a interface água-sedimento até um nível que depende do balanço entre a energia potencial para ressuspender o sedimento (positivo) e o fluxo de boiância na interface (negativo). A espessura desta interface pode ser chamada de lutoclina (VINZÓN e MEHTA, 1998). Com base na metodologia proposta por esses autores a altura da lutoclina pode ser determinada a partir da seguinte equação:

$$H_s = 0.65 \left[\frac{(a_b^3 k_r)^{3/2}}{T^3 \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} g w_s C_v} \right]^{1/4} \quad \text{Eq. 13}$$

Com base nos parâmetros de ondas obtidos neste trabalho (Tabela 4), a altura da lutoclina resulta num valor de 2.0 cm. A espessura da lutoclina estimada é muito inferior à profundidade em que a medição está sendo realizada e, portanto, não registrada pelo ADV nas concentrações. Ainda assim, observam-se alterações no nível do fundo registradas pelo altímetro fora do período de funcionamento dos aeradores, no dia 17/05/07 e da ordem de milímetros (uma ordem superior à altura da lutoclina). Possivelmente as correntes geradas pelos ventos conseguem colocar o material dentro da lutoclina em suspensão e aumentar as concentrações. No dia 18/05/07, o sinal do nível do altímetro permanece quase constante e por isso, as concentrações são inferiores às observadas no dia 17/05/07 à tarde.

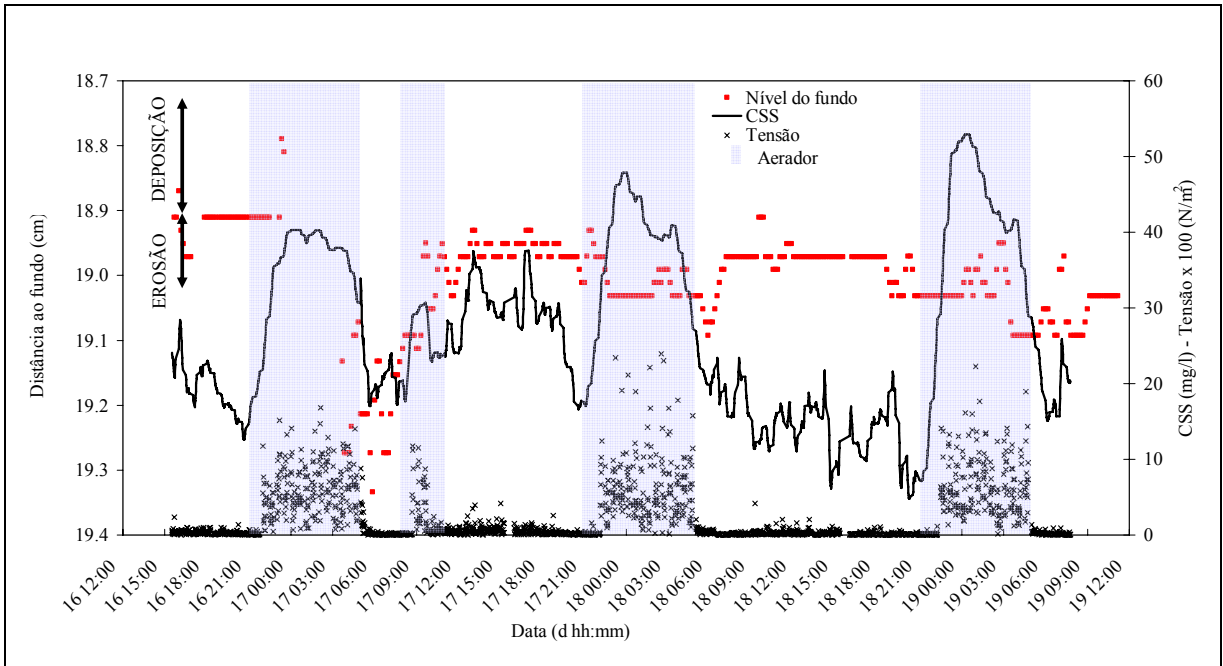


Figura 51: V04: Variação do nível do fundo, concentrações no fundo e tensões. O funcionamento dos aeradores está destacado.

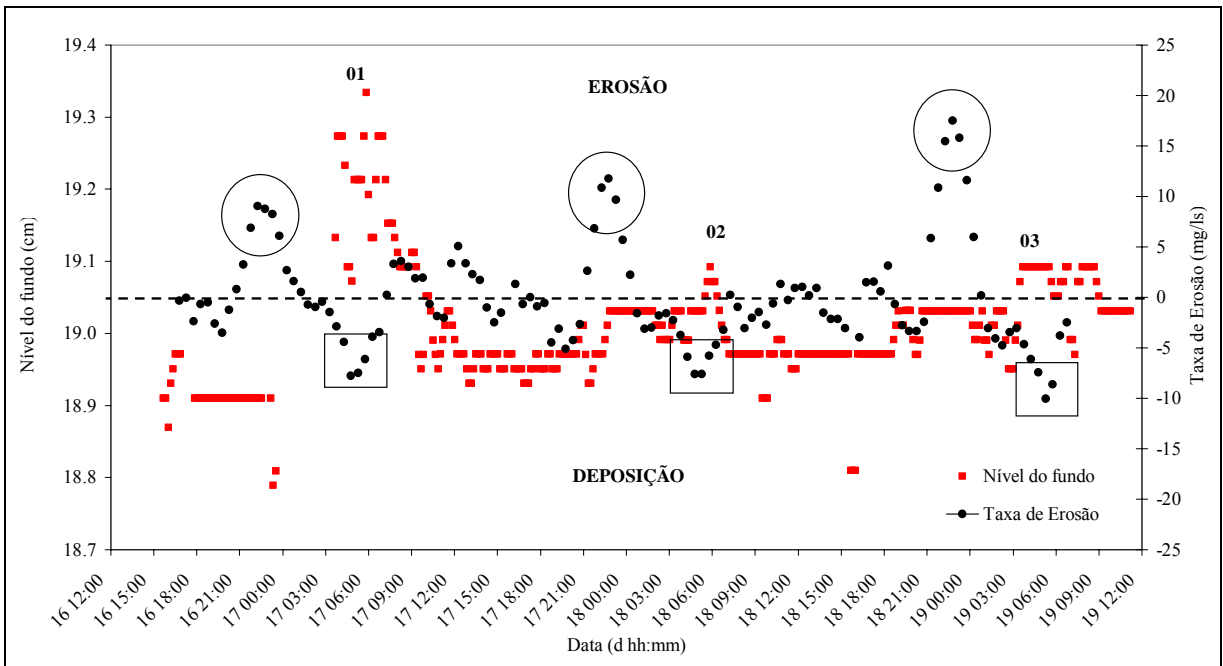


Figura 52: Relação entre as taxas de erosão calculadas e nível do fundo medido pelo altímetro. Os números (01, 02 e 03) indicam os picos de máxima erosão diária. As máximas taxas de erosão estão destacadas com círculos e as máximas taxas de deposição com quadrados.

V.ii.c. Mecanismos de ressuspensão de sedimentos em viveiros de camarões

Como discutido anteriormente, os aeradores seriam os grandes responsáveis pela maior parte dos sedimentos ressuspensos do fundo dos viveiros. Essa ressuspensão de sedimentos se deve basicamente a processos de erosão no fundo. Assim, seu efeito seria basicamente aumentar progressivamente as concentrações e tornar homogêneo o perfil de concentração de sedimentos em suspensão em toda a coluna d'água.

Em contrapartida, o vento não causaria erosão no fundo, sendo responsabilizado somente por manter em suspensão as partículas mais finas e seu transporte dentro do viveiro. Combinado aos efeitos do vento, se tem a influência das ondas superficiais que acabam por gerar grandes tensões cisalhantes no fundo sem ter associado altas concentrações. Em ambos os viveiros, não foram identificadas variações significativas nas alturas e períodos das ondas ao longo dos dias, portanto, as concentrações apresentam comportamentos semelhantes nos horários onde se tem a ação dos ventos e conseqüentemente ondas superficiais (meio dia e tarde). Assim, as concentrações no fundo oscilam em função das oscilações das alturas significativas das ondas. Exemplificando o efeito das ondas, as maiores alturas de ondas identificadas na tarde do dia 17/05/07 em relação aos outros dias, mobilizariam os sedimentos do fundo (maiores alturas da lutoclina) que as fracas correntes geradas por ventos conseguem manter em suspensão e conseqüentemente aumentam as concentrações. Dessa forma pode-se concluir que, as ondas se configuram num agente mobilizador de sedimentos do fundo, não sendo uma força que age diretamente na ressuspensão.

Outro ponto a ser questionado é a presença de um segundo pico de máximas concentrações identificado diariamente nos dois viveiros próximo das 09h00, ver Figura 53. A identificação da causa desse pico também não é direta. Portanto, três hipóteses foram propostas no intuito de identificar as prováveis causas desse pico de CSS e embasar da melhor forma possível o comportamento da ressuspensão de sedimentos presente em viveiros de camarão. As hipóteses formuladas seriam as seguintes: existência de um tempo de resposta na sedimentação, sedimentação diferenciada e bioturbação gerada pelo camarão.

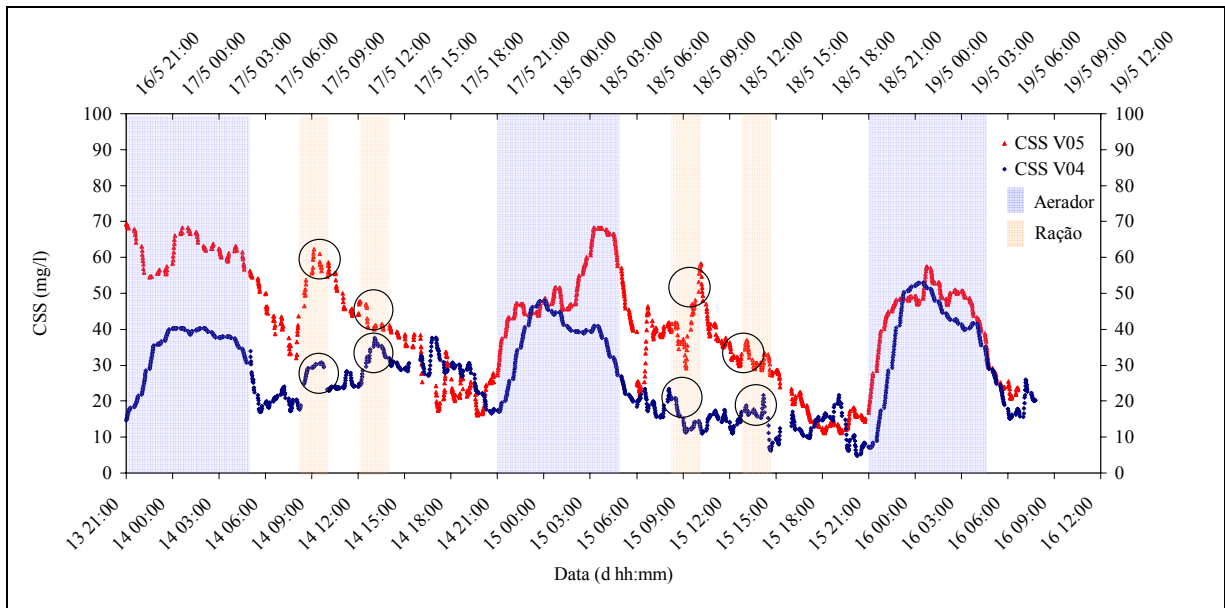


Figura 53: Comparação das séries de concentração para os dois viveiros e identificação de picos de máxima concentração relacionados à oferta de ração (indicados com círculos). Os períodos de funcionamento dos aeradores e da arração estão destacados.

A primeira hipótese proposta é a de que haveria um tempo de resposta que rege a influência dos aeradores sob o comportamento da concentração. Ou seja, os processos de suspensão e sedimentação no viveiro apresentariam diferenças nos fluxos de sedimentos na interface entre a camada dos 15 cm no fundo e a camada adjacente. Portanto, pode ser explicada pelo balanço desses fluxos no nível que foi realizada a medição (15 cm). A Figura 54 corresponde a um desenho esquemático utilizado para exemplificar a dinâmica dos fluxos da CSS na interface entre as camadas. Os viveiros de cultivo de camarões podem ser considerados como sistemas fechados quanto à quantidade de sedimentos disponíveis (desconsiderando a reposição de água realizada para a manutenção do nível devido à evaporação). Considera-se também que as partículas apresentariam velocidade de queda constante. No decorrer do manejo da fazenda, quando os aeradores são acionados, os sedimentos são postos em suspensão em toda a coluna d'água. A suspensão dentro dos 15 cm do fundo é mais eficiente quando comparada com a camada superficial e aumenta progressivamente até que se atinja o 1º pico de máxima concentração. Quando desligados os aeradores, o material em suspensão em toda a coluna d'água tendem a sedimentar. Em função da profundidade, o material na camada do fundo sedimenta mais rapidamente que o material na camada superficial, configurando-se o pico de mínimas concentrações verificado às 07h00. O 2º pico corresponderia então, ainda, à sedimentação do material em suspensão (na camada

superficial). É interessante explicitar que foi realizado um paralelo entre o comportamento da concentração e o nível do fundo registrado pelo altímetro (Figura 52). Percebe-se uma analogia entre as concentrações e movimentos no nível do fundo naqueles períodos referentes ao funcionamento dos aeradores (observar que há um retardo entre os picos de CSS e do altímetro). Dessa forma, o primeiro pico de máxima CSS corresponderia à presença de erosão no fundo (4.0 mm) enquanto que o segundo pico seria um processo de sedimentação (3.5 mm).

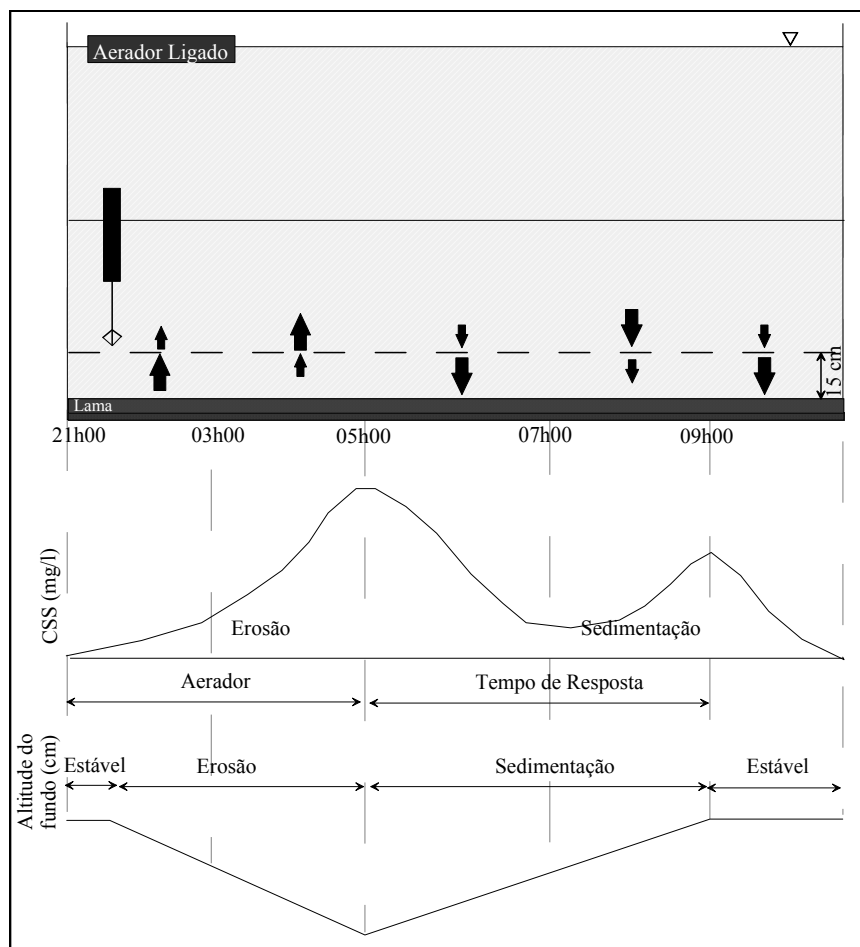


Figura 54: Desenho esquemático do comportamento da CSS em viveiros durante o funcionamento dos aeradores. As setas indicam o sentido do fluxo de sedimentos e o tamanho delas se refere à magnitude.

A segunda hipótese proposta consiste na presença de um processo de sedimentação diferenciada. Nesse caso, o material mais grosso sedimentaria antes do material fino. O 1º pico de máximas concentrações corresponderia então à ressuspensão do material (grosso e fino) em suspensão na camada dos 15 cm do fundo. O pico de mínima concentração identificado às 07h00 representaria a sedimentação do material mais grosso, em suspensão na camada do fundo. Já o 2º pico de máxima concentração

corresponderia à deposição dos finos que permaneceram em suspensão nas duas camadas. Para averiguar a veracidade dessa hipótese, determinaram-se os tempos de queda referente aos diâmetros medianos das partículas para os dois viveiros com base na Lei de Stokes (VAN RIJN, 1993), segundo a seguinte equação:

$$w_s = \frac{gd_{50}^2}{18\nu} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) \quad \text{Eq. 14}$$

Os tempos de queda calculados seriam de uma hora e meia para o V05 e cerca de 1 hora para o V04. Do momento em que se desligam os aeradores até o pico de mínima concentração (correspondente à sedimentação do material grosso), o tempo de queda médio identificado foi de 1 a 2 horas e de 43 a 46 minutos para os viveiros 05 e 04, respectivamente. Em contrapartida, do momento em que os aeradores foram desativados até o 2º pico de máxima concentração (sedimentação do material fino), o tempo de queda foi de 4 a 5 horas e de 3 a 5 horas para os viveiros 05 e 04, respectivamente. Assim, percebe-se que os tempos de queda relativos à deposição do material grosso são menores ou iguais ao tempo de queda calculado para o d_{50} , e que os tempos de queda referentes à deposição do material fino são maiores que os tempos calculados para o d_{50} .

A terceira hipótese é a de que exista influência de bioturbação no 2º pico de máxima CSS, naqueles horários onde há o fornecimento de ração (09h00 e 13h00). Assim, a atividade do camarão dentro do viveiro configura-se em um mecanismo de ressuspensão de sedimentos. Conforme discutido por PONTES *et al.* (2005), os camarões se alimentariam imediatamente após a oferta de alimentos, gerando perturbação no fundo no ato de seu deslocamento e conseqüentemente, ressuspensão de sedimentos. O 1º pico de máxima concentração corresponderia então aos efeitos da aeração no fundo e o 2º pico (09h00) aos movimentos locomotores do camarão na ato da alimentação. Era de se esperar que houvesse a presença de um 3º pico de CSS às (13h00) já que a oferta de ração acontece também nesse horário. Acontece que, a atuação dos ventos poderia minimizar o efeito causado pelo camarão na concentração no fundo, tornando-o desprezível. Um outro aspecto que confirmaria essa hipótese e justificaria o fato de as maiores concentrações estarem presentes no V05, baseia-se nos

estudos realizados em laboratório por RITVO *et al.* (1997) que concluíram que a turbidez estaria diretamente correlacionada ao comprimento do camarão.

VI. CONCLUSÕES

A turbidez na coluna d'água, na atividade de carcinicultura marinha, pode trazer benefícios ou prejuízos para a produção. De forma geral, como em qualquer corpo de água, não se recomendam elevados níveis de turbidez na coluna d'água. É importante evitar elevada ressuspensão de partículas inorgânicas finas, o que limitaria a entrada de luz e conseqüentemente afetaria a produtividade primária. Assim, o mais indicado seria manter os sedimentos orgânicos expostos a condições aeróbias, sem comprometer os níveis de O.D. na coluna d'água.

Muitos estudos alertam sobre a importância do controle dos níveis de turbidez na coluna d'água, mas pouco se conhece sobre a influência dos processos físicos (erosivos e deposicionais) no fundo dos viveiros, bem como a ressuspensão de sedimentos na coluna d'água. Esse seria um ponto chave para a qualidade da interface água-sedimento, habitat dos camarões. Assim, este trabalho visou caracterizar a hidrodinâmica e a ressuspensão de sedimentos em viveiros de camarões a partir da utilização de dados coletados em campo numa fazenda no Rio Grande do Norte. Tecnologias inovadoras para a atividade de carcinicultura foram empregadas na obtenção de dados de correntes no fundo dos viveiros, concentração de sedimentos em suspensão e evolução temporal do nível do fundo. Também foi investigada a distribuição do material do fundo, sua relação com a geometria dos viveiros e forçantes naturais (ventos e ondas) e artificiais (aeradores e renovação de água). A influência direta do comportamento do camarão na ressuspensão de sedimentos também foi investigada, através da avaliação de dois viveiros em estágios de cultivo diferentes e, partindo do princípio de que existe uma relação entre a exploração do substrato e os horários de arraçoamento.

Quanto à caracterização geométrica dos viveiros, observa-se que o tamanho dos dois viveiros estudados (2.5 e 5 ha) são maiores que os encontrados na literatura (1.0 ha). A batimetria é fortemente influenciada pela circulação no interior dos viveiros bem como pela posição relativa entre as comportas de abastecimento e drenagem. Dessa forma, as profundidades mais pronunciadas encontram-se localizadas na metade Norte e Oeste dos viveiros. A comporta de drenagem localiza-se no extremo Norte, bem como a maior quantidade de aeradores. A direção dos jatos dos aeradores (durante a madrugada,

21h00 às 05h00) é aproximadamente Leste-Oeste e o vento sopra para o Norte (início da manhã e fim da tarde) e Oeste (10h00 às 17h00).

A circulação hidrodinâmica em viveiros é similar à observada em lagos confinados, diferenciando-se somente quanto à presença de aeradores que promovem circulação artificial durante a madrugada. Quanto ao padrão de circulação gerado pelos aeradores, o mesmo difere do padrão encontrado na literatura, com os jatos sempre orientados de talude Leste para o talude Oeste. Assim, não foi identificada a geração de um padrão circular como mencionado na literatura. O que foi constatado neste estudo foi o desenvolvimento do perfil logarítmico de velocidades na vertical, exceto na região próxima ao aerador. Foi verificada também recirculação vertical gerada por ventos com velocidades no fundo que diminuem de sotavento para barlavento. Independentemente da região no interior do viveiro, as velocidades no fundo são maiores durante o funcionamento dos aeradores (0.1 m/s), comparadas com as registradas durante o período de atuação dos ventos (0.01 m/s). As ondas superficiais apresentam períodos típicos da ordem de 2.0 e 2.5 segundos e alturas significativas entre 15.0 e 18.0 cm (os maiores valores aparecem após as 12h00). Os viveiros estudados se tratam de ambientes de águas intermediárias no que se refere à atuação das ondas. Ondas de período mais longos devido às reflexões, ressonância e interação onda-onda não foram identificadas. Pode-se destacar que as medições de ondas foram realizadas pontualmente. Possivelmente um estudo mais detalhado de ondas em viveiros de camarões seja necessário.

Quanto à distribuição dos sedimentos no fundo dos viveiros, verifica-se a partir da análise das curvas granulométricas, que o material de fundo é composto basicamente de finos, sendo o material mais grosso representado pela areia fina. O d_{50} médio das partículas dos viveiros é da ordem de 10 μm , diâmetro correspondente a silte. O material mais grosso foi identificado nas regiões mais fundas e com correntes mais fortes (lado Oeste e Norte), enquanto que os finos estão presentes naquelas áreas de velocidades menos intensas, mais rasas e geralmente localizadas a sotavento. O teor de finos disponíveis nos viveiros apresenta relação direta com o teor de matéria orgânica, que se mostrou função do tempo de cultivo. Assim, o V05 (90 dias de cultivo) apresenta teores de matéria orgânica superiores ao V04 (recentemente povoado).

A ressuspensão de sedimentos acontece quando as tensões no fundo (geradas por ondas e correntes) ultrapassam valores críticos, considerados como limite para mobilização de cada tipo de material. A determinação das tensões geradas pelo escoamento e sua comparação com as tensões críticas (PETERSON, 1999a; 1999b) permitiram avaliar quando ocorrem erosão e sedimentação e a contribuição de cada forçante nos processos. As tensões cisalhantes agindo sobre o fundo de viveiros de camarões foram estimadas a partir de dados de velocidades no fundo. No período de funcionamento dos aeradores, as tensões são da ordem de 0.10 N/m^2 e corresponderiam à tensão crítica de ressuspensão para a areia fina. No período em que os ventos atuam, as tensões têm intensidade de 0.01 N/m^2 , responsável por manter a matéria orgânica em suspensão e ressuspender partículas de argila. As ondas superficiais gerariam elevadas tensões no fundo (0.25 N/m^2) baseadas nos parâmetros de profundidade local, altura e período das ondas, mas não foram registradas pelo cálculo baseado nas correntes do fundo.

As concentrações de sedimentos em suspensão (CSS) foram estimadas a partir dos dados de retroespalhamento do sinal do ADV. Ressalta-se que um turbidímetro (*OBS – Optical Backscattering Sensor*) foi instalado nos viveiros, mas o equipamento falhou durante as medições (falha elétrica), inviabilizando a utilização do seu sinal na determinação da turbidez. Observou-se a existência de um comportamento diário e cíclico do material em suspensão com picos de máximas e mínimas concentrações bem definidos em função da atuação das forçantes no local (aeradores e ventos). As máximas concentrações ($\sim 70 \text{ mg/l}$) ocorrem durante a madrugada, horário em que os aeradores estariam funcionando, e as mínimas (entre 5 e 10 mg/l) antes e depois de os aeradores serem ligados. Em média, os aeradores são responsáveis por 50% da ressuspensão dos sedimentos verificada ao longo de um dia. A variação das concentrações no fundo ao longo da largura do viveiro seria homogênea tanto durante o funcionamento dos aeradores quanto durante a atuação dos ventos. Pode ser destacado um aumento das concentrações no comprimento desde o centro até o lado Norte. Isso se deve principalmente ao fato de uma maior dinâmica ao Norte, devido basicamente a maior pista e maior número de aeradores.

Observou-se também uma boa correlação entre a variação do nível do fundo, concentrações de sedimentos em suspensão e tensões no fundo. Os picos de erosão

registrados (entre 2.0 e 4.0 mm) relacionam-se temporalmente com os picos de máximas concentrações ocasionados pelo funcionamento dos aeradores e tensões da ordem de 0.10 N/m^2 . Após os picos de erosão, quando os aeradores são desativados, verifica-se deposição como conseqüência de uma queda nas concentrações e tensões inferiores a 0.005 N/m^2 . Durante a atuação dos ventos, não se verifica erosão no fundo, mas sim um leve aumento e oscilações nas concentrações, com valores de tensão da ordem de 0.01 N/m^2 . Juntamente aos efeitos do vento, as ondas superficiais que gerariam altas tensões não têm associado ao seu efeito, elevada turbidez.

Conclui-se, portanto, que os aeradores são responsáveis pela maior parte dos sedimentos ressuspensos do fundo dos viveiros através de erosão no fundo. Durante seu funcionamento as concentrações aumentam progressivamente e, o perfil de concentração de sedimentos em suspensão em toda a coluna d'água, torna-se homogêneo. As correntes geradas pelos ventos mantêm em suspensão as partículas mais finas e as transportam dentro dos viveiros. As ondas se configuram num agente mobilizador de sedimentos do fundo, não sendo uma força que age diretamente na ressuspensão.

Por se tratar de um ambiente com alta densidade de organismos que interagem diretamente com o fundo, é importante relacionar as alterações temporais das concentrações de sedimentos em suspensão no fundo com a bioturbação gerada pelo camarão. Foi observado, neste trabalho, um aumento anormal da CSS no horário da manhã (próximo às 09h00). Pode-se inferir assim, que este aumento nas CSS deve-se a perturbações induzidas no fundo quando os camarões se deslocam para se alimentar, identificadas imediatamente após a oferta de alimentos (entre 08h00 e 09h00). Outro fato que constata essa hipótese é que o pico de CSS no V05, em estágio mais avançado (camarões de 12g) é maior que no V04 (camarões de 4g). Era de se esperar outro aumento nas CSS próximo das 13h00, segundo horário de oferta de ração. Neste horário, observou-se uma perturbação no sinal de CSS mas possivelmente mascarado pela atuação dos ventos.

Deve-se destacar que o uso adequado dos aeradores é imprescindível nas atividades de carcinicultura. Estes equipamentos geram circulação e aeração da coluna d'água necessária nos horários de déficit de O.D.. Conforme mostrado neste trabalho,

essa circulação gera correntes no fundo que acarretam, ressuspensão de sedimentos. Portanto, é importante monitorar a turbidez e o efeito desta sobre outros parâmetros de qualidade da água (O.D., transparência, condutividade e demanda de oxigênio pelos sedimentos) nos viveiros. Por exemplo, o monitoramento conjunto da turbidez e O.D. durante todo o dia e em diferentes profundidades ao longo da coluna d'água. Com essas informações, pode-se dimensionar de forma adequada, o funcionamento dos aeradores (tipo, distribuição espacial, horário e tempo de funcionamento) para obter benefícios na produtividade do camarão e menores custos de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCC. 2008. Associação Brasileira de Criadores de Camarão. Website: (www.abccam.com.br).

ANDERSEN, T.J., FREDSOE, J. e PEJRUP, M. (2007). "In situ estimation of erosion and deposition thresholds by Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.75, n. 3 (Nov), pp. 327-336.

ANEEL, 2000, Guia de práticas sedimentométricas. 1 ed. Brasília, Dupligráfica editora.

ARANA, L.V. (2004). Princípios químicos de qualidade da água em aquicultura. 2 ed. Florianópolis, Editora da UFSC.

AVNIMELECH, Y. E ZOHAR, G (1986). "The effect of local anaerobic conditions on growth retardation in aquaculture systems", *Aquaculture*, v.58, n. 3-4 (Nov), pp. 167-174.

AVNIMELECH, Y., KOCHVA, M E HARGREAVES, J.A. (1999). "Sedimentation and resuspension in earthen fish ponds", *Aquaculture*, v.30, n. 4 (Dec), pp. 401-409.

AVNIMELECH, Y. E RITVO, G. (2003). "Shrimp and fish pond soils: processes and management ", *Aquaculture*, v.220, n. 1-4 (Apr), pp. 549-567.

AZEVEDO, A.O.D. de, 2006. Dinâmica dos metais pesados em ambientes de carcinicultura. Dissertação de M.Sc., PPES/UFRN, Rio Grande do Norte, RN, Brasil.

BELTRAME, E., DA COSTA, F. 2004. *Curso de Construções Aplicadas a Fazendas de Cultivo de Camarões Marinhos*. II Semana de Aquicultura – SEMAQUI. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BOYD, C.E. (1998). "Pond water aeration systems", *Aquacultural engineering*, v.18, n. 1 (Jul), pp. 9-40.

COASTAL AND HYDRAULICS LABORATORY (CHL). 2002. "Sediment Transport outside the Surf Zone". In: *Coastal Engineering Manual*, Chapter 6. Vicksburg, Mississippi. US Army Engineer Research and Development Center.

CUNHA, M.C.S, 2006. Contribuições da engenharia costeira para a carcinicultura. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CUNHA, M.C.S., NEVES, C.F. E SCUDELARI, A.C. (2007). "Estudo sobre tensões no fundo induzidas por ondas em viveiros de camarão", Submetido à Revista Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH).

DEAN, R.G., DALRYMPLE, R.A. 1984. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists. Cornell University. World Scientific.

DELGADO, P.C., AVNIMELECH, Y., MCNEIL, R., BRATVOLD, D., BROWDY, C.L. E SANDIFER, P. (2003). "Physical, chemical and biological characteristics of distinctive regions in paddlewheel aerated shrimp ponds", *Aquaculture*, v.217, n. 1-4 (Mac), pp. 235-248.

DYER, K.R. 1986. Coastal and estuarine sediment dynamics. Ed. John Wiley & Sons.

EMBRAPA. 2008. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Website: (www.cnpma.embrapa.br).

FAO. 2008. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Website: (www.fao.org).

FUGATE, D.C. E FRIEDRICHS, C.T. (2002). "Determining concentration and fall velocity of estuarine particles populations using ADV, OBS e LISST", *Continental Shelf Research*, v.22, pp. 1867-1886.

HALIDE, H., RIDD, P.V., PETERSON, E.L. E FOSTER, D. (2003). "Assessing sediment removal capacity os vegetated and non-vegetated settling ponds in prawn farms", *Aquacultural Engineering*, v.27, pp. 295-314.

HOPKINS, J.S., STOKES, A.D., BROWDY, C.L. E SANDIFER, P.A. (1991). "The relationship between feeding rate, paddlewheel aeration rate and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp ponds", *Aquacultural Engineering*, v.10, n. 4, pp. 281-290.

HUTHNANCE, J.M., HUMPHERY, J.D., KNIGHT, P.J., CHATWIN, P.G., THOMSEN, L. E WHITE, M. (2003). "Near-bed turbulence measurements, stress estimates, and sediment mobility at the continental shelf edge", *Progress en Oceanography*, v.52, pp. 171-194.

IDEMA. 2008. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente. Website: (www.idema.rn.gov.br).

KANG, Y.H., LEE, M.O., CHOI, S.D. E SIN, Y.S. (2004). "2-D hydrodynamics model simulating paddlewheels-driven circulation in rectangular shrimp culture ponds", *Aquaculture*, v.01, n. 1 (Mar), pp. 163-179.

KASSILA, J. E HUSSENOT, J. (2006). "Heterogeneity of sediments end settling particles in aerated ponds", *Aquaculture Research*, v.37, n. 4, pp. 449-465.

KIM, S.C., FRIEDRICHS, C.T., MAA, J.P.Y. E WRIGHT, L.D. (2000). "Estimating bottom stress in tidal boundary layer from acoustic doppler velocimeter data", *Journal of hydraulics engineering*, v.126, n. 6 (Jun), pp. 399-406.

LEMONNIER, H. E BRIZARD, R. (2001). " Sediment accumulation in earthen shrimp ponds", *Global Aquaculture Alliance*, (Oct), pp. 79-80.

LIBICKI, C., BEDFORD, K.W., e LYINCH, J.F. (1989). "The interpretation and evaluation of a 3-MHz acoustic backscatter device for measuring benthic boundary layer sediment dynamics", *Journal of the Acoustical Society of America*, v.42, n. 4 (Apr), pp. 1501-1511.

MADRID, R.M. 2005. "Análise das exportações da carcinicultura brasileira de 1999 a 2003: cinco anos de sucesso e, 2004, o início de uma nova fase. Que fazer?" *Revista da ABCC - Associação Brasileira de Criadores de Camarão*. Ano 7. N° 1.

MADRID, R.M. 2005b. "A dança dos preços na carcinicultura brasileira e desafios de competitividade" *Revista da ABCC - Associação Brasileira de Criadores de Camarão*. Ano 7. N° 3.

MMA. 2008. Ministério do Meio Ambiente. Website: (www.mma.gov.br).

MARTIN, J.L. E McCUTCHEON, S.C. (1999). *Hydrodynamics and transport for water quality modeling*, Ed. Lewis.

MASALÓ, I., REIG, L. E OCA, J. (2008). "Study of fish activity using acoustical Doppler velocimetry (ADV) techniques", *Aquacultural Engineering*, v.38, n. 2 (Dec), pp. 43-51.

MICREL, 2000, ALTUS Altimeter Instruction Manual, pp. 1-9.

NETTO, J.D.B E VINATEA, L.A. 2005. Análise da eficiência de duas disposições de aeradores, tipo *paddle-wheel*, em viveiros de cultivo de camarão *Litopenaeus vannamei*. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 31, n. 2, pp. 163-169.

NEUMEIER, U., FRIEND, P.L., GANGELHOF, U., LUNDING, J., LUNDKVIST, M., BERGAMASCO, A., AMOS, C.L. E FLINDT, M. (2007). "The influence of fish feed pellets on the stability of seabed sediment: A laboratory flume investigation", *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v.75, pp. 01-11.

NEZU, I. E NAKAGAWA, H. (1993). *Turbulence in open-channel flows*, A.A. BALKEMA PUBLISHERS.

NORTEK, 2001, "Monitoring Sediment Concentration with acoustic backscattering instruments", *Nortek Technical Note*, n. 003,(Oct), pp. 1-5.

NORTEK, 2002, "Wave measurement using the PUV method", Nortek Technical Note, n. 019,(Dec), pp. 1-15.

NUNES, A.J.P., GODDARD, S. E GESTEIRA, T.C.V. (1996). "Feeding activity of the Southern brown shrimp *Penaeus subtilis* under semi-intensive culture in NE Brazil", Aquaculture, v.144, pp. 371-386.

OCA, J., MASALÓ, I. E REIG, L. (2004). "Comparative analysis of flow patterns in aquaculture rectangular tanks with different water inlet characteristics", Aquacultural engineering, v.31, n. 3-4 (Oct), pp. 221-236.

PETERSON, E.L. (1999a). The effect of aerators on the benthic shear stress in a pond. Ph.D. Thesis. James Cook University of North Queensland, Townsville, Australia. Chapters in volume 1, p. 291.

PETERSON, E.L. (1999b). "Benthic shear stress and sediment condition", Aquacultural engineering, v.21, n. 2 (Dec), pp. 85-111.

PETERSON, E.L. (2000). "Observations of pond hydrodynamics", Aquacultural engineering, v.21, n. 4 (Mar), pp. 247-269.

PETERSON, E.L., HARRIS, J.A. E WADHWA, L.C. (2000). "CFD modeling pond dynamics processes", Aquacultural engineering, v.23, n. 1-3 (Sep), pp. 61-93.

PETERSON, E.L., WADHWA, L.C E HARRIS, J.A. (2001). "Arrangement of aerators in an intensive shrimp growout pond having a rectangular shape", Aquacultural engineering, v.25, n. 1 (Aug), pp. 51-65.

PETERSON, E.L. (2003). Energy-efficiency manual for aquaculture pond aeration, pp. 1-31.

PFEIFFER, T.J., LAWSON, T.B. E CHURCH, G.E. (2007). "Engineering considerations for water circulation in crawfish ponds with paddlewheel aerators", Aquacultural engineering, v.36, n. 3 (May), pp. 239-249.

PIGNATARO FILHO, H. 2003. Análise da variabilidade do meio de cultivo em viveiro da carcinicultura marinha. Dissertação de M.Sc., PPES/UFRN, Rio Grande do Norte, RN, Brasil.

PONTES, C.S., ARRUDA, M. de F. (2005). "Acesso ao alimento artificial e enchimento do trato digestivo de juvenis do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone) (Crustacea, Decapoda, Penaeidae) durante as fases clara e escura do período de 24 horas", Revista Brasileira de Zoologia, v.22, n. 4 (Dec), pp. 1039-1043.

PONTES, C.S. (2006). "Padrão de deslocamento do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone) (Crustacea, Decapoda, Penaeidae) nas fases clara e

escura ao longo de 24 horas", *Revista Brasileira de Zoologia*, v.23, n. 1 (Mar), pp. 223-227.

POPE, N.D., WIDDOWS, J. E BRINSLEY, M.D. (2006). "Estimation of bed shear stress using the turbulent kinetic energy approach-A comparison of annular flume and field data", *Continental Shelf Research*, v.26, pp. 959-970.

REDEMETS. 2008. Rede de Meteorologia do comando do Aeronáutica. Website: (www.redemet.aer.mil.br).

RITVO, G., NEILL, W.H., LAWRENCE, A.L., e SAMOCHA, T.M. (1997). "Turbidity related to shrimp size in tanks with soil substrate", *Aquacultural Engineering*, v.16, n. 4 (Nov), pp. 221-225.

ROGERS, G.L.. (1989). "Aeration and circulation for effective aquaculture pond management", *Aquacultural Engineering*, v.08, n. 5 (Oct), pp. 349-355.

SMITH, P.T. (1996). "Physical and chemical characteristics of sediments for prawn farms and mangrove habitats on the Clarice River, Australia", *Aquaculture*, v.146, pp. 47-83.

TENNEKES, H. E LUMLEY, J.L. (1972). *A first course in turbulence*, MIT PRESS.

VALENTI, W.C. (1996). *Criação de camarões em águas interiores*, FUNEP, 81p.

VAN RIJN, L.C. (1993). *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*, AQUA PUBLICATIONS.

VERNEY, R., BRUN-COTTAN, J-C., LAFITE, R., DELOFFRE, J. e TAYLOR, J.A. (2006). "Tidally-induced shear stress variability above intertidal mudflats. Case of the macrotidal Seine estuary", *Estuaries and Coasts*, v.29, n. 4 (Aug), pp. 653-664.

VINZÓN, S.B. E MEHTA, A.J. (1998). "Mechanism for formation of lutoclines by waves", *Journal of waterway, port, coastal and ocean engineering*, v.124, n. 3 (May/June), pp. 147-149.

WYBAN, J.A., PRUDER, G.D., LEBER, K.M. E BURZELL, L. (1989). "Paddlewheel effects on shrimp growth, production and crop value in commercial earthen ponds", *Journal of the World Aquaculture Society*, v.20, n. 1 (Mar), pp. 19-23.

Yi, Y., LIN, C.K. E DIANA, J.S. (2003). "Techniques to mitigate clay turbidity problems in fertilized earthen fish ponds", *Aquacultural Engineering*, v.27, pp. 39-51.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)