ROGÉRIO FERNANDO DO AMARAL

**Caracterização hidrossedimentológica do Canal de Acesso
do Complexo Portuário do Maranhão**

São Paulo
2006

ROGÉRIO FERNANDO DO AMARAL

**Caracterização hidrossedimentológica do Canal de Acesso
do Complexo Portuário do Maranhão**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia Hidráulica

Orientador: Prof. Dr. Paolo Alfredini.

São Paulo
2006

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL, OU PARCIAL, DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL, OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 13 de janeiro de 2007

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Amaral, Rogério Fernando do
Caracterização hidrossedimentológica do Canal de Acesso
do Complexo Portuário do Maranhão / R.F. do Amaral. -- São
Paulo, 2006.
139 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

1.Hidráulica marítima 2.Modelagem matemática 3.Dragagem
marítima I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II.t.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Rogério Fernando do Amaral

Caracterização hidrossedimentológica do Canal de Acesso

do Complexo Portuário do Maranhão

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Doutor em Engenharia Civil.
Área de Concentração: Engenharia Hidráulica

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

*Dedico aos meus pais,
e a minha noiva por todo o carinho, incentivo
e apoio ao longo da conclusão dessa Tese.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Paolo Alfredini por todo o ensinamento dado ao longo dessa nossa longa amizade.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo que tem sido a minha casa desde a graduação até o presente dia.

Aos companheiros do Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em especial da Área de Hidráulica Marítima, da qual, com orgulho, faço parte. Cabe destacar o empenho da futura Engenheira Juliana Bueno da Silva no desenvolvimento dessa Tese, bem como do Engenheiro Dr. Rodrigo Nogueira Araújo por me promover o ensino da modelação numérica e pelas contribuições no desenvolvimento dessa Tese.

Ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo pelas aulas e trabalhos práticos que me proporcionaram os seus professores, com a convivência das diversas especialidades, sempre buscando o melhor entendimento sobre o ambiente marinho.

À Companhia Vale do Rio Doce, que mantém há trinta anos parceria tecnológica com o Centro Tecnológico de Hidráulica/Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica e é representada através dos Engenheiros José Carlos Sousa, Antônio Tadeu de Barros, Elizeu Barreira Lemos Jr e o Comandante Joffre Villote, que propiciaram todos os dados necessários para a elaboração do presente estudo.

À minha mãe Eliane Tambosi e ao meu pai Roberto do Amaral pela sólida formação e carinho que sempre me propiciaram.

Ao meu irmão Roberto Felipe do Amaral, que, mesmo distante, estará sempre torcendo por mim, assim como eu estarei por ele.

À minha irmã Luana Tambosi Barreto, pela alegria que contagia o meu espírito.

À minha tia Tânia Maria Tambosi, pela qual nutro extrema admiração e, sem dúvida alguma, uma das grandes responsáveis pela conclusão dessa etapa da minha vida.

À minha noiva Patrícia Soares Gregório, pelo carinho, amor e atenção que me dedica constantemente.

E, finalmente, a todos os amigos que sempre contribuíram para minha formação ética e moral e que estarão sempre em minhas mais saudosas memórias.

*O que sabemos é uma gota,
o que não sabemos é um oceano.*
Isaac Newton

Lista de Figuras

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	2
FIGURA 2 - MÉTODO EMPREGADO ATUALMENTE NA DRAGAGEM DO CANAL DE ACESSO.	3
FIGURA 3 - DETALHE DOS BANCOS DE AREIA QUE MARGEIAM O CANAL DE ACESSO (EM VERDE) A ILHA DO MARANHÃO.	5
FIGURA 4 - DETALHE DO CANAL DE ACESSO.	6
FIGURA 5 - ESQUEMA DE POSICIONAMENTO DA LUA E SOL E INFLUÊNCIA NA MARÉ.....	10
FIGURA 6 - DADOS MAREGRÁFICOS DO TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA MADEIRA. (FEMAR, 2000)	11
FIGURA 7 - DISCRETIZAÇÃO DAS PARCELAS CONSTITUINTES DO CÁLCULO DA PROFUNDIDADE REQUERIDA DE NAVEGAÇÃO PARA CANAL DE ACESSO. (PIANC, 1997)	13
FIGURA 8 – PREVISÃO DE SQUAT COM A APLICAÇÃO DE FORMULAÇÕES PARA UM NAVIO GRANELEIRO ($L_{pp} = 251 \text{ M}$; $B = 32.25 \text{ M}$; $T = 12.80 \text{ M}$; $H = 15.36 \text{ M}$; $C_B = 0,905$). (ADAPTADO DE KRAUS, 2001)	16
FIGURA 9 - EFEITO DAS ONDAS NAS EMBARCAÇÕES.	17
FIGURA 10 - TÍPICAS CONFORMAÇÕES DE FUNDO EM ORDEM CRESCENTE AO AUMENTO DA VELOCIDADE. (FREDSOE & DEIGAARD, 1992)	19
FIGURA 11 - BATIMETRIA DA ÁREA IV DO CANAL DE ACESSO DO COMPLEXO PORTUÁRIO DO MARANHÃO, NO PERÍODO DE JUNHO DE 2006, AS COORDENADAS ESTÃO REFERENCIADAS NO SISTEMA UTM-CÓRREGO ALEGRE. COM DETALHE, ABAIXO, AO PERFIL LONGITUDINAL DO CENTRO DO CANAL. A BATIMETRIA MOSTRA ALTURAS DE ONDAS DE AREIA SUPERIORES A 10 METROS.....	20
FIGURA 12 - REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A FORMAÇÃO DE ONDAS DE AREIA.	21
FIGURA 13 - LOCALIZAÇÃO DE INCIDÊNCIA DE GRANDES CAMPOS DE ONDAS DE AREIA.....	22
FIGURA 14 - DESENHO ESQUEMÁTICO DA SEÇÃO DO EXPERIMENTO. (GASTEL, 1987)	23
FIGURA 15 - PERFIS DE VELOCIDADES MÉDIOS, PARA A CONDIÇÃO DE VAZANTE E DE ENCHENTE. MEDIDOS EM UMA CRISTA E EM UM CAVADO SUCESSIVO. (ADAPTADO DE GASTEL, 1987).....	24

FIGURA 16 - ESQUEMA DE INTERAÇÃO ENTRE O MÓDULO ST E O MÓDULO HD	30
FIGURA 17 - DADOS DE BATIMETRIA UTILIZADOS PARA A CRIAÇÃO DA SUPERFÍCIE.....	34
FIGURA 18 - LEVANTAMENTO DAS VELOCIDADES (M/S) NO PONTO JP-15 (10 METROS DO FUNDO) DOS DIAS 26 DE MAIO A 28 DE JUNHO DE 1980.....	37
FIGURA 19 - LEVANTAMENTO DAS VELOCIDADES (M/S) NO PONTO A1, PRÓXIMO À ÁREA I (5 METROS DA SUPERFÍCIE) DOS DIAS 23 A 24 DE ABRIL DE 1991.....	37
FIGURA 20 - LEVANTAMENTO DAS VELOCIDADES (M/S) NO PONTO A2, PRÓXIMO À ÁREA II (20 METROS DO FUNDO) DOS DIAS 05 A 11 DE ABRIL DE 1991.....	38
FIGURA 21 - LEVANTAMENTO DAS VELOCIDADES (M/S) NO PONTO A3, PRÓXIMO À ÁREA III (23 METROS DO FUNDO) DOS DIAS 05 A 23 DE ABRIL DE 1991.....	38
FIGURA 22 - LEVANTAMENTO DAS VELOCIDADES (M/S) NO PONTO A4, PRÓXIMO À ÁREA IV (20 METROS DO FUNDO) DOS DIAS 05 A 26 DE ABRIL DE 1991.....	39
FIGURA 23 - COMPARAÇÃO DA AMPLITUDE DE MARÉ COM REFERÊNCIA A ITAQUI ADOTADA PELA MARINHA DO BRASIL EM RELAÇÃO AO ESTUDO DA HIDROLOGIA (1980).	40
FIGURA 24 - COMPARAÇÃO DA DIFERENÇA DE FASE DE MARÉ COM REFERÊNCIA A ITAQUI ADOTADA PELA MARINHA DO BRASIL EM RELAÇÃO AO ESTUDO DA HIDROLOGIA (1980).....	40
FIGURA 25 - NÍVEL MÉDIO DA MARÉ DO ESTUDO DA HIDROLOGIA (1980), COM RELAÇÃO AO NÍVEL DE REDUÇÃO DA DHN (MARINHA DO BRASIL).....	41
FIGURA 26 - ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO ESTADO DO MARANHÃO.	42
FIGURA 27 - DADOS MAREGRÁFICOS DOS RECIFES MANOEL LUIZ. (FEMAR, 2000).....	43
FIGURA 28 - DADOS MAREGRÁFICOS DE MANGUNÇA. (FEMAR, 2000)	44
FIGURA 29 - DADOS MAREGRÁFICOS DA ILHA DE SANTANA. (FEMAR, 2000).....	45
FIGURA 30 - DADOS MAREGRÁFICOS DO PORTO DE TUTÓIA. (FEMAR, 2000) ..	46
FIGURA 31 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA MÉDIA DA ÁREA I.....	47
FIGURA 32 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA MÉDIA DA ÁREA II.....	48
FIGURA 33 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA MÉDIA DA ÁREA III.....	48

FIGURA 34 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA MÉDIA DA ÁREA IV.	49
FIGURA 35 - BATIMETRIA FINAL APÓS A CALIBRAÇÃO DO MODELO.....	51
FIGURA 36 - DEFINIÇÃO DOS CONTORNOS ABERTOS DO MODELO.....	52
FIGURA 37 - PREVISÃO DE MARÉ PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA DE MANGUNÇA (MA). NO PERÍODO DE 1 A 5 DE JUNHO DE 1980.	53
FIGURA 38 - INTERPOLAÇÃO LINEAR ENTRE O PONTO A (MARÉGRAFO DE MANGUNÇA) E PONTO B (INTERPOLAÇÃO LINEAR ENTRE RECIFE MANOEL LUÍS E MANGUNÇA). A FAIXA VERMELHA CORRESPONDE AOS PRIMEIROS 6 ELEMENTOS DA TABELA. A FAIXA AZUL MOSTRA O INSTANTE QUE ESTÁ SENDO REPRESENTADO NO CONTORNO.....	54
FIGURA 39 – MAPA CROMÁTICO DA PRIMEIRA MATRIZ DE RUGOSIDADE (FIGURA DA ESQUERDA) E ÚLTIMA (FIGURA DA DIREITA) APÓS A CALIBRAÇÃO DO MODELO. DETALHE PARA A BORDA LESTE E OESTE DO MODELO QUE APRESENTAM UMA FINA FAIXA DE VALORES ALTOS DE RUGOSIDADE PARA MELHORAR A ESTABILIDADE DO PROGRAMA (COR AZUL).	59
FIGURA 40 – COMPARAÇÃO DA ROSA DE CORRENTES PARA O PONTO A1 DO CONJUNTO DE DADOS DO INPH, NAS PROXIMIDADES DA ÁREA I.....	60
FIGURA 41 – COMPARAÇÃO DA ROSA DE CORRENTES PARA O PONTO A2 DO CONJUNTO DE DADOS DO INPH, NAS PROXIMIDADES DA ÁREA II.	61
FIGURA 42 – COMPARAÇÃO DA ROSA DE CORRENTES PARA O PONTO A3 DO CONJUNTO DE DADOS DO INPH, NAS PROXIMIDADES DA ÁREA III.....	62
FIGURA 43 – COMPARAÇÃO DA ROSA DE CORRENTES PARA O PONTO A4 DO CONJUNTO DE DADOS DO INPH, NAS PROXIMIDADES DA ÁREA IV.....	63
FIGURA 44 - COMPARAÇÃO DA ONDA DE MARÉ EM MARÇO DE 1985 PARA O PORTO DE ITAQUI (MA), REFERIDOS AO NÍVEL MÉDIO DO MAR.	64
FIGURA 45 – GRÁFICO COMPARATIVO DA COTA OBSERVADA EM RELAÇÃO A PREVISTA (BAIXA-MAR EM MÓDULO) PARA O PERÍODO DE MARÇO DE 1985 PARA O PORTO DE ITAQUI (MA), REFERIDOS AO NÍVEL MÉDIO DO MAR.....	65
FIGURA 46 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 6 HORAS ANTES DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	67
FIGURA 47 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 5 HORAS ANTES DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	68
FIGURA 48 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 4 HORAS ANTES DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	69

FIGURA 49 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 3 HORAS ANTES DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	70
FIGURA 50 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 2 HORAS ANTES DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	71
FIGURA 51 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 1 HORA ANTES DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	72
FIGURA 52 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	73
FIGURA 53 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 1 HORA DEPOIS DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	74
FIGURA 54 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 2 HORAS DEPOIS DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	75
FIGURA 55 - COMPARAÇÃO DO MODELO EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 3 HORAS DEPOIS DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	76
FIGURA 56 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 4 HORAS DEPOIS DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	77
FIGURA 57 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 5 HORAS DEPOIS DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	78
FIGURA 58 - COMPARAÇÃO DO MODELO (VETOR AZUL) EM RELAÇÃO À CARTA DE CORRENTES (VETOR AMARELO) FORNECIDA PELA MARINHA DO BRASIL. NA CONDIÇÃO DE 6 HORAS DEPOIS DA PREAMAR DE SÃO LUÍS.	79
FIGURA 59 - COMPARAÇÃO DA DIFERENÇA DE FASE DA ONDA DA MARÉ COM REFERÊNCIA A ITAQUI DO MODELO EM RELAÇÃO AO ESTUDO HIDROLOGIA (1980) E O ADOTADO PELA MARINHA DO BRASIL.	80
FIGURA 60 - COMPARAÇÃO DA AMPLITUDE DA ONDA DA MARÉ COM REFERÊNCIA A ITAQUI DO MODELO EM RELAÇÃO AO ESTUDO HIDROLOGIA (1980) E O ADOTADO PELA MARINHA DO BRASIL.	81
FIGURA 61 – SIMULAÇÃO DE TRAJETÓRIA DE DERIVADORES NO CENTRO (PONTO C) DAS ÁREAS I, II, III E IV DO CANAL DE ACESSO.	82

FIGURA 62 – SIMULAÇÃO DE TRAJETÓRIA DE DERIVADORES A 5 KM DA MARGEM LESTE (PONTO D) DAS ÁREAS I, II, III E IV DO CANAL DE ACESSO.	83
FIGURA 63 – SIMULAÇÃO DE TRAJETÓRIA DE DERIVADORES A 5 KM DA MARGEM OESTE (PONTO B) DAS ÁREAS I, II, III E IV DO CANAL DE ACESSO.	84
FIGURA 64 – SIMULAÇÃO DE TRAJETÓRIA DE DERIVADORES A 10 KM DA MARGEM LESTE (PONTO E) DAS ÁREAS I, II, III E IV DO CANAL DE ACESSO.	85
FIGURA 65 – SIMULAÇÃO DE TRAJETÓRIA DE DERIVADORES A 10 KM DA MARGEM OESTE (PONTO A) DAS ÁREAS I, II, III E IV DO CANAL DE ACESSO.	86
FIGURA 66 – APLICAÇÃO DA TEORIA DE MEYER-PETER E MÜLLER (TRANSPORTE DE SEDIMENTO DE FUNDO). DETALHE PARA OS CÍRCULOS VERMELHOS QUE INDICAM O POSICIONAMENTO DAS ÁREAS DE ESTUDO.	87
FIGURA 67: COMPARAÇÃO ENTRE AS FORMULAÇÕES E O OBSERVADO NA ÁREA IV.	94
FIGURA 68 - ALINHAMENTOS PROPOSTOS PARA O PERFIL LONGITUDINAL DO CANAL.	96
FIGURA 69 - PERFIL LONGITUDINAL NA ÁREA I, PARA OS TRÊS ALINHAMENTOS NO PERÍODO DE NOVEMBRO DE 1996 A AGOSTO DE 2001.	97
FIGURA 70 - PERFIL LONGITUDINAL NA ÁREA II, PARA OS TRÊS ALINHAMENTOS NO PERÍODO DE NOVEMBRO DE 1996 A AGOSTO DE 2001.	99
FIGURA 71 - PERFIL LONGITUDINAL NA ÁREA III, PARA OS TRÊS ALINHAMENTOS NO PERÍODO DE NOVEMBRO DE 1996 A MARÇO DE 2003.	100
FIGURA 72 - PERFIL LONGITUDINAL NA ÁREA IV, PARA OS TRÊS ALINHAMENTOS NO PERÍODO DE NOVEMBRO DE 1996 A MARÇO DE 2003.	101
FIGURA 73 - EVOLUÇÃO DAS CURVAS DE ISÓBATAS DE - 24 METROS, NA ÁREA I.	102
FIGURA 74 - EVOLUÇÃO DAS CURVAS DE ISÓBATAS DE - 24 METROS, NA ÁREA II.	103
FIGURA 75 - EVOLUÇÃO DAS CURVAS DE ISÓBATAS DE - 24 METROS, NA ÁREA III.	104
FIGURA 76 - EVOLUÇÃO DAS CURVAS DE ISÓBATAS DE - 24 METROS, NA ÁREA IV.	105
FIGURA 77 - MIGRAÇÃO DA TERCEIRA ONDA, NO ALINHAMENTO 3, DA ÁREA IV.	106
FIGURA 78 - MIGRAÇÃO DA DÉCIMA ONDA, NO ALINHAMENTO 1, DA ÁREA I.	107

FIGURA 79 - MÁSCARA CRIADA PARA O LEVANTAMENTO DE NOVEMBRO DE 1996 PARA AS ÁREAS IV E III – DETALHE PARA A NOMENCLATURA DAS CRISTAS DAS ONDAS	108
FIGURA 80 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 1	109
FIGURA 81 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 2	109
FIGURA 82 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 3	110
FIGURA 83 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 4	110
FIGURA 84 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 5	111
FIGURA 85 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 6	111
FIGURA 86 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 7	112
FIGURA 87 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 8	112
FIGURA 88 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 9	113
FIGURA 89 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 10	113
FIGURA 90 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 11	114
FIGURA 91 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 12	114
FIGURA 92 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 13	115
FIGURA 93 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 14	115
FIGURA 94 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 15	116
FIGURA 95 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 16	116
FIGURA 96 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ONDA 17	117
FIGURA 97 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ENVOLTÓRIA DA ÁREA IV	118
FIGURA 98 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ENVOLTÓRIA DA ÁREA III	118
FIGURA 99 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ENVOLTÓRIA DA ÁREA II	119
FIGURA 100 - GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DA CRISTA PARA A ENVOLTÓRIA DA ÁREA I	119
FIGURA 101 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA A DEFINIÇÃO DO PERÍODO DA PROFUNDIDADE NATURAL	120

FIGURA 102 - GRÁFICO DO MODELO PROPOSTO PARA A ÁREA IV.	121
FIGURA 103 - GRÁFICO DO MODELO PROPOSTO PARA A ÁREA III.....	122
FIGURA 104 - GRÁFICO DO MODELO PROPOSTO PARA A ÁREA II.....	124
FIGURA 105 – GRÁFICO DO MODELO PROPOSTO PARA A ÁREA I.....	125
FIGURA 106 - ANÁLISE DA CRITICIDADE DA ÁREA IV.....	126
FIGURA 107 - ANÁLISE DA CRITICIDADE DA ÁREA III.....	127
FIGURA 108 - ANALISE DA CRITICIDADE DA ÁREA II.	127
FIGURA 109 - ANALISE DA CRITICIDADE DA ÁREA I.....	128
FIGURA 110 - CÓPIA DO FAX ENCAMINHADO AO PORT CAPTAIN DO COMPLEXO PORTUÁRIO DA PONTA DA MADEIRA-CVRD.	132

Lista de Tabelas

TABELA 1 - RESUMO DAS MEDIÇÕES DE ONDAS.....	35
TABELA 2 - RESUMO DA LOCALIZAÇÃO E DATA DAS MEDIÇÕES DE CORRENTES.....	36
TABELA 3 - RESUMO DAS SIMULAÇÕES DE CALIBRAÇÃO.	55
TABELA 4 - DIFERENÇAS ENTRE O MODELO X OBSERVADO DA ONDA DE MARÉ ENTRE O PERÍODO DO DIA 4 A 14 DE MARÇO DE 1985 PARA O PORTO DE ITAQUI (MA).	65
TABELA 5 - CARACTERÍSTICAS DAS DRAGAGENS EFETUADAS NA ÁREA I.....	89
TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS DAS DRAGAGENS EFETUADAS NA ÁREA II.	90
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DAS DRAGAGENS EFETUADAS NA ÁREA III. ...	91
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DAS DRAGAGENS EFETUADAS NA ÁREA IV.	92
TABELA 9 - COMPARAÇÃO DA ALTURA ESTIMADA COM VALORES MÉDIOS OBSERVADOS NO PERÍODO DE 1989 A 1992, NA REGIÃO DA ÁREA IV.	93
TABELA 10 - COMPARAÇÃO DA ALTURA ESTIMADA COM VALORES MÉDIOS OBSERVADOS NO PERÍODO DE 1989 A 1992, NA REGIÃO DA ÁREA IV.	93
TABELA 11: VALORES DE α PARA A ÁREA IV.	121
TABELA 12 - COMPARAÇÃO DOS VALORES OBSERVADOS E PREVISTOS PELO MODELO PARA A ÁREA IV.	122
TABELA 13 - VALORES DE α PARA A ÁREA III.	122
TABELA 14 - COMPARAÇÃO DOS VALORES OBSERVADOS E PREVISTOS PELO MODELO PARA A ÁREA III.....	123
TABELA 15 - VALORES DE α PARA A ÁREA II.....	123
TABELA 16 - COMPARAÇÃO DOS VALORES OBSERVADOS E PREVISTOS PELO MODELO PARA A ÁREA II.	124
TABELA 17 - VALORES DE α PARA A ÁREA I.	124
TABELA 18 - COMPARAÇÃO DOS VALORES OBSERVADOS E PREVISTOS PELO MODELO PARA A ÁREA I.	125
TABELA 19 - CLASSIFICAÇÃO GERAL DA ÁREA IV.	128
TABELA 20 - CLASSIFICAÇÃO GERAL DA ÁREA III.....	129
TABELA 21 - CLASSIFICAÇÃO GERAL DA ÁREA II.	129

TABELA 22 - CLASSIFICAÇÃO GERAL DA ÁREA I.	129
---	-----

Lista de Símbolos

β	coeficiente de atrito dinâmico.
δ	índice de esbeltez de onda.
ζ	nível d' água
θ	parâmetro de Shields.
θ_c	valor crítico do parâmetro de Shields.
θ'	parâmetro de Shields relativo ao atrito superficial.
σ_g	desvio padrão geométrico granulométrico.
Ω	parâmetro de Corioli
ρ_w	densidade d' água
ν	viscosidade cinemática da água.
τ	tensão de cisalhamento
B	boca da embarcação.
c	concentração de sedimento.
C	número de Chézy.
C_B	coeficiente de bloco da embarcação.
d	diâmetro mediano dos grãos do material do leito.
$f(V)$	fator de atrito do vento
Fr	número de Froude.
g	aceleração da gravidade
I	inclinação da superfície da água que pode ser calculada por $U = (ghI)^{0,5}$.
k_N	rugosidade equivalente de Nikuradse (igual a 2,5d)
h	profundidade da água.
h'	espessura da camada limite que se desenvolve ao longo do dorso das conformações de fundo.
H	altura de onda.
L	comprimento de onda.
L_{pp}	comprimento da embarcação entre perpendiculares
M	número de Manning.
p	probabilidade de todas as partículas do sedimento em uma mesma camada tenham movimento; densidade de fluxo na direção x.
P_a	pressão atmosférica
q	densidade de fluxo na direção y.
q_b	taxa de transporte de sedimento do fundo.
q_s	taxa de transporte de sedimento em suspensão.
q_t	taxa de transporte de sedimento total.
s	densidade relativa do sedimento.
t	tempo
T	temperatura da água; calado estático do navio.
U	velocidade de atrito.
V	velocidade da corrente mediada na profundidade; velocidade da embarcação; velocidade do vento
x	coordenada espacial

y	coordenada espacial
Z	número de Rouse
z_0	cota do nível médio com relação ao nível de redução da DHN (Marinha do Brasil)

Resumo

A Área Portuária do Maranhão, situada na costa ocidental da Ilha de São Luís, na Baía de São Marcos, constitui-se no segundo maior complexo portuário da América Latina e um dos maiores do mundo em termos de movimentação de carga. Esta área portuária abrange o Complexo Portuário de Ponta da Madeira, da CVRD - Companhia Vale do Rio Doce S. A., o Porto de Itaqui, da EMAP – Empresa Maranhense de Administração Portuária e o Porto da ALUMAR, da Alcoa, Alcan, BHPBilliton e Abalco.

A caracterização da hidrosedimentologia do Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão foi conduzida a partir da compilação e análise dos dados de correntes existentes e da aplicação de modelagem computacional. A caracterização das conformações de fundo foi efetuada a partir da análise de mais de 20 anos de sondagens batimétricas nas áreas de interesse do Canal de Acesso. Com a caracterização da área pretende-se fornecer subsídios à Engenharia Portuária, possibilitando o planejamento de sondagens batimétricas e dragagens de manutenção do Canal.

Este trabalho também contempla uma metodologia para fornecimento de previsão de campos de corrente, a partir dos resultados das simulações hidrodinâmicas, e o fornecimento de previsão da evolução e migração das conformações de fundo.

A evolução das isóbatas na Área IV mostra que as formações de ondas de areia não evidenciam significativa mudança de posição com o tempo. Em compensação, a Área I, apresenta conformações de fundo com irregularidade da forma de onda, evidenciando que existe uma maior migração destas. O modelo de transporte de sedimentos indicou pequeno transporte resultante nas Áreas IV, III e II, que explica a reduzida migração dessas ondas quando comparadas com a Área I.

A determinação das ondas críticas para cada Área constitui-se instrumento na operação portuária, permitindo redução da área hidrografada para definir a tomada de decisão quanto à nova dragagem.

Abstract

The Maranhão Harbour Area is the second biggest harbour Complex of Latin America and one of biggest of the world in cargo handling is located at the western coast of São Luís Island in São Marcos Bay, this harbour area is composed by the Complex of Ponta da Madeira of CVRD – Companhia Vale do Rio Doce S. A., the Itaqui Harbour, of EMAP – Empresa Maranhense de Administração Portuária and the Alumar Harbour, of Alcoa, Alcan, BHPBilliton and Abalco.

The hydrossedimentological characterization of the Access Channel of Maranhão Harbour Area was achieved from current data review and analysis for numerical modelling application. The bottom sand waves description was made from more than 20 years bathymetrical surveys in the interest Areas of the Access Channel. The purpose of this characterization was to improve Harbour Engineering activities, the planning and scheduling of depth surveys campaigns and dredging maintenance.

This thesis also provides an approach to get current patterns predictions from the results of the hydrodynamical simulation, and for the prediction of the evolution and the migration of sand waves.

The Area IV bottom evolution shows that the sand waves have not significative temporal position shifting. Otherwise, in Area I bed forms have more irregular pattern, showing major wave migration. The sediment transport model pointed to a small sediment transport rate in Area IV, III and II, explaining the smaller migration pattern of these waves when compared with Area I.

The critical wave definition in each Area can be an harbour operation tool, reducing the surveyed area needed to take a new dredging maintenance decision.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivo	3
1.3 Localização	4
1.4 Justificativa	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 Ondas	8
2.2 Marés	9
2.3 Correntes	12
2.4 Canal de Acesso	12
2.5 Transporte de sedimentos	17
2.6 Conformações de fundo	18
2.7 Ondas de Areia	19
2.8 Formulações sobre ondas de areia	25
2.9 Histórico de Estudos da Área	25
3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA PARA MODELAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA.....	27
3.1 Módulo PP(Pre and Post Processing Module).....	27
3.2 Módulo HD (Hydrodynamic Module).....	27
3.3 Módulo ST (Sand Transport).....	29
3.3.1 Fórmula de Meyer-Peter e Müller	32
4. METODOLOGIA E RESULTADOS.....	33
4.1 Preparação da base de dados	33
4.1.1 Batimetria	33
4.1.2 Ondas	34
4.1.3 Ventos	36
4.1.4 Correntes.....	36
4.1.5 Maré.....	39
4.1.6 Sedimentos	47
4.2 Especificações para o processamento	50
4.2.1 Batimetria – Grades batimétricas	51
4.2.2 Condições de contorno	52
4.3 Calibração do Modelo	54
4.4 Validação	64
4.5 Propagação da Maré no Canal de Acesso.....	80
4.6 Trajetórias de Derivadores.....	81
4.7 Balanço Sedimentar Proposto.....	86
4.8 Mapeamento das conformações de fundo	88
4.9 Modelo de Evolução do Fundo.....	107
4.10 Validação do modelo de evolução.....	125

4.11 Análise da criticidade	126
5. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	130
6. CONCLUSÕES.....	134
7. BIBLIOGRAFIA	136
 ANEXO A – DADOS DE CORRENTOMETRIA	
 ANEXO B – CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO	
 ANEXO C - MODELO DE EVOLUÇÃO DE FUNDO	
 ANEXO D – HISTÓRICO DA DRAGAGEM DO CANAL DE ACESSO DE MARÇO DE 2005	

Capítulo 1. Introdução

CARACTERIZAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DO CANAL DE ACESSO
DO COMPLEXO PORTUÁRIO DO MARANHÃO

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

1. Introdução

1.1 Introdução

O Brasil, que teve a sua história iniciada nas grandes navegações e que possui uma costa de mais de oito mil e quinhentos quilômetros de extensão, tem no mar, além de fonte de riquezas e de lazer, o meio de transporte para cerca de 95% do seu comércio exterior.

A Área Portuária do Maranhão constitui-se no segundo maior complexo portuário do Brasil e um dos maiores do mundo em termos de movimentação de carga, com mais de 77 milhões de toneladas movimentadas em 2004, isto é mais de 12% da movimentação portuária anual do país. Situada na costa ocidental da Ilha de São Luís, na Baía de São Marcos, esta área portuária abrange o Complexo Portuário de Ponta da Madeira, da CVRD - Companhia Vale do Rio Doce S. A., o Porto de Itaqui, da EMAP – Empresa Maranhense de Administração Portuária e o Porto da ALUMAR. Em termos do potencial logístico do transporte aquaviário brasileiro esta região constituir-se-á nos próximos anos no principal pólo portuário brasileiro em movimentação de cargas, em função dos projetos previstos para a área. Localizando-se próximo dos grandes mercados consumidores, como: Estados Unidos, Europa e Ásia através do Canal do Panamá. Constituindo-se em escoadouro natural de ampla região geoeconômica, que é a Amazônia Legal Oriental (ver Figura 1), as principais cargas movimentadas são os minérios de ferro e manganês, provenientes da Província Mineral de Carajás (PA), ferro gusa, concentrado de cobre, alumina e alumínio, resultado do beneficiamento da bauxita provinda do Rio Trombetas (PA), grãos e granéis líquidos. Nos próximos anos estão previstos projetos de aumento de berços de atracação e áreas retroportuárias visando atender ao incremento de exportação destas cargas, bem como a importação de carvão para usinas termelétricas e siderúrgicas, embarque de produtos siderúrgicos e maior movimentação de contêineres.

Figura 1 - Localização da área de estudo.

As ondas de areia num canal de navegação passam a ser um fenômeno morfológico de grande relevância para a segurança náutica em função do porte dos navios que navegam nesta via. De fato, para navios como os VLOC/VLCC (Very Large Ore/Crude Carrier - com porte bruto superior a 200.000 tpb), ou ULOC/ULCC (Ultra Large Ore/Crude Carrier - com porte bruto superior a 350.000 tpb), com calados superiores a 19,0 m e comprimento entre perpendiculares superiores a 300 m (PIANC, 1997), as ondas de areia afetam diretamente a folga líquida sob a quilha (pé do piloto) e, em determinadas situações (como o Canal de Acesso à Área Portuária do Maranhão) a embarcação deste porte pode estar sobre até três cristas destas ondas. Claramente esta realidade afeta a condição de navegabilidade, que não corresponde mais à situação de águas de profundidade irrestrita.

Atualmente a dragagem do Canal é de baixo rendimento, já que parte do tempo a boca de dragagem está sobre uma crista, dragando efetivamente, mas, parte do tempo, atua sobre um cavado, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Método empregado atualmente na dragagem do Canal de Acesso.

1.2 Objetivo

Este trabalho visa a implementação de modelo hidrodinâmico no Canal de Acesso ao Complexo Portuário do Maranhão e proximidades, bem como a caracterização das conformações de fundo de ondas de areia, que ocorrem em determinadas áreas do Canal de Acesso. O modelo hidrodinâmico é um sistema de modelagem numérica para simulações de variações do nível e fluxo d'água, vento e ondas em estuários, baías e áreas costeiras em geral, através das simulações de correntes de maré.

Com a caracterização da área pretende-se fornecer subsídios à Engenharia Portuária, possibilitando o planejamento de sondagens batimétricas e dragagens de manutenção do Canal, tornando-se conhecida a periodicidade e a região necessária para a mesma.

Este trabalho também contempla a meta de apresentar uma metodologia para fornecimento de previsão de campos de corrente, a partir dos resultados das simulações hidrodinâmicas, e o fornecimento de previsão da evolução e migração das conformações de fundo. Portanto, torna-se necessário conhecer e prever o comportamento hidráulico e morfológico do transporte de sedimentos dessas áreas peculiares.

1.3 Localização

O Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão é via de acesso para o Complexo Portuário de Ponta da Madeira (CVRD), Porto de Itaqui e o Porto da ALUMAR, constituindo-se no mais longo, largo e profundo Canal de Acesso balizado, das áreas portuárias brasileiras.

O Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão desenvolve-se em sua maior extensão na sub-área oceânica da Plataforma Continental do Maranhão (Golfão Maranhense), sendo o restante situado na própria Baía de São Marcos. Ao largo da costa do Maranhão, em frente à Baía de São Marcos, observa-se a formação de bancos de areia, ver Figura 3, margeando o Canal de Acesso, tendo sido por consequência necessário balizar o Canal em seus cerca de 100 km a partir da Ponta da Madeira. O Canal apresenta quatro áreas especiais denominadas Área I, Área II, Área III e Área IV, no sentido sudoeste-nordeste respectivamente, conforme Figura 4. Essas áreas apresentam a formação de ondas de areia. Segundo CVRD (2001), a largura do Canal, em quase toda a extensão, é de 1.000 m, mas nas áreas especiais a largura mínima é de 500 m.

Figura 3 - Detalhe dos bancos de areia que margeiam o Canal de Acesso (em verde) a Ilha do Maranhão.

Figura 4 - Detalhe do Canal de Acesso.

1.4 Justificativa

O Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão, o segundo em movimentação de carga do país, com frequência superior a 1000 navios/ano, é praticado por navios da classe ULOC (Ultra Large Ore Carrier), com portes brutos superiores a 300.000 tpb, exigindo profundidades mínimas de 24 m. A formação de ondas de areia é motivo de grande preocupação, tornando-se, assim, necessário um constante acompanhamento da região e, quando necessário, a atuação de uma dragagem de manutenção. Estas apresentam pouco rendimento, pois parte do tempo a boca de dragagem está sobre uma crista, dragando efetivamente, mas, parte do tempo, atua sobre um cavado, operando em vazio. Portanto, torna-se necessário conhecer e prever o comportamento hidráulico e morfológico do transporte de sedimentos dessas áreas peculiares.

Assim, é de grande importância a existência de estudos que caracterizem o comportamento da propagação da maré e a circulação das correntes de maré e do transporte de sedimentos associados ao Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão. Estes estudos incluem, fundamentalmente, o estudo das marés e correntes associadas, principais agentes do transporte de areias que modelam os fundos da Baía de São Marcos. Em última análise, é imprescindível que se tenha uma metodologia confiável para a análise da evolução morfológica, tendo em vista o planejamento de dragagens com maior eficiência.

Capítulo 2. Revisão Bibliográfica

CARACTERIZAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DO CANAL DE ACESSO
DO COMPLEXO PORTUÁRIO DO MARANHÃO

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo estão apresentados os principais conceitos relativos aos processos hidrosedimentológicos, bem como os relativos à implantação de um Canal de Acesso e dragagem, para que se possa compreender melhor as características da área do Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão. Ao final é apresentado o histórico de estudos na área.

Para poder caracterizar os processos hidrodinâmicos é necessário que se compreendam as variantes do processo, as correntes, as ondas, as marés, além de propriedades físico-químicas dos oceanos.

2.1 Ondas

A agitação das ondas de oscilação desempenha dominante ação em movimentar os sedimentos do fundo das áreas costeiras, bem como originando as correntes de arrebatamento longitudinais, transversais e as velocidades de transporte de massa, as quais transportam os sedimentos.

As ondas podem ser geradas por efeito de ventos locais soprando sobre o mar numa certa pista de sopro (“fetch”) num determinado tempo, as vagas; ou serem produzidas por tempestades distantes, quando as ondulações (ou marulhos) têm maior período, e conseqüentemente maior comprimento, com menor dispersão de períodos, rumos e alturas, conseqüentemente menor esbeltez (δ), do que as vagas.

O monitoramento sistemático da agitação evidencia que os ventos locais e as vagas têm pouco efeito sobre as dimensões e propagação das ondulações, sendo mínima a interação. Este fato é devido a que estas últimas ondas, uma vez deixando a área da tempestade geradora, têm sua energia atenuada, com conseqüente redução de altura a alguns centímetros e pouca área exposta ao vento (ALFREDINI, 2005).

2.2 Marés

A compreensão do fenômeno das marés é fundamental para o desenvolvimento do modelo hidrodinâmico. A maré astronômica, por se tratar de um fenômeno periódico, é previsível.

A maré astronômica pode ser caracterizada principalmente pela oscilação regular do nível d'água, variação da altura e com período usual de 12 horas e 25 minutos, dita maré semi-diurna. As oscilações de subida e descida do nível d'água são chamadas respectivamente de enchente e vazante.

A combinação de efeitos da força de atração gravitacional da Lua e do Sol sobre as massas líquidas e da força centrífuga dos sistemas Terra-Lua e Terra-Sol dá origem às marés. A força centrífuga tem a mesma magnitude e direção em todos os pontos enquanto a força gravitacional exercida pela Lua (Sol) na Terra varia tanto em magnitude como direção. A força geradora de maré é sempre a resultante das forças gravitacional e centrífuga em um determinado ponto. A Figura 5 apresenta um esquema da interação do Sol, Lua e Terra e a influência nas marés.

Figura 5 - Esquema de posicionamento da Lua e Sol e influência na maré.

A variação regular na declinação do Sol e da Lua e as cíclicas variações de posição com relação a Terra podem ser traduzidas por constituintes harmônicas, cada uma contribuindo em amplitude, período e fase com a maré (ALFREDINI,2005).

Para prever as marés astronômicas utilizam-se estas componentes harmônicas. Este método harmônico pressupõe que a maré observada é a somatória de um número de componentes ou marés parciais, cada uma com seu período característico. Estas componentes têm amplitudes de maré e fase (fração do ciclo de maré completada em relação a uma referência de tempo) diferentes para cada localidade. A principal componente da maré astronômica é a M2, a principal lunar, com período de 12 horas e 25 minutos, correspondendo a uma componente de período semi-diurno. Na Figura 6 estão apresentados os dados e

parâmetros maregráficos, com as amplitudes e fases das componentes harmônicas do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		PONTA DA MADEIRA (TERMINAL CVRD) – MA			
Localização :		Na quina do pier dos rebocadores			
Organ. Responsável :		DHN / CVRD			
Latitude :		02° 33,9' S		Longitude : 44° 22,7' W	
Período Analisado :		01/08/91 a 31/07/93		Nº de Componentes : 105	
Análise Harmônica :		Método Almirante Santos Franco			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		VII H 11 min		Nível Médio (Zo): 328 cm acima do NR.	
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		597 cm acima do NR.		Média das Preamares de Quadratura (MHWN) : 482 cm acima do NR.	
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		59 cm acima do NR.		Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) : 174 cm acima do NR.	
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	9,5	291
Ssa	-	-	N ₂	38,6	186
Mm	-	-	NU ₂	10,2	176
Mf	-	-	M ₂	211,6	199
MTM	-	-	L ₂	13,1	203
Msf	-	-	T ₂	3,9	229
Q ₁	1,7	192	S ₂	57,8	235
O ₁	9,3	211	K ₂	16,1	229
M ₁	1,2	214	MO ₃	1,2	324
P ₁	3,1	238	M ₃	2,0	313
K ₁	9,9	240	MK ₃	0,7	026
J ₁	0,5	282	MN ₄	1,5	177
OO ₁	-	-	M ₄	5,0	183
MNS ₂	3,3	261	SN ₄	0,6	114
2N ₂	7,9	191	MS ₄	-	-
Referências de Nível: RN implantado na calçada do edifício da Administração do Porto de Itaquí.					
Obs: Outros Períodos: 01/01/88 a 09/02/88; 14/01/88 a 20/05/88; 11/07/88 a 30/07/88; 02/08/88 a 16/08/88; 19/08/88 a 04/11/88; 07/11/88 a 24/11/88; 26/11/88 a 31/12/88; 18/11/89 a 10/12/89; 05/01/91 a 26/02/91; 01/07/91 a 30/12/94; 01/01/95 a 30/06/96.					
Consta das Tábuas das Marés					

Código BNDO: 30149

Figura 6 - Dados maregráficos do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira. (FEMAR, 2000)

Por outro lado, as condições meteorológicas podem alterar consideravelmente a altura e horário de uma determinada maré, produzindo as marés meteorológicas. Estes efeitos não podem ser previstos, apesar de produzirem ressacas consideráveis, principalmente na Costa Sul e Leste do Brasil, até a Bahia.

2.3 Correntes

As correntes são as responsáveis pelos movimentos horizontais das águas oceânicas. Elas podem ser classificadas, segundo IPPEN (1966) em:

- correntes de densidade;
- correntes de maré;
- correntes induzidas por ondas de superfície;
- correntes de deriva.

As correntes de densidade são aquelas que ocorrem pelas diferenças de salinidade ou de temperatura devido às insolações variáveis na superfície terrestre.

Já as correntes de maré são produzidas, como o próprio nome diz, pelas oscilações da maré. Sendo assim, têm como característica básica a periodicidade. Atingem toda a camada líquida e podem ser giratórias (tomam todas as direções possíveis), alternativas (escoamento bidimensional – vazante e enchente) ou hidráulicas (em estreitos ou afunilamentos).

As correntes induzidas por ondas de superfície na zona de arrebentação geram movimentos que podem causar erosão, ou assoreamento, e transporte dos sedimentos de praia. Estas correntes são de grande importância no transporte de sedimentos litorâneo.

Por fim, as correntes de deriva são produzidas pela ação contínua do vento, sendo sua influência sentida na proximidade da superfície.

Na modelação em estudo o principal agente é a maré e, portanto, as correntes de maré têm maior importância.

2.4 Canal de Acesso

O valor da profundidade requerida pela embarcação tipo no Canal de Acesso portuário pode ser considerado, conforme método determinístico, como uma somatória que inclui

aspectos relacionados à maré local, bem como efeitos de onda, squat (afundamento dinâmico paralelo acrescido ao trim), calado estático da embarcação tipo, e que no presente caso será considerado aquele extremo, ou seja, o valor de calado em condições de pleno carregamento, além da variação da densidade, folgas de dragagem e eventuais margens de segurança envolvendo estes mesmos itens (ALFREDINI, 2005). A representação esquemática deste processo está sintetizada na Figura 7.

Figura 7 - Discretização das parcelas constituintes do cálculo da profundidade requerida de navegação para Canal de Acesso. (PIANC, 1997)

Em relação a estes aspectos, algumas considerações se fazem necessárias, a saber:

- Maré

A influência deste fator é notória, uma vez que determina a situação crítica sob a qual se dará a obtenção da profundidade requerida pela embarcação. Neste caso, toma-se como valor característico aquele correspondente à menor baixa-mar, incluindo efeito meteorológico, pois se apresenta como a situação mais desfavorável, ou seja, máxima diminuição da profundidade disponível.

- Tolerância para incertezas no nível d'água

- Variação de maré durante a travessia do Canal

Para o Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão, conforme a Carta Náutica nº 410 da DHN da Marinha do Brasil, os navios devem aplicar os seguintes fatores de correções:

- Nas proximidades da Área IV a maré é 60% da amplitude do marégrafo do Complexo Portuário de Ponta da Madeira e está defasada de 1 hora e 15 minutos.
- Nas proximidades da Área II a maré é 70% da amplitude do marégrafo do Complexo Portuário de Ponta da Madeira e está defasada de 1 hora.
- Nas proximidades da Área I a maré é 80% da amplitude do marégrafo do Complexo Portuário de Ponta da Madeira e está defasada de 30 minutos.

Assim, por exemplo, o navio Berge Stahl, maior mineraleiro sólido do mundo ($L_{pp} = 344$ m, $B = 62$ m e $T = 23$ m) pode desenvolver velocidade de 12 nós e demora aproximadamente 6 horas para atravessar o Canal de Acesso, com calado de 23 metros.

- Calado estático da embarcação tipo

Atualmente o calado da embarcação tipo do Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão é de 23,0 m.

- Variação de densidade

Leva em conta eventuais variações da densidade da água, uma vez que o afundamento aumenta com água de menor densidade.

Na área do Complexo Portuário de Ponta da Madeira a densidade da água é aproximadamente $1,013 \text{ tf/m}^3$. Já no início do Canal de Acesso, na Área IV, é em torno de $1,025 \text{ tf/m}^3$.

- Squat

Apesar de existirem inúmeras formulações teóricas e empíricas sobre a determinação do afundamento squat (afundamento paralelo + trim), conforme pode ser visto na Figura 8, apresenta-se aquela recomendada pela PIANC (1997), todas as grandezas representadas estão em unidades do Sistema Internacional.

$$\text{Squat(m)} = 2,4 \times \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \times \frac{Fr^2}{\sqrt{(1-Fr^2)}}$$

sendo:

$$\nabla = C_B \times L_{pp} \times B \times T : \text{Deslocamento}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times h}}$$

onde:

C_B - coeficiente de bloco da embarcação.

L_{pp} - comprimento entre perpendiculares (m).

B - boca (m).

T - calado (m).

V - velocidade (m/s).

g - aceleração da gravidade (m/s^2).

h - profundidade (m).

Figura 8 – Previsão de squat com a aplicação de formulações para um navio graneleiro ($L_{pp} = 251$ m ; $B = 32.25$ m ; $T = 12.80$ m ; $h = 15.36$ m ; $C_B = 0,905$). (adaptado de KRAUS, 2001)

- Ondas

É sabido que os efeitos que uma onda causa numa dada embarcação no que tange ao seu movimento vertical dependem de muitos fatores, dentre os quais citam-se o comprimento e velocidade da embarcação, bem como parâmetros característicos da onda (altura, período e direção). Conforme mostrado na Figura 9, o maior efeito das ondas sobre a embarcação ocorre quando o seu comprimento é muito menor do que o comprimento da onda, situação em que pode-se considerar um acréscimo de profundidade de metade da altura da onda, quando a embarcação encontra-se no cavado da onda.

Figura 9 - Efeito das ondas nas embarcações.

- Folga líquida sob a quilha

Na prática marítima adota-se o valor de 2 pés $\cong$ 0,60m como margem de segurança de folga líquida sob a quilha (pé do piloto), valor que deve ser aumentado para 1,00 m pelo menos nos navios de maior deslocamento.

- Tolerâncias para incertezas do leito (sedimentação e dragagem), alterações do leito entre dragagens e na execução da dragagem.

2.5 Transporte de sedimentos

O estudo da dinâmica de movimentação dos sedimentos marítimos começou a ter destaque a partir da segunda metade do século XX, quando em áreas de importância econômica foi necessário contornar problemas de assoreamento (áreas portuárias) e erosão de praias (turismo e social) (FREDSOE & DEIGAARD, 1992).

Sendo as costas tipicamente formadas por material arenoso, as ações do meio (naturais e antrópicas) são muito rápidas, levando ao chamado transporte de sedimentos. Apesar das várias alterações morfológicas, a costa e fundo do mar tendem a um equilíbrio dinâmico. Isto significa que a mesma quantidade de material que sai de uma unidade morfológica, que é a área formada por um processo natural que tem uma composição definida e um conjunto de

características físicas e visuais semelhantes, é aproximadamente a mesma que entra (SUGUIO, 1973).

As obras de Engenharia feitas ao longo da costa alteram esta dinâmica, podendo provocar erosões e/ou assoreamentos nas áreas próximas. Daí o estudo desses processos ser tão importante.

É claro que a movimentação dos sedimentos é algo extremamente complexo, pois envolve um grande número de parâmetros ligados ao processo. Vários são os estudos que foram feitos visando encontrar uma formulação mais adequada para descrever a vazão sólida de sedimentos (total, em suspensão e de fundo), porém todas se baseiam em constatações experimentais específicas e assumem grandes incertezas (SUGUIO, 1973).

2.6 Conformações de fundo

Um leito móvel exposto a ondas e correntes geralmente não é plano, em geral apresentando diferentes formas de ondas. Uma vez iniciado o transporte por arrastamento, com o crescimento progressivo da velocidade do escoamento (e da tensão de arrastamento no leito), o leito móvel passa a apresentar, em ordem seqüencial de acréscimo de energia, as seguintes conformações (ver Figura 10): rugas, dunas com rugas, dunas, transição, leito plano e antidunas.

Evidentemente, nas situações em que não esteja presente o leito plano, a rugosidade de forma é muito mais importante na resistência hidráulica oposta ao escoamento do que a rugosidade superficial. Assim, é muito importante poder estimar as características das conformações de fundo, pois para definir corretamente a curva que correlaciona a profundidade do escoamento com a vazão líquida é fundamental conhecer os coeficientes de resistência ao escoamento (FREDSOE & DEIGAARD, 1992).

Figura 10 - Típicas conformações de fundo em ordem crescente ao aumento da velocidade. (FREDSOE & DEIGAARD, 1992)

2.7 Ondas de Areia

Ondas de areia são uma classe de conformação de fundo, composta predominantemente de sedimento não coesivo, em forma de onda dos sedimentos transportados, conforme pode ser visto na Figura 11, com detalhe para a formação de cristas (regiões encarnadas) e cavados (regiões verdes). Trata-se de mega enrugamentos que se formam onde a água tem profundidade suficiente e o aporte de areia é abundante com velocidades do escoamento relativamente fortes, geralmente desenvolvidas por correntes de maré. Estas formações têm comprimentos superiores a 10 m, podendo chegar a centenas de metros, e alturas acima de 0,75 m (FENSTER et alli, 1990).

Figura 11 - Batimetria da Área IV do Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão, no período de junho de 2006, as coordenadas estão referenciadas no sistema UTM-Córrego Alegre. Com detalhe, abaixo, ao perfil longitudinal do centro do Canal. A batimetria mostra alturas de ondas de areia superiores a 10 metros.

O perfil das ondas de areias é simétrico, a não ser que haja uma grande corrente residual, isto é uma corrente de maré com sentido preferencial de vazante ou enchente. A assimetria do perfil das ondas de areia está intimamente ligada à migração das ondas de areia. Essas ondas podem migrar no rumo da propagação da corrente residual, podendo chegar a uma taxa típica de algumas dezenas de metros por ano (FENSTER et alli, 1990).

Para se ter formação de ondas de areia é indispensável ter profundidade suficiente, material não coesivo abundante e correntes de maré elevadas (ver Figura 12). Porém outros fatores exercem influência como, dentre eles, as ondas, as correntes residuais, o transporte de sedimento em suspensão, declividade do fundo e o transporte de sedimento do fundo (BLONDEAUX et alli, 2001).

Figura 12 - Requisitos necessários para a formação de ondas de areia.

Poucas áreas do mundo apresentam os requisitos necessários para a formação de grandes campos de ondas de areia, conforme pode ser visto na Figura 13. Cite-se o caso do canal de Bisanseto (Japão), região próxima a Kobe, onde o desenvolvimento dessas ondas limita a profundidade do Canal (KATOH et alli, 1998; KNAAPEN et alli, 2002). Durante o

período de 1981 até 1983 foram dragados cerca de 2,2 milhões de m³, mas em apenas 10 anos desenvolveram-se ao mesmo patamar de 1981.

No Estreito de Messina (Itália), localizado entre a Sicília e a Calábria, estão assentadas no fundo do mar diversas tubulações e cabos, que não foram dimensionados considerando a sobrecarga de uma onda de areia, o que tem sido estudado pela Universidade de Catania (SANTORO et alli, 2002).

Figura 13 - Localização de incidência de grandes campos de ondas de areia.

Gastel (1987) publicou a diferença do perfil de velocidade no Mar do Norte, em um campo de ondas de areia localizado entre a Inglaterra e a Holanda. Utilizou um navio posicionado na crista e outro no cavado (próximo), conforme Figura 14. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Figura 15.

Figura 14 - Desenho esquemático da seção do experimento. (GASTEL, 1987)

Figura 15 - Perfis de velocidades médios, para a condição de vazante e de enchente. Medidos em uma crista e em um cavado sucessivo. (adaptado de GASTEL, 1987)

O perfil de velocidade tende a valores máximos nas proximidades da superfície. Para o perfil posicionado na crista existe uma quebra em relação a uma curva $U = A.z^B$ (onde A e B são constantes a serem determinadas), apresentando valores abruptos próximo da superfície. Existe uma maior variação do valor de velocidade ao longo do perfil no cavado do que na crista. No cavado a velocidade próxima do fundo é a metade do valor da superfície.

2.8 Formulações sobre ondas de areia

A seguir elencam-se algumas formulações conhecidas que abordam a questão da formação das ondas de areia, considerando que as mesmas já tenham atingido a estabilidade.

Fórmula Empírica de Dalrymple (apud LEVIN et alli, 1992)

Dalrymple em 1984, baseado em observações realizadas na Baía de Fundy (Canadá), obteve a seguinte correlação:

$$H = 0,0637 \cdot L^{0,733}$$

Onde: H é a altura da onda (m); L é o comprimento de onda(m).

Fórmula Empírica de Flemming (apud FLEMMING, 2000)

Flemming, com base em 1491 conjuntos de dados, seguindo linha semelhante a Dalrymple, definiu a seguinte regressão:

$$H = 0,0677 \cdot L^{0,8098}$$

Onde: H é a altura da onda (m); L é o comprimento de onda (m).

Fórmula Empírica de Haque e Mahmood (apud LEVIN et alli, 1992)

Essa equação foi proposta em 1985, apresentando para ondas de areia uma relação da altura em função do comprimento e da profundidade.

$$\frac{H}{L} = 0,4(m)^{-1,178(1-e^{-\frac{2,5D}{L}})}$$

Onde: H é altura da onda (m); L é o comprimento de onda (m); m é um adimensional que descreve o escoamento num plano (2,5 ~ 6); D é a profundidade (m).

2.9 Histórico de Estudos da Área

Embora a área tenha grande interesse nacional, trata-se de uma área pouco estudada. Abaixo são apontados alguns dos estudos desenvolvidos para o Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão.

Hidrologia (1980) forneceu o primeiro estudo da propagação da maré no Canal de Acesso. Com o monitoramento do ponto JP-15 (nas proximidades da Área IV) durante o período de 10/01/1980 a 16/09/1980. O estudo balizou as mudanças propostas pela Carta Náutica – Proximidades da Baía de São Marcos com a adoção de zoneamento de amplitude e fase da maré ao longo do Canal.

Pereira (1993) propôs o primeiro modelo de circulação. Com a batimetria discretizada em elementos de 9800 m. Simulando três condições diferentes: a primeira considerando apenas a componente M2 de maré separada das demais componentes, a segunda com as componentes M2, K1, N2, S2 e K2 e a terceira com as componentes da segunda mais a ação de efeitos meteorológicos. Chegou à conclusão de que os efeitos meteorológicos influenciam muito pouco na hidrodinâmica da região e que ocorrem efeitos de ressonância na Baía de São Marcos.

FCTH (1995) apresentou uma análise da implantação e manutenção do Canal de Acesso, descrevendo a evolução das isóbatas nas respectivas regiões de interesse, mapeando as cristas e cavados, além de um modelo de circulação com maior resolução, tendo a batimetria discretizada em elementos de 2800 metros. Esse modelo obteve, em comparação a maré observada em Itaquí, um erro médio de 21 cm na amplitude.

FCTH (2005) acompanhou a dragagem de março de 2005 do Canal de Acesso e analisou alternativas de linhas de atuação quanto às operações de dragagem a partir do conhecimento adquirido. Estas informações subsidiaram tecnicamente a CVRD na tomada de decisão sobre o comportamento morfológico esperado dos fundos, propondo novas alternativas para a realização da dragagem.

Capítulo 3. Descrição do Programa para Modelação Hidrossedimentológica

CARACTERIZAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DO CANAL DE ACESSO
DO COMPLEXO PORTUÁRIO DO MARANHÃO

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

3. Descrição do programa para modelação hidrossedimentológica

O programa utilizado para a modelação hidrossedimentológica é o MIKE 21, de posse do Laboratório de Hidráulica sob licença educacional. Este programa foi desenvolvido pelo DHI (DANISH HYDRAULIC INSTITUTE WATER & ENVIRONMENT). Abaixo estão descritos os módulos que serão utilizadas para a modelação.

3.1 Módulo PP(*Pre and Post Processing Module*)

O módulo PP é utilizado para preparar as bases de dados para o processamento no programa e para a visualização das saídas gráficas e animações dos resultados. Neste caso foram feitas a previsão e análise de marés, a criação e edição da grade batimétrica e a criação das condições de contorno das marés.

3.2 Módulo HD (*Hydrodynamic Module*)

O módulo HD é um sistema de modelagem numérica para a simulação das variações do nível e fluxo d'água em estuários, baías e áreas costeiras em geral. Ele simula fluxos variáveis em duas dimensões em um nível vertical homogêneo. Portanto é este módulo que efetivamente faz os cálculos hidrodinâmicos.

As equações utilizadas para descrever as variações do fluxo e do nível d'água são a equação da conservação de massa e as equações do momento integradas na vertical.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ & + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p \\ & - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ & + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega p \\ & - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Onde:

$h(x,y,t)$ – profundidade d'água (m)

ζ – nível d'água (m)

p, q – densidade de fluxo na direção x e y ($m^3/s/m$)

$C(x,y)$ – coeficiente de Chezy ($m^{0.5}/s$)

g – aceleração da gravidade (m/s^2)

$f(V)$ – fator de atrito do vento

V, V_x, V_y – velocidade do vento e das componentes na direção x e na direção y

Ω - parâmetro de Corioli (s^{-1})

$P_a(x,y,t)$ – pressão atmosférica ($kg/m/s^2$)

ρ_w – densidade d' água (kg/m^3)

x, y – coordenadas espaciais (m)

t – tempo (s)

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ – componentes da tensão de cisalhamento

O arquivo de grade batimétrica é formado a partir de uma matriz cujos valores dos elementos são as cotas dos pontos da superfície de fundo. Estes pontos têm um espaçamento definido de acordo com o tamanho da área a ser modelada e da precisão que se deseja.

Por fim, as simulações fornecem como resultados parâmetros hidrodinâmicos, tais como, os níveis de maré, a velocidade e direção das correntes em toda a área de estudo. Além disso, serve como suporte ao módulo ST (Sand Transport) que será utilizado para analisar o comportamento sedimentológico da região.

Ressalta-se, ainda, que além da batimetria e dos contornos abertos pode-se colocar como dados de entrada no modelo: a ação de ondas, o atrito de fundo, a mudança da viscosidade d'água, a ação de ventos, fontes e sumidouros de vazões líquidas.

3.3 Módulo ST (Sand Transport)

Este módulo faz o cálculo básico do transporte de sedimentos produzido pela ação de ondas e correntes combinadas. Os principais resultados são o transporte de sedimentos em

suspensão e o transporte de sedimentos de fundo, em duas direções e combinando ondas que arrebatam e as correntes atuantes.

O módulo ST funciona em conjunto com o módulo HD, onde as condições iniciais da malha são preparadas. A Figura 16 mostra esta interação, na aplicação deste estudo.

Figura 16 - Esquema de interação entre o módulo ST e o módulo HD

Os dados de entrada necessários para o desenvolvimento do cálculo são: batimetria, granulometria do sedimento e campo de correntes.

O módulo ST apresenta cinco diferentes teorias de transporte de sedimentos para o cálculo em cada ponto da malha de circulação, sendo eles:

- Teoria do transporte total de Engelund e Hansen
- Teoria do transporte total de Engelund e Fredsøe (arrastamento de fundo e em suspensão)

- Formulação do transporte total de Zyserman e Fredsøe (arrastamento de fundo e em suspensão)
- Teoria do transporte de arrastamento de fundo de Meyer-Peter e Müller
- Formulação do transporte total de Ackers e White

Para este estudo foi aplicada a Teoria de transporte de arrastamento de fundo de Meyer-Peter e Müller, tendo em vista o objetivo de análise do comportamento das conformações de fundo.

A conversão do número de Manning para o número de Chézy faz-se pela fórmula:

$$C = Mh^{1/6}$$

A velocidade de atrito total de fundo é calculada a partir de:

$$U_f = \frac{\sqrt{g}}{C} V, \text{ sendo } g \text{ a aceleração da gravidade}$$

A tensão de cisalhamento adimensional no fundo (parâmetro de Shields) é dada por:

$$\theta = \frac{U_f^2}{(s-1)gd}$$

A velocidade de atrito superficial é determinada de acordo com Einstein (1950) por:

$$\frac{V}{U'_f} = 6 + 2,5 \ln \left(\frac{h'}{k_N} \right) \quad \text{juntamente com:}$$

$$U'_f = (gh'I)^{0,5}$$

O material do leito é caracterizado através do diâmetro mediano do material d e o seu desvio padrão geométrico definido como:

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$$

Pode ser fornecido no formato de grade o diâmetro mediano do material e o seu desvio padrão.

A determinação da velocidade de sedimentação do material em suspensão, w_s , requer conhecimento sobre o tamanho mediano da fração do material em suspensão d_s . Para determiná-lo o critério utilizado é:

$$w < 0,8U'_f$$

A fórmula de Rubey (1933) é utilizada para relacionar o tamanho do grão, d , que sedimenta com uma velocidade w :

$$w = \sqrt{g(s-1)d} \left(\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{g(s-1)d^3}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{g(s-1)d^3}} \right)$$

onde ν é a viscosidade cinemática da água que pode ser calculada como uma função da temperatura da água:

$$\nu = (a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3) \cdot 10^{-6}$$

onde: $a_0 = 1,78$; $a_1 = -0.062$; $a_2 = 10^{-3}$; $a_3 = -10^{-5}$.

com T em °C resulta ν em m^2/s .

3.3.1 Fórmula de Meyer-Peter e Müller

A taxa de transporte de material de fundo q_b é dada por:

$$\phi_b = \frac{q_b}{((s-1)gd^3)^{0,5}} = 8(\theta' - \theta_c)^{1,5}, \text{ somente se } \theta' > \theta_c; \text{ caso contrário } \Phi_b = 0.$$

Note que para situações com sedimento fino e velocidades altas de correntes, esta formulação pode subestimar a taxa de transporte total, já que apenas a contribuição do fundo é considerada.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

4. Metodologia e Resultados

A caracterização da hidrossedimentologia do Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão foi conduzida a partir da compilação e análise dos dados de correntes existentes e da aplicação de modelagem computacional. A caracterização das conformações de fundo foi efetuada a partir da análise de mais de 20 anos de sondagens batimétricas nas áreas de interesse do Canal de Acesso.

Inicialmente o capítulo descreve a metodologia utilizada para a preparação do modelo hidrodinâmico. A apresentação da metodologia segue a seqüência cronológica do desenvolvimento que teve como uma primeira etapa a preparação da base de dados, seguida posteriormente das simulações de calibração e de validação e, por último, a aplicação do modelo hidrodinâmico na determinação de possíveis áreas de descarte do material dragado e do balanço sedimentar.

4.1 Preparação da base de dados

4.1.1 Batimetria

A base de dados batimétricos utilizada foi elaborada a partir de Cartas Náuticas e campanhas de sondagens batimétricas realizadas pela CVRD (Companhia Vale do Rio Doce), que são os elementos cartográficos de maior detalhamento dos fundos marítimos disponíveis. Para as regiões não hidrografadas acabou sendo utilizado o estudo desenvolvido por FCTH (2004) para a parte interna do estuário e o estudo desenvolvido por Coutinho e Moraes (1976) para Baía de São José, conforme a Figura 17.

Figura 17 - Dados de batimetria utilizados para a criação da superfície.

4.1.2 Ondas

Segundo FCTH (1995), os dados disponíveis de ondas na área do Canal de Acesso mostram rosas com predominância de vagas e ondulações de nordeste, com influência

secundária de leste. Considerando-se que o movimento ondulatório começa a ser influenciado pela vizinhança do fundo em profundidades iguais a aproximadamente metade do comprimento de onda, ondas com períodos de 7s (mais frequente pelas medições feitas na área) começam a se refratar em profundidades de 40 m. Isto significa que em toda a área do Canal de Acesso as ondas atuam sobre os fundos, sofrendo considerável interação até atingir a embocadura da Baía de São Marcos. Pela magnitude das ondas medidas na área, a arrebentação se processa somente em profundidades inferiores a 5,0 m. Sob este aspecto, deve-se considerar que os vários bancos que margeiam o Canal de Acesso na embocadura da Baía de São Marcos produzem arrebentação das ondas, integrando-se ao sistema de transporte litorâneo pela mobilização sedimentar que produzem.

Durante os meses de janeiro e fevereiro de 1974 foram realizadas medições de ondas com ondógrafo OSPOS, de pressão, na entrada do Canal de Acesso, em ponto de coordenadas: latitude S 01°46' e longitude W 43°50' (ver Figura 2, ponto laranja), tendo sido observada ondulação com rumo de 40°. O resumo de alturas é dado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das medições de ondas.

Altura média	0,97 m
Altura significativa	1,51 m
Altura médias das 10 % maiores ondas	1,90 m
Altura máxima registrada	2,90 m
Período Médio	7,2 s

Segundo informações do Port Captain do Terminal da Ponta da Madeira/CVRD Comandante Joffre Villote, a área sofre maior ataque de ondas nos meses de setembro a dezembro, portanto para melhor compreensão da área estudada dever-se-ia realizar uma nova medição de ondas que contemplasse esse período.

4.1.3 Ventos

Segundo FCTH (1995), na Baía de São Marcos, sob o ponto de vista meteorológico, o ano pode ser dividido em duas estações. Na estação chuvosa, de dezembro a maio, os ventos são geralmente de E a N, fracos e variáveis. Na estação seca, de junho a novembro, os ventos são de ENE a E. As correntes de deriva apresentam circulação predominantemente de NE do Golfão Maranhense, produzindo elevações máximas inferiores a 5 cm com correntes induzidas de magnitude inferior a 30 cm/s.

4.1.4 Correntes

Na etapa referente ao preparo da base de dados de correntes marítimas procurou-se compilar todos os dados de medições de correntes disponíveis para a região de estudo.

Os valores mínimos das correntes ocorrem próximo às estofas e as máximas ocorrem 3 a 4 horas após a preamar nas vazantes e de 2 a 3 horas após a baixa-mar nas enchentes.

No Canal de Acesso as correntes apresentam as direções 40 – 220° NV a 60 – 240° NV, podendo atingir a velocidade 2,5 nós.

Os dados disponíveis nas proximidades do Canal de Acesso apresentam medições efetuadas pela Hidrologia (1980) e pelo INPH (1991) e foram utilizados na calibração do modelo, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo da localização e data das medições de correntes.

Data	Pontos	Coordenadas	Empresa
Junho de 1980	JP-15	LAT.: 2° 34,06' S LONG.: 44° 22,30' W	Hidrologia
Abril de 1991	A1	LAT.: 2° 22' 32" S LONG.: 44° 18' 07" W	INPH
	A2		

	LAT.: 2° 02' 17" S
A3	LONG.: 44° 05' 19" W
	LAT.: 1° 57' 53" S
A4	LONG.: 44° 00' 49" W
	LAT.: 1° 48' 33" S
	LONG.: 43° 51' 57" W

Da Figura 18 à Figura 22 observam-se gráficos resumos dos levantamentos realizados.

Figura 18 - Levantamento das velocidades (m/s) no Ponto JP-15 (10 metros do fundo) dos dias 26 de maio a 28 de junho de 1980.

Figura 19 - Levantamento das velocidades (m/s) no Ponto A1, próximo à Área I (5 metros da superfície) dos dias 23 a 24 de abril de 1991.

Figura 20 - Levantamento das velocidades (m/s) no Ponto A2, próximo à Área II (20 metros do fundo) dos dias 05 a 11 de abril de 1991.

Figura 21 - Levantamento das velocidades (m/s) no Ponto A3, próximo à Área III (23 metros do fundo) dos dias 05 a 23 de abril de 1991.

Figura 22 - Levantamento das velocidades (m/s) no Ponto A4, próximo à Área IV (20 metros do fundo) dos dias 05 a 26 de abril de 1991.

Para a validação do modelo foi utilizada as Cartas de Correntes – Proximidades da Baía de São Marcos da Marinha do Brasil, ver ANEXO A.

4.1.5 Maré

Com base no estudo desenvolvido pela Hidrologia (1980), a Marinha do Brasil determinou 3 regiões de diferente amplitude e fase ao longo do Canal, conforme Carta Náutica nº 410. Por exemplo, segundo a Carta Náutica nº 410, na entrada do Canal, a maré ocorre 75 minutos antes que a do Porto de Itaqui e sua amplitude é 60% daquela. Já o estudo da Hidrologia considera 70 minutos antes e 68% da amplitude. Nas Figuras 23 a 25 são apresentadas comparações do estudo da Hidrologia (1980) com o valor adotado pela Marinha do Brasil.

Figura 23 - Comparação da amplitude de maré com referência a Itaqui adotada pela Marinha do Brasil em relação ao Estudo da Hidrologia (1980).

Figura 24 - Comparação da diferença de fase de maré com referência a Itaqui adotada pela Marinha do Brasil em relação ao Estudo da Hidrologia (1980).

Figura 25 - Nível médio da maré do Estudo da Hidrologia (1980), com relação ao nível de redução da DHN (Marinha do Brasil).

Para a modelação hidrodinâmica foi necessária a escolha de estações maregráficas conhecidas para o fornecimento das constantes harmônicas, já que se faz necessário fornecer o nível de maré no contorno aberto do modelo, sendo dessa maneira um passo fundamental a escolha de estações maregráficas. Na Figura 26 encontram-se todas as estações maregráficas disponíveis no Estado do Maranhão e as respectivas estações escolhidas. Nota-se que as estações maregráficas são representadas por círculos vermelhos, enquanto os círculos verdes representam pontos de interpolação, que foram obtidos da interpolação linear de duas estações maregráficas. Esse foi um artifício fundamental para o alinhamento da região do modelo a ser escolhida, aspecto que foi melhor discutido na determinação do contorno aberto do modelo. Da Figura 27 à Figura 30 estão apresentados os dados e parâmetros maregráficos, com as amplitudes e fases das componentes harmônicas das estações maregráficas escolhidas.

Figura 26 - Estações Maregráficas do Estado do Maranhão.

Nome da Estação :		RECIFES MANOEL LUIZ – MA (OCEÂNICA)			
Localização :		No mastro do casco soçobrado do navio "Ilha Grande"			
Organ. Responsável :		DHN			
Latitude :		00° 50,0' S	Longitude : 44 ° 15,5' W		
Período Analisado :		03/06/66 a 17/06/66		Nº de Componentes : 9	
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		IV H 53 min		Nível Médio (Zo): 122 cm acima do NR.	
Médias das Preamares de Sizigia (MHWS) :		202 cm acima do NR.		Média das Preamares de Quadratura (MHWN) : 157 cm acima do NR.	
Média das Baixa-mares de Sizigia (MLWS) :		42 cm acima do NR.		Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) : 87 cm acima do NR.	
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	-	-
Ssa	-	-	N ₂	36,3	152
Mm	-	-	NU ₂	-	-
Mf	-	-	M ₂	57,4	136
MTM	-	-	L ₂	-	-
Msf	-	-	T ₂	-	-
Q ₁	-	-	S ₂	22,4	157
O ₁	3,1	226	K ₂	6,1	157
M ₁	-	-	MO ₃	-	-
P ₁	1,2	213	M ₃	-	-
K ₁	3,7	213	MK ₃	-	-
J ₁	-	-	MN ₄	-	-
OO ₁	-	-	M ₄	1,0	155
MNS ₂	-	-	SN ₄	-	-
2N ₂	-	-	MS ₄	2,0	299
Referências de Nível: RN na plataforma do Mastro de Ré					
Obs: Não há referências a outros períodos. O mastro do navio não mais existe.					

Código BNDO: 30106

Figura 27 - Dados maregráficos dos Recifes Manoel Luiz. (FEMAR, 2000)

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		MANGUNÇA – MA			
Localização :		Próximo ao Farol de Mangunça			
Organ. Responsável :		DHN			
Latitude :		01° 39,8' S	Longitude : 44 ° 40,5' W		
Período Analisado :		05/12/82 a 05/12/83		N° de Componentes : 86	
Análise Harmônica :		Método Almirante Santos Franco			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		VI H 12 min	Nível Médio (Zo):		270 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		490 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		391 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		51 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		150 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	4,9	146
Ssa	-	-	N ₂	37,2	161
Mm	7,5	075	NU ₂	7,1	162
Mf	-	-	M ₂	17,1	174
MTM	2,9	134	L ₂	12,7	149
Msf	7,7	333	T ₂	2,9	207
Q ₁	3,5	192	S ₂	49,5	208
O ₁	8,6	197	K ₂	13,5	211
M ₁	3,3	147	MO ₃	1,2	164
P ₁	3,4	216	M ₃	1,4	187
K ₁	10,4	218	MK ₃	2,3	102
J ₁	3,4	191	MN ₄	1,1	249
OO ₁	2,7	345	M ₄	3,5	221
MNS ₂	2,4	288	SN ₄	3,1	337
2N ₂	4,9	147	MS ₄	4,9	265
Referências de Nível: RN-1 fixada em pilar de concreto na praia, em frente da estação maregráfica.					
Obs:					
Não há referências a outros períodos					

Código BNDO: 30119

Figura 28 - Dados maregráficos de Mangunça. (FEMAR, 2000)

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		ILHA DE SANTANA – MA			
Localização :		No trapiche de acesso ao Farol			
Organ. Responsável :		DHN			
Latitude :		02° 16,2' S	Longitude : 43 ° 37,7' W		
Período Analisado :		25/01/89 a 09/03/89		Nº de Componentes : 17	
Análise Harmônica :		Método Almirante Santos Franco			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		VI H 15 min	Nível Médio (Zo):		226 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		412 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		327 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		40 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		125 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	-	-
Ssa	-	-	N ₂	27,9	171
Mm	4,5	318	NU ₂	5,3	172
Mf	-	-	M ₂	143,7	175
MTM	-	-	L ₂	13,6	083
Msf	-	-	T ₂	2,5	202
Q ₁	-	-	S ₂	42,8	203
O ₁	9,9	211	K ₂	11,6	205
M ₁	-	-	MO ₃	-	-
P ₁	2,7	226	M ₃	-	-
K ₁	8,2	227	MK ₃	-	-
J ₁	-	-	MN ₄	-	-
OO ₁	-	-	M ₄	5,4	239
MNS ₂	-	-	SN ₄	-	-
2N ₂	3,7	168	MS ₄	4,26	261
Referências de Nível: RN-1 fixada na casa do Sr. Camilo, encravada em uma pilastra de cimento.					
Obs: Outros Períodos: 14/02/63 a 17/03/63					

Código BNDO: 30130

Figura 29 - Dados maregráficos da Ilha de Santana. (FEMAR, 2000)

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		TUTÓIA (PORTO) – MA			
Localização :		NoCcais do Porto.			
Organ. Responsável :		DHN			
Latitude :		02° 45,9' S	Longitude :		42 ° 14,8' W
Período Analisado :		26/06/59 a 27/07/59		Nº de Componentes : 33	
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		V H 33 min		Nível Médio (Zo): 166 cm acima do NR.	
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		315 cm acima do NR.		Média das Preamares de Quadratura (MHWN) : 241 cm acima do NR.	
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		16 cm acima do NR.		Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) : 91 cm acima do NR.	
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	5,4	184
Ssa	-	-	N ₂	23,2	136
Mm	7,0	032	NU ₂	4,5	136
Mf	-	-	M ₂	112,4	151
MTM	-	-	L ₂	4,4	163
Msf	5,1	073	T ₂	2,2	180
Q ₁	1,6	158	S ₂	37,3	180
O ₁	7,6	207	K ₂	10,2	180
M ₁	1,1	275	MO ₃	1,0	156
P ₁	2,8	212	M ₃	1,9	216
K ₁	8,4	212	MK ₃	0,9	245
J ₁	0,1	199	MN ₄	0,1	321
OO ₁	2,4	230	M ₄	0,4	291
MNS ₂	-	-	SN ₄	0,9	343
2N ₂	3,1	121	MS ₄	2,2	197
Referências de Nível: RN-1 situado na soleira do Paiol do Balizamento.					
Obs: Outros Períodos: 06/05/75 a 06/06/75. O INPH dispõe de outros períodos Consta das Tábuas das Marés					

Código BNDO: 30140

Figura 30 - Dados maregráficos do Porto de Tutóia. (FEMAR, 2000)

4.1.6 Sedimentos

O sedimento encontrado na região é predominantemente classificado entre a areia fina e média, trata-se de um sedimento não coesivo com diâmetro do grão na faixa de 0,125 ~ 0,5 mm. Essa areia é arrastada do fundo com velocidades médias na vertical a partir de 0,2 m/s e é transportada com velocidades na faixa de 0,02 à 0,2 m/s, sendo que abaixo de 0,02 m/s ocorre a sedimentação.

Durante a dragagem, realizada em março de 2005, foram coletadas amostras de sedimentos das regiões da Área I, Área II, Área III e Área IV, as informações disponíveis dessas amostras podem ser visualizadas nas Figuras 31 a 34.

Figura 31 - Análise Granulométrica Média da Área I.

Figura 32 - Análise Granulométrica Média da Área II.

Figura 33 - Análise Granulométrica Média da Área III.

Figura 34 - Análise Granulométrica Média da Área IV.

4.2 Especificações para o processamento

Para o processamento no modelo MIKE 21 especificam-se os seguintes parâmetros: batimetria, dados de variação do nível do mar para as condições do contorno aberto, viscosidade, ondas, contribuição de vazão e coeficiente de rugosidade do fundo.

A modelação considerou, seja por falta de dados ou falta de recursos computacionais, as seguintes hipóteses simplificadoras:

- Comportamento linear da maré nos contornos abertos, hipótese utilizada em FCTH (2004), Baptistelli (2003) e Souza (2006).
- Não foi considerada contribuição fluvial na região, pois o estudo abrange principalmente a Sub-Área Oceânica da Plataforma Continental do Maranhão, isto é o Golfão Maranhense.
- Não foi considerado o efeito de ondas que atuam no transporte litorâneo principalmente na zona de arrebentação, portanto em áreas mais rasas e não no canal mais profundo como estas. Por exemplo, na medição de janeiro de 1974 realizada na entrada do Canal de Acesso observou-se ondas de alturas máximas de 2,90 m. Essas ondas arrebentam em profundidades entre 2,3 m a 3,8m .
- Não foi considerado o efeito de ventos, com base em Pereira (1993) e em modelação prévia realizada com e sem vento no modelo numérico, que encontra-se no ANEXO B – CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO. Confirmando dessa forma que os efeitos meteorológicos influenciam muito pouco na hidrodinâmica da região do Canal de Acesso.

A seguir está apresentada a metodologia que será utilizada nessas especificações para o processamento.

4.2.1 Batimetria – Grades batimétricas

A resolução da grade utilizada é de 500 m, tendo mais de 140.000 pontos e abrangendo uma área de 35.100 km². A batimetria final é apresentada na Figura 35.

Figura 35 - Batimetria final após a calibração do modelo.

4.2.2 Condições de contorno

Para os processamentos, a imposição de condições de contorno laterais é obtida através da especificação das variações do nível do mar nas bordas abertas. Optou-se por três contornos abertos, aqui chamados de contorno I (linha AB), II (linha BD) e III (linha CD), conforme Figura 36.

Figura 36 - Definição dos contornos abertos do modelo.

Portanto, os dados de marés são obtidos a partir do módulo de previsão da maré (PP – Mike21) com os dados das componentes das estações maregráficas já descritas na base de dados. Uma saída da previsão de maré pode ser observada na Figura 37.

Figura 37 - Previsão de maré para a estação maregráfica de Mangunça (MA). No período de 1 a 5 de junho de 1980, nível de redução da DHN – Marinha do Brasil.

A partir da previsão de maré de cada estação maregráfica realiza-se a interpolação linear para a definição do contorno aberto, conforme exemplificado para o contorno I (linha AB) na Figura 38.

Figura 38 - Interpolação Linear entre o ponto A (Marégrafo de Mangunça) e ponto B (interpolação linear entre Recife Manoel Luís e Mangunça). A faixa vermelha corresponde aos primeiros 6 elementos da tabela. A faixa azul mostra o instante que está sendo representado no contorno.

4.3 Calibração do Modelo

Os períodos de julho de 1980 (conjunto de dados da Hidrologia) e março de 1994 (conjunto de dados do INPH) foram utilizados para a calibração do modelo.

Foram simulados mais de 100 ensaios para a calibração do modelo. Como parâmetros de calibração optou-se pela correção do nível de redução, rugosidade de fundo, contorno aberto e viscosidade. Para a batimetria foram 22 variações, adicionando durante a calibração a sondagem batimétrica da Baía de São José e tendo como objetivo principal o ajuste da fase da maré de Itaqui. A rugosidade de fundo teve valores iniciais constantes em toda a grade, definindo a melhor calibração para cada ponto de medição.

A partir desses valores iniciais e estimando uma área de influência foram desenvolvidas as primeiras matrizes de rugosidade de fundo que foram sendo alteradas procurando sempre o melhor ajuste da velocidade dos pontos. Chegou a se modificar o contorno aberto do modelo, adotando-se um valor de variação de amplitude 10% superior ao valor inicial para melhor calibração da maré de Itaqui, porém essa modificação não surtiu o efeito desejado, sendo rejeitada. A viscosidade também não se mostrou como sendo um parâmetro de maior influência. Ao final da calibração foram extraídas saídas com maior duração de simulação. Todas essas alterações seguem sintetizadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo das simulações de calibração.

simulação	matriz de rugosidade de fundo	batimetria	período	contorno aberto	observações
1	constante 1/n=32	1	jul/80	-	
2	constante 1/n=29	1	jul/80	-	
3	constante 1/n=26	1	jul/80	-	
4	constante 1/n=32	2	jul/80	-	
5	constante 1/n=29	2	jul/80	-	
6	constante 1/n=26	2	jul/80	-	
7	constante 1/n=23	2	jul/80	-	
8	constante 1/n=20	2	jul/80	-	
9	constante 1/n=10	2	jul/80	-	
10	constante 1/n=5	2	jul/80	-	
11	constante 1/n=9	2	jul/80	-	
12	constante 1/n=8	2	jul/80	-	
13	constante 1/n=10	2	abr/91	-	
14	constante 1/n=15	2	abr/91	-	
15	constante 1/n=12	2	abr/91	-	
16	constante 1/n=16	2	abr/91	-	
17	constante 1/n=17	2	abr/91	-	
18	constante 1/n=18	2	abr/91	-	
19	constante 1/n=29	2	abr/91	-	
20	constante 1/n=28	2	abr/91	-	
21	matriz 1	2	abr/91	-	
22	matriz 2	2	jul/80	-	
23	matriz 2	2	abr/91	-	
24	matriz 3	2	abr/91	-	
25	matriz 4	2	abr/91	-	
26	matriz 5	2	abr/91	-	
27	matriz 6	2	abr/91	-	

continua

Tabela 3 - Resumo das simulações de calibração (continuação).

simulação	matriz de rugosidade de fundo	batimetria	período	contorno aberto	observações
28	matriz 7	2	abr/91	-	
29	matriz 8	2	abr/91	-	
30	matriz 9	2	abr/91	-	
31	matriz 10	2	abr/91	-	
32	matriz 11	2	abr/91	-	
33	matriz 12	2	abr/91	-	
34	matriz 13	2	abr/91	-	
35	matriz 14	2	abr/91	-	
36	matriz 15	2	abr/91	-	
37	matriz 16	2	abr/91	-	
38	matriz 17	2	abr/91	-	
39	matriz 18	2	abr/91	-	
40	matriz 19	2	abr/91	-	
41	matriz 20	2	abr/91	-	
42	matriz 21	2	abr/91	-	
43	matriz 22	2	abr/91	-	
44	matriz 23	2	abr/91	-	
45	matriz 24	2	abr/91	-	
46	matriz 25	2	abr/91	-	
47	matriz 26	2	abr/91	-	
48	matriz 27	2	abr/91	-	
49	matriz 28	2	abr/91	-	
50	matriz 29	2	abr/91	-	
51	matriz 30	2	abr/91	-	
52	matriz 30	2	jul/80	-	
53	matriz 31	3	jul/80	-	
54	matriz 31	3	abr/91	-	
55	matriz 30	3	abr/91	-	
56	matriz 32	3	abr/91	-	
57	matriz 33	3	abr/91	-	
58	matriz 34	3	abr/91	-	
59	matriz 35	3	abr/91	-	
60	matriz 36	3	abr/91	-	
61	matriz 37	3	abr/91	-	
62	matriz 37	4	abr/91	-	
63	matriz 37	5	abr/91	-	
64	matriz 38	4	abr/91	-	
65	matriz 39	4	abr/91	-	
66	matriz 40	4	abr/91	-	
67	matriz 40	6	abr/91	-	
68	matriz 40	6	jun/80	-	
69	matriz 41	6	jun/80	-	
70	matriz 41	6	jun/80	-	
71	matriz 41	7	jun/80	-	
72	matriz 41	7	jun/80	-	
73	matriz 41	8	jun/80	-	

continua

Tabela 3 - Resumo das simulações de calibração (continuação).

simulação	matriz de rugosidade de fundo	batimetria	período	contorno aberto	observações
74	matriz 41	9	jun/80	+10%	
75	matriz 42	9	jun/80	+10%	
76	matriz 42	9	jun/80	+10%	visc.1
77	matriz 42	9	jun/80	+10%	visc.2
78	matriz 42	9	jun/80	+10%	visc.3
79	matriz 42	10	jun/80	+10%	visc.3
80	matriz 42	11	jun/80	-	
81	matriz 42	12	jun/80	-	
82	matriz 42	13	jun/80	-	
83	matriz 42	14	jun/80	-	
84	matriz 42	15	jun/80	-	
85	matriz 42	16	jun/80	-	
86	matriz 42	17	jun/80	-	
87	matriz 42	18	jun/80	-	
88	matriz 42	19	abr/91	-	
89	matriz 43	20	abr/91	-	
90	matriz 43	21	abr/91	-	
91	matriz 43	22	abr/91	-	
92	matriz 44	23	abr/91	-	
93	matriz 45	23	abr/91	-	
94	matriz 45	23	abr/91	-	
95	matriz 45	23	abr/91	-	
96	matriz 46	23	abr/91	-	
97	matriz 47	23	abr/91	-	
98	matriz 48	23	abr/91	-	
99	matriz 48	23	jun/80	-	
100	matriz 48	23	jun/80	-	maior período de simulação
101	matriz 49	23	jun/80	-	maior período de simulação

Um dos parâmetros mais sensíveis para a calibração é a correção do nível de redução. Uma importante fonte de dados da área modelada foi a Carta Náutica nº 410 - Proximidades da Baía de São Marcos, com escala de 1:135.000, sendo parte dos levantamentos realizados anteriormente a 1980, portanto sem o conhecimento do comportamento da propagação da maré, acreditando-se que esses dados possam ter sido reduzidos em relação ao antigo Porto de São Luís, região que apresenta uma amplitude superior à do início do Canal. Para minimizar a defasagem da maré na

comparação dos dados observados em relação à saída do modelo foi necessária a utilização de correção no nível de redução.

Para a rugosidade do fundo, inicialmente adotou-se valores constantes para toda a grade. Posteriormente, como as calibrações dos pontos apontavam necessidade de rugosidade crescente na direção sul para norte, foi necessário adotar valores diferentes de rugosidade de fundo para a grade. A primeira matriz considerou uma interpolação linear das seções de cada ponto (INPH A1, INPH A2, INPH A3, INPH A4 e JP-15). Após a primeira simulação constatou-se um resultado insatisfatório, sendo necessária outras alterações nessas matrizes, procurando uma melhor solução. As bordas do modelo foram alteradas para uma rugosidade maior para melhor estabilidade do programa. A Figura 39 apresenta o mapa cromático da primeira matriz de rugosidade e a última após a calibração. Embora menos sensível que a mudança da batimetria, esse parâmetro permitiu um melhor ajuste das velocidades na modelação.

Figura 39 – Mapa cromático da primeira matriz de rugosidade (figura da esquerda) e última (figura da direita) após a calibração do modelo. Detalhe para a borda leste e oeste do modelo que apresentam uma fina faixa de valores altos de rugosidade para melhorar a estabilidade do programa (cor azul).

Conforme Figuras 40 a 43 são apresentas abaixo as comparações das rosas de correntes para os pontos do INPH A1, A2, A3 e A4, obtidas ao final da calibração.

Figura 40 – Comparação da rosa de correntes para o ponto A1 do conjunto de dados do INPH, nas proximidades da Área I.

Figura 41 – Comparação da rosa de correntes para o ponto A2 do conjunto de dados do INPH, nas proximidades da Área II.

Figura 42 – Comparação da rosa de correntes para o ponto A3 do conjunto de dados do INPH, nas proximidades da Área III.

Figura 43 – Comparação da rosa de correntes para o ponto A4 do conjunto de dados do INPH, nas proximidades da Área IV.

As demais matrizes de rugosidades, batimetrias e resultados dos ensaios estão no ANEXO B – CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO.

4.4 Validação

Para a validação de maré com dados independentes, comparou-se a maré observada no período de março de 1985 (EMAP, 1985) no Porto de Itaqui com a simulação do modelo. A Figura 44 mostra o gráfico de comparação do nível da maré modelada em relação à observada. Nesse registro observam-se amplitudes superiores a 6 metros.

Figura 44 - Comparação da onda de maré em março de 1985 para o Porto de Itaqui (MA), referidos ao nível médio do mar.

A Tabela 4 apresenta as diferenças encontradas nas condições de preamares, baixa-mares para a cota do nível d'água na comparação da onda de maré em março de 1985 para o Porto de Itaqui (MA). A Figura 45 apresenta a comparação da cota do nível d'água previsto em relação ao observado.

Tabela 4 - Diferenças entre o modelo x observado da onda de maré entre o período do dia 4 a 14 de março de 1985 para o Porto de Itaqui (MA).

condição	observado (m)	modelo (m)	erro	diferença cota (cm)
preamares	2,77	2,71	médio	-5,34
	3,17	3,18	mínimo	1,23
baixa-mares	-2,67	-2,45	médio	22,66
	-3,03	-2,91	mínimo	12,37

Figura 45 – Gráfico comparativo da cota observada em relação a prevista (baixa-mar em módulo) para o período de março de 1985 para o Porto de Itaqui (MA), referidos ao nível médio do mar.

Para a validação das correntes foram utilizadas as Cartas de Correntes de Maré – Proximidades de São Luís da Marinha do Brasil (1972). Como a Carta de Correntes representa uma maré de 4,5 metros de amplitude para a região do antigo Porto de São Luís, foi necessária a avaliação nessa mesma condição. A Carta tem pobre resolução

espacial e representa uma velocidade próxima à superfície, medição realizada até 2 metros de profundidade, que é mais sujeita aos efeitos meteorológicos. As Figuras 46 a 58 mostram os resultados obtidos.

Figura 46 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição de 6 horas antes da preamar de São Luís.

Figura 47 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição de 5 horas antes da preamar de São Luís.

Figura 48 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição de 4 horas antes da preamar de São Luís.

Figura 49 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) pela Marinha do Brasil. Na condição de 3 horas antes da preamar de São Luís.

Figura 50 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) pela Marinha do Brasil. Na condição de 2 horas antes da preamar de São Luís.

Figura 51 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição de 1 hora antes da preamar de São Luís.

Figura 52 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição da preamar de São Luís.

Figura 53 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição de 1 hora depois da preamar de São Luís.

Figura 54 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição de 2 horas depois da preamar de São Luís.

Figura 55 - Comparação do modelo em relação à carta de correntes fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição de 3 horas depois da preamar de São Luís.

Figura 56 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição de 4 horas depois da preamar de São Luís.

Figura 57 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição de 5 horas depois da preamar de São Luís.

Figura 58 - Comparação do modelo (vetor azul) em relação à carta de correntes (vetor amarelo) fornecida pela Marinha do Brasil. Na condição de 6 horas depois da preamar de São Luís.

4.5 Propagação da Maré no Canal de Acesso

A propagação da Maré é apresentada nas Figuras 59 e 60. Sendo realizada a comparação com o estudo da Hidrologia e o adotado pela Marinha do Brasil para a região.

Figura 59 - Comparação da diferença de fase da onda da maré com referência a Itaqui do modelo em relação ao estudo Hidrologia (1980) e o adotado pela Marinha do Brasil.

Figura 60 - Comparação da amplitude da onda da maré com referência a Itaqui do modelo em relação ao estudo Hidrologia (1980) e o adotado pela Marinha do Brasil.

4.6 Trajetórias de Derivadores

O estudo das trajetórias de derivadores considerou a simulação para 19 posições de lançamentos. Sendo realizado o lançamento no centro das respectivas áreas (Área I, Área II, Área III e Área IV) do Canal de Acesso (ponto C), e os demais a 5 km e 10 km na margem leste e oeste das respectivas áreas do Canal de Acesso (pontos D, E, B e A, respectivamente). A simulação do lançamento foi realizada para a preamar de São Luís, num ciclo de 4 dias (05/03/1985 6:20 – 09/03/1985 6:20). Nas Figuras 61 a 65 são apresentados os resultados das simulações.

Figura 61 – Simulação de trajetória de derivadores no centro (ponto C) das Áreas I, II, III e IV do Canal de Acesso.

Figura 62 – Simulação de trajetória de derivadores a 5 km da margem leste (ponto D) das Áreas I, II, III e IV do Canal de Acesso.

Figura 63 – Simulação de trajetória de derivadores a 5 km da margem oeste (ponto B) das Áreas I, II, III e IV do Canal de Acesso.

Figura 64 – Simulação de trajetória de derivadores a 10 km da margem leste (ponto E) das Áreas I, II, III e IV do Canal de Acesso.

Figura 65 – Simulação de trajetória de derivadores a 10 km da margem oeste (ponto A) das Áreas I, II, III e IV do Canal de Acesso.

4.7 Balanço Sedimentar Proposto

O estudo na aplicação ST-Mike21 foi realizado para o período de 5 dias de 04/03/1985 02:50 à 09:00. Os dados de transporte total não foram utilizados, conforme a Figura 66.

Figura 66 – Aplicação da Teoria de Meyer-Peter e Müller (transporte de sedimento de fundo). Detalhe para os círculos brancos que indicam o posicionamento das Áreas de Estudo.

4.8 Mapeamento das conformações de fundo

Foram analisados dois períodos distintos de sondagens batimétricas. O primeiro compreendido entre as sondagens de julho de 1989 a maio de 1992, período no qual procedia-se a dragagens periódicas de curto período de manutenção do Canal. O segundo período, que corresponde as sondagens de novembro de 1996 a maio de 2005, corresponde a um período sem dragagens.

Para o primeiro período, 1989/1992, estão apresentadas as Tabelas 5 a 8, com as características das dragagens efetuadas para a Área I, Área II, Área III e Área IV (FCTH, 1995). E com essas características aplicou-se as formulações empíricas disponíveis para ondas de areia para a Área IV.

Tabela 6 - Características das dragagens efetuadas na Área I.

Caracterização das Ondas de Areia (com numeração sequencial para o norte)											
LARGURA DO CANAL ENTRE OS LIMITES BALIZADOS B = 540 m											
COMPRIMENTO DA LINHA DE CENTRO NA ÁREA ANALISADA: ENTRE SEUS EXTREMOS L = 720 m ENTRE CRISTAS EXTREMAS L = 596 m.											
ORIGEM AO SUL:		N: 9.736.600		E: 576.720							
PONTO DE INFLEXÃO		N: 9.787.520		E: 577.320							
DRAGAGENS	Δt	Bat	Características das ondas (m)	1	2	3	4	5	6	7 Média	D.P.
jul/89	6 3/4 meses	22/7/1989	abcissa da posição da crista				1165	1220	1315		
COTA 25 m			comprimento da onda				55	95			
V = 19277 m³			cota do cavado				26.4	29.8			
(26.8 m³/m canal)			cota da crista				25.3	25.1	26.3		
			altura da onda				1.1	4.7			
			abcissa da posição da crista	890	1000	1090	1210	1285	1385		
	11 3/4 meses	16/2/1990	comprimento da onda	110	90	120	75	100		99	17
			cota do cavado	32	30.3	29.3	29.7	29.8		30.2	1.1
			cota da crista	28	30	28	24	26.3	28	27.4	2
			altura da onda	4	0.3	1.3	5.7	3.5		3	2.2
			abcissa da posição da crista	875	990	1085	1175	1250	1340	1435	
			comprimento da onda	115	95	90	75	90	95	93	13
	14 1/4 meses	6/2/1991	cota do cavado	31.9	31.2	30.1	28.7	29.9	29	30.1	1.2
			cota da crista	28	30	26.9	24.6	26.3	26.1	27.6	1.7
			altura da onda	3.9	1.2	3.2	4.1	3.6	2.9	3.2	1.1
fev/91			abcissa da posição da crista	880	990	1080	1170	1250	1330	1450	
			comprimento da onda	110	90	90	80	80	120	95	16
			cota do cavado	31.9	31.4	29.8	28.4	30.2	28.9	30.1	1.4
	14 1/4 meses	5/3/1991	cota da crista	28.2	30	27.5	25.6	26	27	27.7	1.5
			altura da onda	3.7	1.4	2.3	2.8	4.2	1.9	2.7	1.1
			abcissa da posição da crista	854	1010	1080	1174	1260	1320	1380	
			comprimento da onda	156	70	94	86	60	60	88	36
			cota do cavado	31.8	30.6	30	29.3	29.2	28.9	30	1.1
			cota da crista	28.4	29.4	27.6	23.8	27.1	27.1	27.2	1.7
mai/92	média e DF média e DP	12/5/1992	altura da onda	3.4	1.2	2.4	5.5	2.1	1.8	2.7	1.5
			abcissa da posição da crista	875	998	1084	1179	1253	1338	1422	
			comprimento da onda	15	10	5	18	23	28	37	
			cota do cavado	123	86	99	74	85	92		
			cota da crista	22	11	14	12	16	30		
			altura da onda								

Tabela 6 - Características das dragagens efetuadas na Área II.

Caracterização das Ondas de Areia (com numeração sequencial para o norte)
LARGURA DO CANAL ENTRE OS LIMITES BALIZADOS B = 750 m (variável)
COMPRIMENTO DA LINHA DE CENTRO NA ÁREA ANALISADA: ENTRE SUS EXTREMOS L = 3580 m ENTRE CRISTAS EXTREMAS L = 3280 m.
ORIGEM AO SUL: N: 9.771.800 E: 599.360
PONTO DE INFLEXÃO N: 9.774.000 E: 600.770

DRAGAGENS	Δt	Bat	Características das ondas (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26 Média	D.P.				
jul/89	7 meses	20/7/1989	abcissa da posição da crista							870		1070	1170																	3050				
COTA 24 m			comprimento da onda										100																					
V = 2597 m³			cota do cavado								28.3		27.7																		32.3			
(0.7 m³/m canal)			cota da crista								24.4		25.2	25																24.8				
			altura da onda								3.9		2.5																		7.5			
			abcissa da posição da crista	190	300	410	490	640	770			925	1025	1120	1360	1450	1665						2210				2645	2775	2980	3200	3370	3470		
			comprimento da onda	110	110	80	150	130				100	95	240	90	215											130	205	220	170	100		143	54
			cota do cavado	28.5	27.7	28.3	28.3	27	27				25	33.1	30	41.9											31.4	30.1	31.3	31	30		30	3.9
			cota da crista	26.7	26	27.2	27	26	25.2			25	23.5	24.9	26	26.3	27.5						30				29.7	29.1	23.4	29.5	29.5	27	26.8	2
			altura da onda	1.8	1.7	1.1	1.3	1	1.8				1.5	8.2	4	15.6											1.7	1	7.9	1.5	0.5			
			abcissa da posição da crista	215	305	400	510	600	700	850	910	1035	1150	1395	1460	1610	1690	1760	1957	2120	2240	2360	2500	2615	2745	2995	3183	3278	3470					
			comprimento da onda	90	95	110	90	100	150	60	125	115	245	65	150	80	70	197	163	120	120	140	115	130	250	188	95	192			130	52		
			cota do cavado	28.3	28.1	28.3	28.5	27	27	27	26.7	28	33.3	32	38.9	35	32	39.2	36	33.1	32.4	32	32	32	30.2	30.9	31.8	31	30	31.2	3.4			
			cota da crista	27	27.6	27.1	26.9	26.6	25	26	23.8	24.8	25.5	25.8	27	29.6	29.5	28.5	27	32	28.9	27.6	29	29.5	30	26.8	30	29.5	27.6	27.7	1.9			
fev/91			altura da onda	1.3	0.5	1.2	1.6	0.4	2	1	2.9	3.2	7.8	6.2	11.9	5.4	2.5	10.7	9	1.1	3.5	4.4	3	2.5	0.2	4.1	1.8	1.5	2.4					
fev/91	14 1/4 meses	3/3/1991	abcissa da posição da crista	210	305	410	500	655	700	770	950	1065	1150	1400	1475	1615	1690	1760	1960	2140	2240	2400	2510	2640	2740	300	3170	3340	3460					
COTA 24 m			comprimento da onda	95	105	90	155	45	70	180	115	85	250	75	140	75	70	200	180	100	160	110	130	100	260	170	170	120		130	56			
V = 24570 m³			cota do cavado	28.5	28.2	28.9	28.9	27.3	27.5	28.4	28.6	29.7	33.4	32	39.9	35	31	41.4	37.4	33.2	32.1	32.1	32.4	32.2	30.3	32.1	31.8	31	29.1	31.6	3.6			
(6,9 m³/m canal)			cota da crista	26.6	26.3	26.6	27.5	26.2	26.8	26.2	25	25	24.9	25.8	27.7	28.7	26.2	27.1	28.3	30.7	30.1	28	28.1	29.5	29.5	25.2	29.2	29.6	27.5	27.4	1.7			
			altura da onda	1.9	1.9	2.3	1.4	1.1	0.7	2.2	3.6	4.7	8.5	6.2	12.2	6.3	4.8	14.3	9.1	2.5	2	4.1	4.3	2.7	0.8	6.9	2.6	1.4						
			abcissa da posição da crista	200	300	405	485	591	695	845	892	1020	1130	1341	1469	1595	1690	1740	1940	2150	2255	2355	2470	2591	2745	3015	3155	3345	3445					
			comprimento da onda	100	105	80	106	104	150	47	128	110	211	128	126	95	50	200	210	105	100	115	121	154	270	140	190	100		130	52			
			cota do cavado	28.3	27.7	27.6	28.3	27.1	27.1	26.8	27.9	28.9	33.4	37.1	43.8	37	32.3	43.2	43	33.2	32	31.6	32	32	30	31.8	31.7	30.2	29.4	32.1	5			
			cota da crista	26.6	27	26.1	25.9	26.3	25.5	25.3	23.3	25	25	25.3	28	28.3	26.6	28.4	30.8	30.6	28.4	28.2	26.2	27.7	28.9	23.9	28.1	29.9	27.3	27	1.9			
			altura da onda	1.7	0.7	1.5	2.4	0.8	1.6	1.5	4.6	3.9	8.4	11.8	15.8	8.7	5.7	14.8	12.2	2.6	3.6	3.4	5.8	4.3	1.1	7.9	3.6	0.3	2.1					
mai/92			média e L média e L		abcissa da posição da crista	204	303	406	496	622	716	834	919	1043	1144	1374	1464	1621	1690	1753	1952	2137	2236	2372	2493	2623	2751	3008	3177	3333	3461			
cota 24 m						11	3	5	11	31	36	44	25	23	19	28	11	30	0	12	11	15	19	25	21	25	16	27	19	39	12			
V = 3763m³					comprimento da onda	99	104	90	125	95	123	96	117	101	237	90	158	83	63	199	114	108	127	122	122	129	246	180	156	128				
(1,05 m³/m canal)						9	6	14	32	36	46	73	13	12	17	28	39	10	12	2	24	10	31	16	8	22	29	33	42	44				

Tabela 7 - Características das dragagens efetuadas na Área III.

Caracterização das Ondas de Areia (com numeração sequencial para o norte)
LARGURA DO CANAL ENTRE OS LIMITES BALIZADOS B = 500 m
COMPRIMENTO DA LINHA DE CENTRO NA ÁREA ANALISADA: ENTRE SEUS EXTREMOS L = 5500 m ENTRE CRISTAS EXTREMAS L = 4882 m.
ORIGEM AO SUL: N: 9.781.300 E: 607.025

DRAGAGENS			At	Bat	Características das ondas (m)																																		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34 Média	D.P.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
cota 23 m V = 36997 m³ (6,7 m³/m canal)	jul/88	6 3/4 meses	25/8/1988	13/3/1989	abcissa da posição da crista	190	374	516	708	900	1000	1125	1256	1330	1483	1600	1700	1852	2000	2140	2372	2524	2620	2810	3054	3180	3348	3460	3600	3730	3866																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

Tabela 8 - Características das dragagens efetuadas na Área IV.

Caracterização das Ondas de Areia (com numeração sequencial para o norte)

LARGURA DO CANAL ENTRE OS LIMITES BALIZADOS B = 500 M

COMPRIMENTO DA LINHA DE CENTRO NA ÁREA ANALISADA: ENTRE SUS EXTREMOS L = 2178 M ENTRE CRISTAS EXTREMAS L = 2090 M.

ORIGEM AO SUL:

N: 9.800.200

E: 627.050

DRAGAGENS	Δt	Bat	Características das ondas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14 Média	D.P.					
cota 23 m V = 24776 m³ (11,4 m³/m canal)	jul/88	6 1/2 meses	25/8/1988	abcissa da posição da crista	25	285	400	545	790	900	1015	1110	1320	1490	1660	1825	1965	2085					
				comprimento da onda	260	115	145	245	110	115	95	210	170	170	165	140	120		158	52			
				cota do cavado	31	29.9	30	31	29.8	30	31	31.8	29	30.2	31.7	30.9	30		30.5	0.8			
				cota da crista	25.3	26.9	24.1	24.1	25.1	22.8	25	26.5	25.8	24.2	25	24	24	26.8	25.1	1.1			
				altura da onda	5.7	3	5.9	6.9	4.7	7.2	6	5.3	3.2	6	6.7	6.9	6		5.7	1.3			
				abcissa da posição da crista	35	295	400	525	750	870	1025	1125	1305	1470	1650	1830	1970	2090					
	jul/89	6 1/2 meses	6/3/1989	comprimento da onda	260	105	125	225	120	155	100	180	165	180	180	140	120		158	47			
				cota do cavado	31.5	30	30	31	29	30.4	29.8	31	28	31.5	32.3	28.3	30		30.2	1.3			
				cota da crista	24.3	22.8	25	25.1	24	23	25.1	26	21.7	23	23	25.5	24	28	24.3	1.6			
				altura da onda	7.2	7.2	5	5.9	5	7.4	4.7	5	6.3	8.5	9.3	2.8	6		6.2	1.7			
				jul/89	8 3/4 meses	19/7/1989	abcissa da posição da crista		270	385	545	770	880	1015		1280	1500	1635	1845	1960			
							comprimento da onda		115	160	225	110	135		220	135	210	115			158	48	
cota do cavado		30	31.2				32	30	30.6		30.3	31.5	31.9	30.5			30.9	0.8					
cota da crista		23.6	25				24.8	24.5	24.2	25		25	25	27.5	27.5	28.1		25.7	1.4				
altura da onda		6.4	6.2				7.2	5.5	6.4		5.3	6.5	4.4	3			5.7	1.3					
abcissa da posição da crista	45	285	390				560	780	860	1040	1115	1290	1480	1635	1830	1960	2115						
jul/89	10 1/4 meses	11/4/1990	comprimento da onda	240	105	170	220	80	180	75	175	190	155	195	130	155		159	50				
			cota do cavado	31.4	30.4	31.2	31.2	29.3	31.5	30.3	31.4	30.4	31	32	32.6	31.3		31.1	0.8				
			cota da crista	28.2	23.4	25.6	25.4	25.4	23.4	25	27.4	22.1	25	23.3	25	26.4	29.5	25.4	2				
			altura da onda	3.2	7	5.6	5.8	3.9	8.1	5.3	4	8.3	6	8.7	7.6	4.9	5	6	1.8				
			abcissa da posição da crista	65	305	425	540	760	890	1020	1115	1330	1490	1670	1850	1980	2110						
			comprimento da onda	240	120	115	220	130	130	95	215	160	180	180	130	130		157	46				
COTA 24 m V = 108705 m³ (49,9 m³/m canal)	fev/91	10 1/4 meses	18/2/1991	cota do cavado	31.9	30.2	29.7	30.2	31.4	30	30.3	29.9	32.2	28.8	32.1	33.2	30.9	32	30.9	1.2			
				cota da crista	25.3	23.4	25.2	24.8	24.8	23	25.1	25.2	22.6	23.5	23.4	26	24.1	27.6	25.3	1			
				altura da onda	6.6	6.8	4.5	5.4	6.6	7	5.2	4.7	9.6	5.3	8.7	7.2	6.8	4.4	6.5	1.5			
				fev/91	14 3/4 meses	28/2/1991	abcissa da posição da crista	65	305	420	550	770	895	1010	1125	1340	1485	1675	1860	1990	2110		
							comprimento da onda	240	115	130	220	125	115	115	215	145	190	185	130	120		157	46
							cota do cavado	32.2	30.5	30.3	31.5	29.8	30.8	30.1	32.6	28.8	32	33.3	32.3	32		31.2	1.3
	cota da crista	25.3	24.8				25.7	24.8	24.4	24.8	24.7	25.4	24.5	24.4	25.3	26.8	25	28.2	25.3	1			
	altura da onda	6.9	5.7				4.6	6.7	5.4	6	5.4	7.2	4.3	7.6	8	5.5	7		6.2	1.1			
	abcissa da posição da crista	30	260				400	550	755	850	1010	1100	1280	1470	1630	1810	1960	2070					
	mai/92	14 3/4 meses	19/5/1992	comprimento da onda	230	140	150	205	95	160	90	180	190	160	180	150	110		157	42			
				cota do cavado	32.2	30.7	31	31.7	27.8	31.2	30.2	31.3	30.6	31.7	33.3	33.3	31.5		31.3	1.4			
				cota da crista	26.7	25	25.2	26.2	24.7	24.1	25	26.2	23.5	23	24.5	26.5	27	28.1	25.4	1.4			
altura da onda				5.5	5.7	5.8	5.5	3.7	7.1	5.2	5.1	7.1	8.7	8.8	6.8	4.5		6.1	1.6				
mai/92				média e DF	média e DF	abcissa da posição da crista	44	286	403	545	768	878	1019	1115	1306	1484	1651	1836	1969	2097			
						comprimento da onda	17	17	15	11	14	19	11	9	25	11	18	17	12	18			
	V = 25878m³	comprimento da onda	245			116	142	223	110	141	95	196	177	167	185	134	126						
	(11,9 m³/m canal)	12	12			20	12	18	24	13	19	25	19	14	11	16							

As formulações de Dalrymple e Flemming aplicadas na Área IV para o primeiro período analisado forneceram os resultados da Tabela 9:

Tabela 9 - Comparação da altura estimada com valores médios observados no período de 1989 a 1992, na região da Área IV.

Onda	A- H (m) Médio observado	B- L(m) Médio observado	C- H (m) (estimado por Flemming)	D = C – A (m)	E - H (m) (estimado por Dalrymple)	F = E – A (m)
1	5,85	245	5,83	-0,02	3,59	-2,26
2	5,97	116	3,18	-2,79	2,08	-3,89
3	5,37	142	3,75	-1,62	2,41	-2,96
4	6,20	223	5,40	-0,8	3,35	-2,85
5	4,97	110	3,05	-1,92	2,00	-2,97
6	7,03	141	3,72	-3,31	2,40	-4,63
7	5,30	95	2,70	-2,6	1,79	-3,51
8	5,22	196	4,86	-0,36	3,05	-2,17
9	6,30	177	4,48	-1,82	2,83	-3,47
10	6,94	167	4,27	-2,67	2,71	-4,23
11	7,80	185	4,64	-3,16	2,92	-4,88
12	5,69	134	3,57	-2,12	2,31	-3,38
13	5,87	126	3,40	-2,47	2,21	-3,66

H: altura da onda

L: comprimento de onda

A aplicação da fórmula de Haque e Mahmood, para o adimensional m com valor de 4, adimensional que varia de uma faixa de 2 à 5 e que apresentou melhor ajuste em relação aos dados observados com m igual a 4, forneceu os resultados da Tabela 10:

Tabela 10 - Comparação da altura estimada com valores médios observados no período de 1989 a 1992, na região da Área IV.

Onda	H (m) médio observado	L(m) médio observado	m	D(m)	H(m) (estimado)	Diferença entre obs. X est.
1	5,85	245	4	28,78	4,24	1,61
2	5,97	116	4	27,33	6,28	-0,31
3	5,37	142	4	27,75	5,44	-0,07
4	6,20	223	4	28,08	4,25	1,95
5	4,97	110	4	27,13	6,50	-1,53
6	7,03	141	4	27,08	5,24	1,79
7	5,30	95	4	27,63	7,79	-2,49
8	5,22	196	4	28,73	4,66	0,56
9	6,30	177	4	26,60	4,37	1,93
10	6,94	167	4	27,36	4,74	2,2
11	7,80	185	4	28,27	4,69	3,11
12	5,69	134	4	28,70	6,06	-0,37
13	5,87	126	4	28,02	6,11	-0,24

Na Figura 67 é apresentada a comparação das expressões analítico-experimentais existentes para a estimativa da altura de ondas de areia aplicadas com os dados de comprimento de ondas encontrado em relação ao observado na Área IV.

Figura 67: Comparação entre as formulações e o observado na Área IV.

Para o segundo período, com o crescimento natural (sem dragagem), cada área peculiar teve estabelecido três alinhamentos, na direção do Canal e iniciando-se ao sul, para o levantamento batimétrico longitudinal do Canal. Na Figura 68, pode ser visto o detalhe de cada uma das Áreas, com os respectivos alinhamentos.

Figura 68 - Alinhamentos propostos para o perfil longitudinal do Canal.

Para a Área I o alinhamento foi: linha 1, ponto inicial (E575282, N9734800); linha 2, ponto inicial (E575520, N9734800) e linha 3, ponto inicial (E575758, N9734800). E o perfil longitudinal, para o respectivo período, do Canal pode ser observado na Figura 69.

Figura 69 - Perfil Longitudinal na Área I, para os três alinhamentos no período de novembro de 1996 a agosto de 2001.

Para a Área II o alinhamento foi: linha 1, ponto inicial (E598856, N9771500); linha 2, ponto inicial (E599152, N9771500) e linha 3, ponto inicial (E599448, N9771500). E o perfil longitudinal, para o respectivo período, do Canal pode ser observado na Figura 70.

Figura 70 - Perfil Longitudinal na Área II, para os três alinhamentos no período de novembro de 1996 a agosto de 2001.

Para a Área III o alinhamento foi: linha 1, ponto inicial (E606500, N9781114); linha 2, ponto inicial (E606500, N9780965) e linha 3, ponto inicial (E606630, N9780900). E o perfil longitudinal, para o respectivo período, do Canal pode ser observado na Figura 71.

Figura 71 - Perfil Longitudinal na Área III, para os três alinhamentos no período de novembro de 1996 a março de 2003.

Para a Área IV o alinhamento foi: linha 1, ponto inicial (E626503, N9799500); linha 2, ponto inicial (E626650, N9799500) e linha 3, ponto inicial (E626798, N 9799500). E o perfil longitudinal, para o respectivo período, do Canal pode ser observado na Figura 72.

Figura 72 - Perfil Longitudinal na Área IV, para os três alinhamentos no período de novembro de 1996 a março de 2003.

Traçaram-se as curvas de isóbatas de - 24 metros, no período compreendido entre novembro de 1996 a agosto de 2001. O resultado pode ser observado respectivamente nas Figuras 73 a Figura 76.

Figura 73 - Evolução das curvas de isóbatas de - 24 metros, na Área I.

Figura 74 - Evolução das curvas de isóbatas de - 24 metros, na Área II.

Figura 75 - Evolução das curvas de isóbatas de - 24 metros, na Área III.

Figura 76 - Evolução das curvas de isóbatas de - 24 metros, na Área IV.

Aproximando-se da crista da terceira onda, do alinhamento da linha 3 da área IV, pode-se notar que a migração dessa onda oscilou cerca de 20 metros em quase 5 anos sem tendência definida, conforme pode ser visto na Figura 77.

Figura 77 - Migração da terceira onda, no alinhamento 3, da área IV.

Aproximando-se da crista da décima onda, do alinhamento da linha 3 da Área I, pode-se notar que a migração dessa onda oscilou quase 100 metros, no mesmo período, mas também não apresentou uma tendência definida, conforme pode ser visto na Figura 78. Entretanto, é muito clara a irregularidade da forma dessa onda quando comparada com a onda da Área IV.

Figura 78 - Migração da décima onda, no alinhamento 1, da área I.

4.9 Modelo de Evolução do Fundo

Para o desenvolvimento do modelo inicialmente foi necessária a definição do plano médio das ondas de areia. Servindo como subsidio para a determinação das cristas e dos cavados, definiu-se que o plano médio corresponde à média da maior e menor cota observada na sondagem de novembro de 1996. A cota do plano médio é a de -27 metros (DHN – Marinha do Brasil) para a Área IV e foi adotado o mesmo para as outras Áreas. Observando novamente as Figuras 69 a 71, referentes aos 3 perfis de cada Área, nota-se que essa hipótese é consistente, mostrando pequena divergência na Área I aonde foram omitidas algumas ondas que se encontram abaixo dessa cota, mas não as ondas de maior amplitude, que tem suas cristas em cotas superiores a -24 metros (DHN – Marinha do Brasil).

A partir do plano definido, foram identificadas as cristas das ondas de areia nas duas áreas. Ao todo são 17 cristas de ondas seguindo o alinhamento SW-NE, na Área IV, 30 cristas para a Área III, 3 cristas para a Área II e 4 cristas para a Área I. Foi criada

a máscara para selecionar apenas os pontos de mínima profundidade das cristas, conforme pode ser visto na Figura 79.

Figura 79 - Máscara criada para o levantamento de novembro de 1996 para as Áreas IV e III – detalhe para a nomenclatura das cristas das ondas

Dessa forma foi extraído o ponto de profundidade mínima de cada uma das cristas para os levantamentos de novembro de 1996 até março de 2005, período em que ocorre o crescimento natural dessas ondas, já que não houve nenhuma dragagem. O resultado, para a Área IV, pode ser visualizado nas Figuras 80 a 96.

Figura 80 - Gráfico de evolução da crista para a onda 1

Figura 81 - Gráfico de evolução da crista para a onda 2

Figura 82 - Gráfico de evolução da crista para a onda 3

Figura 83 - Gráfico de evolução da crista para a onda 4

Figura 84 - Gráfico de evolução da crista para a onda 5

Figura 85 - Gráfico de evolução da crista para a onda 6

Figura 86 - Gráfico de evolução da crista para a onda 7

Figura 87 - Gráfico de evolução da crista para a onda 8

Figura 88 - Gráfico de evolução da crista para a onda 9

Figura 89 - Gráfico de evolução da crista para a onda 10

Figura 90 - Gráfico de evolução da crista para a onda 11

Figura 91 - Gráfico de evolução da crista para a onda 12

Figura 92 - Gráfico de evolução da crista para a onda 13

Figura 93 - Gráfico de evolução da crista para a onda 14

Figura 94 - Gráfico de evolução da crista para a onda 15

Figura 95 - Gráfico de evolução da crista para a onda 16

Figura 96 - Gráfico de evolução da crista para a onda 17.

Os gráficos para as demais Áreas seguem no ANEXO C - MODELO DE EVOLUÇÃO DE FUNDO.

Após a caracterização de cada onda, procedeu-se à caracterização de toda a área. Selecionou-se de cada período a profundidade mínima encontrada, ou seja, a envoltória das respectivas ondas. As Figuras 97 a 100 mostram a envoltória encontrada para cada Área, bem como o número da onda responsável pelo ponto.

Figura 97 - Gráfico de evolução da crista para a envoltória da Área IV.

Figura 98 - Gráfico de evolução da crista para a envoltória da Área III.

Figura 99 - Gráfico de evolução da crista para a envoltória da Área II.

Figura 100 - Gráfico de evolução da crista para a envoltória da Área I.

Examinando a Figura 97 nota-se claramente que a onda de areia que define a envoltória da Área IV é a onda 11, com exceção ao período de novembro de 1996 e abril de 1997, aonde a onda 12 tem o ponto mínimo. Já para a Área III temos que a onda de areia que definiu a envoltória foi a onda 19.

A elaboração do modelo consistiu na adaptação dos pontos da envoltória a uma equação de melhor ajuste. O ajuste se deu através do programa de regressão não linear Auto2fit (versão 3.0) que apresenta doze métodos de algoritmos diferentes e mais de 3000 equações em sua biblioteca. Dentre os algoritmos podem ser citados o Método Simplex, o Algoritmo Genético, a Evolução Diferencial e o Quasi-Newton. O que apresentou melhor correlação foi o algoritmo de Quasi-Newton. Para o ajuste da previsão do modelo foi necessário utilizar a cota da situação assintótica de equilíbrio natural, que na sondagem batimétrica primordial (fevereiro de 1986) é de -17,7 metros de profundidade para a região da Área IV, nas proximidades da onda 11. Através de análise de sensibilidade do período de ocorrência para a situação assintótica, conforme Figura 101, foi possível definir o período de 95 anos para a ocorrência dessa cota.

Figura 101 – Análise de sensibilidade para a definição do período da profundidade natural.

O mesmo valor serviu de referência para as demais Áreas devido a pouca densidade de pontos da sondagem inicial (fevereiro de 1986). Abaixo é apresentada a equação 1, para os pontos da envoltória da Área IV.

$$Y = \alpha_1 + \alpha_2 t + \alpha_3 \cdot \alpha_4^t \quad (1)$$

Sendo:

Y: cota em metros;

t: tempo em dias;

os valores de α , seguem na Tabela 11.

Tabela 11: Valores de α para a Área IV.

α_1	-21,970964384471
α_2	0,000123165527570681
α_3	-1,52140886349529
α_4	0,99590196047058

O modelo teve r^2 (coeficiente de determinação) igual 0,945, sendo a comparação dos valores previstos em relação aos valores observados vistos na Figura 102 e na Tabela 12.

Figura 102 - Gráfico do modelo proposto para a Área IV.

Tabela 12 - Comparação dos valores observados e previstos pelo modelo para a Área IV.

tempo (dias)	observado	previsto	erro (%)
0	-23.4	-23.5	-0.43 %
151	-23.0	-22.8	0.87 %
577	-22.0	-22.0	0.00 %
699	-21.2	-22.9	-8.02 %
822	-22.1	-21.9	0.90 %
942	-22.2	-21.9	1.35 %
1277	-22.2	-21.8	1.80 %
1553	-21.6	-21.8	-0.92 %
1734	-21.6	-21.8	-0.92 %
2311	-22.0	-21.7	1.36 %
3042	-21.4	-21.6	-0.93 %

Já os valores de α , para a Área III, seguem na Tabela 13:

Tabela 13 - Valores de α para a Área III.

α_1	-22.4237
α_2	0.000991
α_3	-0.67630
α_4	0.8552811

O modelo teve r^2 (coeficiente de determinação) igual 0,821, sendo a comparação dos valores previstos em relação aos valores observados vistos na Figura 103 e na Tabela 14.

Figura 103 - Gráfico do modelo proposto para a Área III.

Tabela 14 - Comparação dos valores observados e previstos pelo modelo para a Área III.

tempo (dias)	observado	previsto	erro (%)
0	23.1	23.1	0.00 %
151	22.8	22.3	-2.31 %
577	21.0	21.8	3.96 %
699	21.2	21.7	2.60 %
822	21.7	21.6	-0.42 %
942	22.2	21.5	-3.20 %
1277	21.0	21.2	0.75 %
1553	21.0	20.9	-0.55 %
1734	20.6	20.7	0.51 %
2311	20.6	20.1	-2.50 %
3042	19.1	19.4	1.62 %

Já os valores de α , para a Área II, seguem na Tabela 15:

Tabela 15 - Valores de α para a Área II.

α_1	-22.6244
α_2	0.0000135
α_3	-0.60565
α_4	-0.99792

O modelo teve r^2 (coeficiente de determinação) igual 0,981, sendo a comparação dos valores previstos em relação aos valores observados vistos na Figura 104 e na Tabela 16.

Figura 104 - Gráfico do modelo proposto para a Área II.

Tabela 16 - Comparação dos valores observados e previstos pelo modelo para a Área II.

tempo (dias)	observado	previsto	erro (%)
0	-23.2	-23.2301	-0.13
151	-22.2	-22.1803	0.09
577	-22.35	-22.4348	-0.38
699	-22.35	-22.474	-0.55
822	-22.9	-22.7224	0.78
942	-22.7	-22.6967	0.01
1277	-23	-22.565	1.89
1553	-22.6	-22.5797	0.09
1734	-22.2	-22.6173	-1.88

Já os valores de α , para a Área I, seguem na Tabela 17:

Tabela 17 - Valores de α para a Área I.

α_1	-21.3520632
α_2	0.0000100
α_3	-3.5699142
α_4	0.9984826

O modelo teve r^2 (coeficiente de determinação) igual 0,9587, sendo a comparação dos valores previstos em relação aos valores observados vistos na Figura 105 e na Tabela 18.

Figura 105 – Gráfico do modelo proposto para a Área I.

Tabela 18 - Comparação dos valores observados e previstos pelo modelo para a Área I.

Tempo (dias)	Observado	Previsto	Erro (%)
0	-25.3	-24.9	1.49
151	-23.5	-24.2	-2.93
577	-23.3	-22.8	2.01
699	-22.4	-22.6	-0.76
822	-22.6	-22.4	1.02
1277	-21.8	-21.9	-0.24
1553	-21.1	-21.7	-2.72
1734	-22.0	-21.6	1.86

4.10 Validação do modelo de evolução

A validação do modelo foi realizada a partir da dragagem de 2005 e da sondagem realizada em junho de 2006. A operação do modelo necessita apenas da cota de mínima profundidade encontrada na sondagem da pós-dragagem de março de 2005, dentro da área limitada pelo canal. Portanto para a Área IV temos que a batimetria pós-dragagem de julho de 2005 forneceu profundidade de -21.4 m (DHN) e a batimetria de junho de 2006 apresenta profundidade de -21,0 m (DHN), o modelo estima uma profundidade de -21,35 m (DHN), com erro apenas de 1,7 %.

4.11 Análise da criticidade

Para a análise das ondas críticas (que tendem sempre a apresentar as menores profundidades) foram identificadas as ondas de cada Área e em função da profundidade estas foram classificadas para cada período de batimetria. A de menor profundidade é classificada como criticidade 1, a segunda menor profundidade é como criticidade 2 e assim sucessivamente, conforme as Figuras 106 a 109.

Figura 106 - Anlise da Criticidade da rea IV.

Figura 107 - Análise da Criticidade da Área III.

Figura 108 - Análise da Criticidade da Área II.

Figura 109 - Análise da Criticidade da Área I.

Adotando uma pontuação para cada posição de criticidade e a partir da somatória de todos os períodos definiu-se a classificação geral, conforme as Tabelas 19 a 22.

Tabela 19 - Classificação geral da Área IV.

Criticidade	Onda
1	11
2	12
3	7
4	4
5	13
6	8
7	15
8	2
9	6
10	10
11	14
12	9
13	3
14	5
15	17
16	1
17	16

Tabela 20 - Classificação geral da Área III.

Criticidade	Onda
1	19
2	18
3	20
4	17
5	14
6	22
7	13
8	24
9	21
10	12
11	29
12	16
13	23
14	11
15	26
16	7
17	5
18	15
19	9
20	27
21	10
22	2
23	25
24	6
25	8
26	4
27	28
28	30
29	1
30	3

Tabela 21 - Classificação geral da Área II.

Criticidade	Onda
1	2
2	3
3	1

Tabela 22 - Classificação geral da Área I.

Criticidade	Onda
1	1
2	2
3	4
4	3

Capítulo 5. Discussão e Análise dos Resultados

CARACTERIZAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DO CANAL DE ACESSO
DO COMPLEXO PORTUÁRIO DO MARANHÃO

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

5. Discussão e Análise dos Resultados

O modelo hidrodinâmico mostrou a amplificação de amplitude da maré que ocorre na entrada do Canal até a Área do Complexo Portuário do Maranhão, ajustando-se melhor à preamar do que à baixa-mar, conforme a Tabela 4. O modelo apresentou erro médio da amplitude de 6,51% enquanto no modelo apresentado em FCTH (1995), com elementos de 2,8 km, era de 9,5% da amplitude em comparação aos dados observados.

A trajetória de derivadores indicou que uma provável área de despejo deve ser imaginada na margem leste do Canal, com exceção da Área I que poderia ser também na margem oeste. Também foi possível observar o grande período de permanência na Área I, II e III, algo que não ocorre na Área IV.

O modelo de transporte de fundo apresentou taxas elevadas na Área I em relação às demais Áreas, o que acabou sendo verificado ao observar os perfis das Áreas, no Capítulo 4.8.

Os métodos empíricos propostos para estimar a altura das ondas mostraram-se um pouco distantes da realidade, pois foi provado que apenas o parâmetro de comprimento de onda não se revelou suficiente para prever a altura da onda, mas também deve-se em parte à própria universalidade dos dados de calibração das fórmulas. A fórmula Haque e Mahmood, exigiu o valor do adimensional m , que, a partir de observações, pode ser calibrada para melhor atender à previsão da altura da região estudada.

A determinação das ondas críticas para cada Área pode ser instrumento de tomada de decisão na operação portuária, propiciando redução da área sondada para definir a necessidade de nova dragagem.

A reduzida migração dessas ondas, principalmente nas Áreas III e IV, provavelmente é resultado da simetria alternativa nas correntes de maré nas respectivas regiões. Conforme pode ser visto nos dados de correntometria do ponto A3 e ponto A4 (Figura 19 e Figura 20).

Para os próximos levantamentos batimétricos, o controle dessa região poderia ser realizado apenas no entorno das regiões mais críticas, sendo na Área IV a região das ondas 11 e 12 e na Área III a região da onda 19.

O modelo de evolução do fundo se mostrou com erros inferiores a 5% da profundidade observada, em todas as Áreas, mostrando-se uma ferramenta simples e importante para a previsão da necessidade de dragagens futuras.

A evolução das isóbatas na Área IV mostra que as formações de ondas de areia não evidenciam significativa mudança de posição com o tempo. Em compensação, a Área I apresenta conformações de fundo com irregularidade de forma de onda, evidenciando que existe uma maior migração destas. O modelo de transporte de sedimentos indicou pequeno transporte resultante na Área IV, III e II, o que explicaria a reduzida migração dessas ondas quando comparadas com a Área I.

A evolução dessas ondas aponta taxas de crescimento máximas de 1,3 metro/ano, observada durante as sondagens de fevereiro de 1999 a maio de 2000, na Área III. O modelo de evolução de fundo considerou que a sondagem batimétrica inicial (primordial), de pobre resolução espacial, teria um período de retorno de 95 anos. Para a Área II, região de menor preocupação, foi identificada uma tendência de estabilização na cota -22,5 metros (DHN – Marinha do Brasil) ao longo do período de evolução natural.

Quando o Canal encontra-se com profundidades inferiores a - 24 metros (DHN – Marinha do Brasil), os navios de maiores calados têm algumas alternativas para a utilização do Canal, como por exemplo: reduzir a sua velocidade, utilizar o Canal

durante janelas de marés e utilizar as Áreas de Espera. Prova disso é a Figura 110, que mostra um resumo dos dados de navegação do navio Berge Stahl (Lpp = 344 m, B = 62 m e T = 23m) que nas proximidades das Áreas III e IV foi obrigado a reduzir a velocidade, para, dessa maneira, reduzir o “squat”.

DATE: 24/25.06.2004 PASSAGE BALDF SAO MARCOS M.V. BERGE STAHL
VOY : 173B DEPTHS REDUCED TO CHART DATUM

TIME	POSITION	TIDAL	SNDG.	DRAFT	SQUAT	TOTAL	TIDE	DEPTH RED. TO	CHART	SPD.	REMARKS
		AREA				DEPTH	HT.	CHART DATUM	DEPTH	kts	
24/1253	BY NO - 24/19	C	47,20	22,95	0,65	70,80	3,98	66,82	95	8,9	BUOY 19 MISSING
24/1335	BY NO - 22/17	C	5,70	22,95	0,79	29,44	3,95	25,49	26	9,8	
24/1355	BY NO - 20	C	8,80	22,95	0,89	32,64	3,80	28,84	30	10,4	
24/1431	BY NO - 15	C	8,60	22,95	0,83	32,38	3,62	28,76	30	10,0	
24/2211	BY NO - 13/18	B	4,80	22,95	0,91	28,66	2,60	26,06	30	10,5	BUOY 18 UNLIT
24/2250	BY NO - 11	B	4,10	22,95	0,61	27,66	3,05	24,61	23	8,6	
24/2333	BY NO - 09/14	B	6,30	22,95	0,55	29,80	3,35	26,45	23	8,2	Área III – onda 19
24/2345	BY NO - 7/12	B	2,10	22,95	0,55	25,60	3,45	22,15	23	8,2	
24/2357	BY NO - 10/5	B	5,70	22,95	0,55	29,20	3,51	25,69	26	8,2	
25/0012	BY NO - 8	A	9,80	22,95	0,93	33,68	3,12	30,56	32	10,6	Área IV – onda 11
25/0031	BY NO - 6	A	10,80	22,95	1,07	34,82	3,16	31,66	29	11,4	
25/0102	BY NO - 3/4	A	3,00	22,95	0,60	26,63	3,15	23,48	23	9,1	
25/0112	BTW NO - 1/3	A	2,20	22,95	0,58	25,73	3,11	22,62	23	8,4	
25/0115	BY NO - 1/2	A	4,70	22,95	0,67	28,32	3,10	25,22	23	9,0	

REMARKS : VSL LEFT BERTH 1h 19m BEFORE H.W.
LEAST UKC NEAR BUOY NO 22&17=5,7m
LEAST UKC NEAR BUOY NO 7&12= 2,1m
LEAST UKC BETWEEN BUOY NO. 1&3=2,2m
VSL PASSED BUOY NO.7&12 : 01h 15min BEFORE H.W. (H.W. @AREA 'B'=25/0100LT)
VSL PASSED AREA BETWEEN NO. 1&3 : 0h 27min AFTER H.W. (H.W. @AREA 'A'=25/0045LT)

BERGE STAHL

Figura 110 - Cópia do fax encaminhado ao Port Captain do Complexo Portuário da Ponta da Madeira-CVRD.

O ANEXO D descreve o histórico da dragagem experimental realizada em março de 2005. A dragagem não apresentou êxito em navegar na transversal ao Canal, devido principalmente à falta de manobrabilidade da draga perante as fortes correntes. Assim, foi adotada a dragagem mista, com parte do tempo na transversal (em períodos de estofa da maré) e parte do tempo na longitudinal. Também foi discutido uma mudança do sistema de dragagem para a utilização de arado acoplado a um rebocador

de maior potência, que apresentaria menor custo de operação. Esse dispositivo depositaria o sedimento da crista no cavado da onda.

Capítulo 6. Conclusões

CARACTERIZAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DO CANAL DE ACESSO
DO COMPLEXO PORTUÁRIO DO MARANHÃO

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

6. Conclusões

O modelo hidrossedimentológico e o estudo das ondas de areia são de interesse para a redução de custos da dragagem e de sondagens batimétricas em canais aquaviários sujeitos a este fenômeno.

Poucas localidades do mundo apresentam as condições necessárias para a formação de grandes campos de ondas de areia como a região do Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão, com fortes correntes de maré, sedimento não coesivo e profundidade suficiente. Atualmente existe pouca literatura que aborda a formação de ondas de areia. As expressões disponíveis na literatura apresentaram erros superiores a 50%, não se adaptando às ondas encontradas no Canal de Acesso.

Esta tese alcançou os seus objetivos de apresentar uma metodologia para a implementação de modelo hidrodinâmico no Canal de Acesso ao Complexo Portuário do Maranhão e proximidades, bem como a caracterização das conformações de fundo de ondas de areia, que ocorrem na Área I, II, III e IV do Canal de Acesso.

Pela importância da região é recomendável um estudo mais detalhado sobre o comportamento da onda de maré ao longo do Canal. Atualmente este encontra-se baseado apenas no estudo da Hidrologia (1980), que mostra pequenas diferenças com o adotado pela Marinha do Brasil. O modelo numérico apontou que a consideração do comportamento linear ao longo do Canal não é válida, hipótese que foi considerada pelo estudo da Hidrologia.

O modelo numérico se ajustou à onda de maré, reproduzindo as correntes em situações bem definidas, mas mostrando divergências em horários próximos às estofas. O modelo teria um melhor ajuste se houvesse estações maregráficas nas proximidades do contorno aberto, podendo ser melhorado com a realização de medições de nível em

seu contorno aberto, ou, ainda, com o aperfeiçoamento de modelos numéricos globais de marés, permitindo uma melhor definição de seu contorno aberto. Comparando-se com Hidrologia (1980), nota-se que a amplitude deveria ser um pouco reduzida na região da Área IV.

Com a utilização do modelo de evolução de fundo torna-se mais simples o planejamento de sondagens batimétricas e dragagens de manutenção do Canal, além da melhor percepção das ondas realmente críticas, que devem servir como referência dessas Áreas. Tendo em vista o previsto incremento do porte médio de navios VLOC e ULOC nos próximos cinco anos em demanda da Área Portuária do Maranhão, bem como o histórico de periodicidade de dragagens de manutenção nas Áreas IV, III, II e I, pode-se estimar na prática, em 10 anos o intervalo máximo entre dragagens.

Cada Área, na prática, apresenta características independentes, sendo em ordem crescente de preocupação a Área II, Área I, Área IV e Área III. A Área I é a que apresenta maior migração de onda. A Área II mostra-se estabilizada com profundidade de -22,5 metros (DHN – Marinha do Brasil). A Área III é a mais longa de todas e a que pede maior atenção, tendo como onda crítica a onda 19. A Área IV, sendo localizada logo no início do Canal, embora seja menor do que a Área III, também necessita de uma atenção especial, tendo como onda crítica a onda 11.

Uma campanha de traçadores radioativos poderia tornar melhor conhecido o mecanismo de formação dessas ondas de areia, como também seria útil para mostrar se o material depositado no cavado dessas ondas retornaria para as cristas, estudo necessário para balizar uma eventual mudança no sistema de dragagem, como a utilização do arado.

Capítulo 7. Bibliografia

CARACTERIZAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DO CANAL DE ACESSO
DO COMPLEXO PORTUÁRIO DO MARANHÃO

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

7. Bibliografia

- ALFREDINI, P.: **Obras e Gestão de Portos e Costas – A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental** - Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2005.
- BAPTISTELLI, S. C.: **Modelação numérica da circulação de correntes de maré e induzidas pelo vento aplicada a estudos de disposição oceânica de efluentes na Praia Grande – São Paulo** – Dissertação apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- BLONDEAUX, P., BROCCINI M. e VITTORI G.: **A model for sand waves generation**. University of Genova, Genova, Itália, 2001.
- BRASIL/MARINHA DO BRASIL/CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA/DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO: **Carta de correntes: Proximidades da Baía de São Marcos**. 1ª Edição. Rio de Janeiro, 1972.
- ____/____/____/____: **Carta náutica nº. 40 – Da Baía do Oiapoque ao Rio Parnaíba**, 1975, escala 1:1159563.
- ____/____/____/____: **Carta náutica nº. 410 – Proximidades da Baía de São Marcos (MA)**, 1985, escala 1:135.000.
- ____/____/____/____: **Carta náutica nº. 413 –Terminal de Ponta da Madeira e Porto de Itaqui (MA)**, 1991, escala 1:15.000.
- ____/____/____/____: **Carta náutica nº. 414 –Baía de São Marcos (MA) de Itaqui ao Terminal da Alumar**, 1977, escala 1:14.999.
- CVRD – Companhia Vale do Rio Doce – Complexo Portuário de Ponta da Madeira - **Informações Portuárias**, 2001.

- COUTINHO, P. N., MORAIS, J. O.: **Distribuição de sedimentos na Baía de São José, Estado do Maranhão, Brasil** – Arquivo Ciências do Mar, 16(2): pág 123-127, Fortaleza, Brasil, 1976.
- DANISH HYDRAULIC INSTITUTE SOFTWARES – Módulos do software MIKE 21.
- EMAP – Empresa Maranhense de Autoridade Portuária – **Dados de medição de maré de 1985**, Itaqui, Brasil, 1985.
- FEMAR – Fundação de Estudos do Mar - **Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras - Dados maregráficos de Mangunça, Recife Manoel Luís, Porto de Tutóia e Farol de Santana**.
- FENSTER, M.S., FITZGERALD, D.M., BOHLEN, W.F., Lewis, R.S. and BALDWIN, T.: “**Stability of giant sand waves in eastern Long Island Sound**”, páginas 207-225, vol 91, Marine Geology, U.S.A., 1990.
- FLEMMING, B. W.: **The role of grain size, water depth and flow velocity as scaling factors controlling the size of subaqueous dunes**. In: ALAIN TRENTESAUX and T H I E R R Y G A R L A N (eds.), Marine Sandwave Dynamics, Lille, França, 2000.
- FREDSOE, J and DEIGAARD, R.: **Mechanics of coastal sediment transport**. World Scientific, Denmark, 1992.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA: **Análise Preliminar dos Dados Existentes, sobre a implantação e manutenção do canal de acesso do TPM**, Volume 1 e Volume 2, São Paulo, Brasil, 1995.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA: **Estudo da circulação de correntes de maré na Área Portuária do Maranhão abrangendo o Porto de Itaqui**, São Paulo, Brasil, 2004.

-
- GASTEL, K. V.: **Velocity profiles of tidal currents over sand waves**. Netherlands Journal of Sea Research, pp 159-170, 1987.
 - HIDROLOGIA S.A.: **Marés e correntes –JP -15 e Porto de Itaqui**. Relatório Final RL 3200-17-04. Rio de Janeiro, 1980.
 - INPH – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS: **Medições hidráulicas realizadas na Baía de São Marcos**. Relatório INPH 54/91. Rio de Janeiro, 1991.
 - IPPEN, A. T. – **Estuary and coastline hydrodynamics**. McGraw Hill Book Company Inc., New York, 1966.
 - KATOH, K., KUME, H., KUROKI, K. AND HASEGAWA, J.: **The development of sand waves and the maintenance of navigation channels in the Bisanseto Sea**. Coastal Engineering, pp 3491-3502, 1998.
 - KNAAPEN, M. A. F. AND HULSCHER, S. J. M. H.: **Regeneration of sand waves after dredging**. Journal Coastal Engineering (Elsevier), pp. 277 –289, 2002.
 - KNAAPEN, M. A. F.; HULSCHER, S. J. M. H. AND SCHOLL, O.: **Can we predict the growth of sand waves? Hindcast of a field experiment in the Bisanseto Sea, Japan..** Coastal Engineering, ASCE, Vol. 3, pp. 2661 –22671, 2000.
 - LEVIN, D. R., LILLYCROP, W. J. e Alexander, M.P.: **Sand Waves – Report 1: Sand Waves Shoaling in Navigation Channels**, US Army Corps of Engineers, Washington, Estados Unidos, 1992.
 - OPEN UNIVERSITY COURSE TEAM – **Waves, tides and shallow water processes**. Butterworth Heinemann, London, 1997.

-
- PEREIRA, J. E. R.: **Modelagem numérica tri-dimensional da circulação na plataforma do Estado do Maranhão** – Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.
 - PIANC.: **Approach channels – a guide for design**. Final report of the Working Group II – 30 PIANC – IAPH in cooperation with IMPA and IALA. Brussels (Belgium) and Tokyo (Japan), 1997.
 - SANTORO, V. C., AMORE, E., CAVALLARO, L., COZZO, G. AND FOTI, E.: **Sand Waves in the Messina Strait**. Journal of Coastal Research, No. 36, pp 640-653, 2002.
 - SOUZA, R. R.: **Modelagem numérica da circulação de correntes de maré na Baía de Marajó e Rio Pará (PA)** – Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
 - SUGUIO, K.: **Introdução à Sedimentologia**. Editora Edgard Blücher – EDUSP, São Paulo, 1973.
 - Universidade de São Paulo – Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica – **Relatórios e levantamentos hidrográficos referentes aos estudos da Área Portuária do Maranhão**. São Paulo, 1972-2002.

Anexos

CARACTERIZAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DO CANAL DE ACESSO
DO COMPLEXO PORTUÁRIO DO MARANHÃO

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

ANEXO A – DADOS DE CORRENTOMETRIA

Tabela A.1: Levantamento de correntometria do ponto A1 do conjunto de dados INPH.

PONTO A1																	HORARIO 09:15(23/04/91) - 10:15		
COORDENADAS: LATITUDE: 2 22' 32" S LONGITUDE: 44																	(24/04/91)		
18' 07" W																			
NIVEL:																			
05MS																			
Classes de velocidades	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	AD	FA	FR
m/s																			
0,00 - 0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,10 - 0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,20 - 0,30	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1.98
0,30 - 0,40	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6	5.94
0,40 - 0,50	0	3	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	8	7.92
0,50 - 0,60	2	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	8	7.92
0,60 - 0,70	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3.96
0,70 - 0,80	1	2	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9	8.91
0,80 - 0,90	2	1	0	0	0	0	0	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	9	8.91
0,90 - 1,00	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1.98
1,00 - 1,10	1	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4.95
1,10 - 1,20	7	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	12	11.9
1,20 - 1,30	16	0	0	0	0	0	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	25	24.8
1,30 - 1,40	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.99
1,40 - 1,50	4	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	8.91
1,50 - 1,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,60 - 1,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,70 - 1,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,80 - 1,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,90 - 2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,00 - 2,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,10 - 2,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,20 - 2,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,30 - 2,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,40 - 2,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,50 - 2,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,60 - 2,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,70 - 2,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,80 - 2,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,90 - 3,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA	38	12	1	2	0	0	0	28	13	1	0	0	0	1	0	4	0	100	
FR	37.6	11.9	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0	27.7	12.9	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	4.0	0.0		99
VELOC. MEDIA	1.09	0.62	0.45	0.35	0.00	0.00	0.00	0.89	1.08	0.90	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.41	0.00	MED	0.92
VELOC. MAX	1.50	1.10	0.45	0.45	0.00	0.00	0.00	1.40	1.25	0.90	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.55	0.00	MAX	1.50
VELOC. MIN	0.25	0.30	0.45	0.25	0.00	0.00	0.00	0.30	0.75	0.90	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.30	0.00	MIN	0.25

Tabela A.2: Levantamento de correntometria do ponto A2 do conjunto de dados INPH.

												HORARIO 19:00(05/04/91) - 23:30 (11/04/91)							
PONTO A-2 COORDENADAS: LATITUDE: 2 02' 17" S LONGITUDE: 44 05' 19" W NIVEL: 20MF																			
Classes de velocidades m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	AD	FA	FR
0,00 - 0,10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	1	0	7	2.35
0,10 - 0,20	2	5	1	2	0	0	0	2	0	1	2	7	2	6	4	2	0	36	12.1
0,20 - 0,30	6	2	4	0	0	0	0	0	0	3	6	8	1	1	1	4	0	36	12.1
0,30 - 0,40	7	11	1	0	0	0	0	0	0	4	10	3	0	2	0	3	0	41	13.8
0,40 - 0,50	12	10	1	0	0	0	0	0	0	8	10	8	0	0	0	2	0	51	17.1
0,50 - 0,60	5	29	0	0	0	0	0	0	0	7	13	3	0	0	0	0	0	57	19.1
0,60 - 0,70	0	18	0	0	0	0	0	0	0	10	4	1	0	0	0	0	0	33	11.1
0,70 - 0,80	0	13	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	0	0	0	0	0	19	6.38
0,80 - 0,90	0	8	2	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	18	6.04
0,90 - 1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,00 - 1,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,10 - 1,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,20 - 1,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,30 - 1,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,40 - 1,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,50 - 1,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,60 - 1,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,70 - 1,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,80 - 1,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,90 - 2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,00 - 2,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,10 - 2,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,20 - 2,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,30 - 2,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,40 - 2,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,50 - 2,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,60 - 2,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,70 - 2,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,80 - 2,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,90 - 3,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA	33	97	9	2	0	0	0	2	0	44	48	32	3	11	5	12	0	298	
FR	11.1	32.6	3.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	14.8	16.1	10.7	1.0	3.7	1.7	4.0	0.0		99
VELOC. MEDIA	0.35	0.54	0.38	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.56	0.42	0.31	0.13	0.15	0.14	0.25	0.00	MED	0.43
VELOC. MAX	0.55	0.90	0.90	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.90	0.75	0.70	0.20	0.35	0.25	0.45	0.00	MAX	0.90
VELOC. MIN	0.05	0.01	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.08	0.05	0.10	0.05	0.10	0.07	0.00	MIN	0.01

Tabela A.3: Levantamento de correntometria do ponto A3 do conjunto de dados INPH.

PONTO A-3																		HORARIO 15:15(05/04/91) - 22:45		
COORDENADAS: LATITUDE: 1 57' 53" S LONGITUDE: 44 00' 49"																		(23/04/91)		
W																				
NIVEL: 23MF																				
Classes de velocidades	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	AD	FA	FR	
m/s																				
0,00 - 0,10	5	10	4	5	1	1	2	2	3	2	6	3	2	1	6	1	0	54	6.14	
0,10 - 0,20	7	21	20	1	1	1	3	3	5	11	10	20	12	2	4	2	0	123	14	
0,20 - 0,30	8	32	18	2	0	1	0	1	4	20	14	11	6	1	2	4	0	124	14.1	
0,30 - 0,40	12	20	16	2	0	0	0	0	3	17	12	19	1	0	0	1	0	103	11.7	
0,40 - 0,50	9	12	16	0	0	0	0	0	2	19	11	17	0	0	0	0	0	86	9.77	
0,50 - 0,60	21	17	13	3	0	0	0	0	7	30	18	2	0	0	0	3	0	114	13	
0,60 - 0,70	24	19	0	1	0	0	0	0	20	31	1	0	0	0	0	2	0	98	11.1	
0,70 - 0,80	18	24	0	0	0	0	0	0	21	11	0	0	0	0	0	4	0	78	8.86	
0,80 - 0,90	30	15	1	0	0	0	2	7	11	5	0	0	0	0	0	3	0	74	8.41	
0,90 - 1,00	1	1	0	0	0	0	0	23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	26	2.95	
1,00 - 1,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,10 - 1,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,20 - 1,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,30 - 1,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,40 - 1,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,50 - 1,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,60 - 1,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,70 - 1,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,80 - 1,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,90 - 2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,00 - 2,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,10 - 2,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,20 - 2,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,30 - 2,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,40 - 2,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,50 - 2,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,60 - 2,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,70 - 2,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,80 - 2,90	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,90 - 3,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FA	135	171	88	14	2	3	7	36	77	146	72	72	21	4	12	20	0	880		
FR	15.3	19.4	10.0	1.6	0.2	0.3	0.8	4.1	8.8	16.6	8.2	8.2	2.4	0.5	1.4	2.3	0.0		100	
VELOC. MEDIA	0.57	0.43	0.30	0.26	0.10	0.14	0.31	0.71	0.59	0.46	0.32	0.28	0.16	0.13	0.11	0.49	0.00	MED	0.43	
VELOC. MAX	0.95	0.95	0.80	0.60	0.15	0.20	0.82	0.90	1.00	0.85	0.60	0.50	0.37	0.25	0.25	0.85	0.00	MAX	1.00	
VELOC. MIN	0.05	0.05	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	MIN	0.02	

Tabela A.4: Levantamento de correntometria do ponto A4 do conjunto de dados INPH.

PONTO A-4

HORARIO 07:00(05/04/91) - 09:30 (26/04/91)

COORDENADAS: LATITUDE: 1 48' 33" S LONGITUDE: 43 51' 57" W

NIVEL: 20MF

Classes de velocidades m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	AD	FA	FR
0,00 - 0,10	14	7	5	6	1	1	2	4	10	7	9	14	8	8	3	5	0	104	10.3
0,10 - 0,20	23	11	7	1	0	0	0	3	6	16	21	10	8	5	6	7	0	124	12.2
0,20 - 0,30	27	39	8	0	0	0	0	0	7	37	17	7	0	1	3	3	0	149	14.7
0,30 - 0,40	15	64	4	0	0	0	0	1	11	64	7	0	0	0	0	1	0	167	16.5
0,40 - 0,50	12	83	2	0	0	0	0	0	17	57	1	0	0	0	0	1	0	173	17.1
0,50 - 0,60	0	55	2	0	0	0	0	0	29	45	0	0	0	0	0	0	0	131	12.9
0,60 - 0,70	0	38	5	0	0	0	0	0	28	30	0	0	0	0	0	0	0	101	9.96
0,70 - 0,80	1	18	7	0	0	0	0	0	15	14	0	0	0	0	0	0	0	55	5.42
0,80 - 0,90	0	5	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	10	0.99
0,90 - 1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,00 - 1,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,10 - 1,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,20 - 1,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,30 - 1,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,40 - 1,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,50 - 1,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,60 - 1,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,70 - 1,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,80 - 1,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,90 - 2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,00 - 2,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,10 - 2,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,20 - 2,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,30 - 2,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,40 - 2,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,50 - 2,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,60 - 2,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,70 - 2,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,80 - 2,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,90 - 3,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA	92	320	40	7	1	1	2	8	125	273	55	31	16	14	12	17	0	1014	
FR	9.1	31.6	3.9	0.7	0.1	0.1	0.2	0.8	12.3	26.9	5.4	3.1	1.6	1.4	1.2	1.7	0.0		100
VELOC. MEDIA	0.22	0.42	0.35	0.04	0.01	0.02	0.05	0.10	0.46	0.40	0.17	0.11	0.08	0.08	0.13	0.14	0.00	MED	0.35
VELOC. MAX	0.75	0.85	0.75	0.10	0.01	0.02	0.05	0.35	0.80	0.85	0.40	0.25	0.15	0.20	0.25	0.40	0.00	MAX	0.85
VELOC. MIN	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	MIN	0.01

Tabela A.5: Levantamento de correntometria do ponto JP-15 do conjunto de dados Hidrologia.

Localização: JP-15				período: 26/05/80 - 28/06/80							
Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)
26/05	18:50	0.30	072°	27/05	20:50	0.22	066°	28/05	22:50	0.10	057°
26/05	19:20	0.37	059°	27/05	21:20	0.09	060°	28/05	23:20	0.05	042°
26/05	19:50	0.40	062°	27/05	21:50	0.09	045°	28/05	23:50	0.08	027°
26/05	20:20	0.40	070°	27/05	22:20	0.08	050°	29/05	00:20	0.14	272°
26/05	20:50	0.32	072°	27/05	22:50	0.02	058°	29/05	00:50	0.10	260°
26/05	21:20	0.28	058°	27/05	23:20	0.05	328°	29/05	01:20	0.38	258°
26/05	21:50	0.04	045°	27/05	23:50	0.13	272°	29/05	01:50	0.42	245°
26/05	22:20	0.09	032°	28/05	00:20	0.17	260°	29/05	02:20	0.40	268°
26/05	22:50	0.09	288°	28/05	00:50	0.25	260°	29/05	02:50	0.30	240°
26/05	23:20	0.09	265°	28/05	01:20	0.25	257°	29/05	03:20	0.25	245°
26/05	23:50	0.11	255°	28/05	01:50	0.38	253°	29/05	03:50	0.40	230°
27/05	00:20	0.37	250°	28/05	02:20	0.39	242°	29/05	04:20	0.36	245°
27/05	00:50	0.45	248°	28/05	02:50	0.49	255°	29/05	04:50	0.14	242°
27/05	01:20	0.46	270°	28/05	03:20	0.42	249°	29/05	05:20	0.06	225°
27/05	01:50	0.36	255°	28/05	03:50	0.35	242°	29/05	05:50	0.05	192°
27/05	02:20	0.40	230°	28/05	04:20	0.15	238°	29/05	06:20	0.05	130°
27/05	02:50	0.40	245°	28/05	04:50	0.05	220°	29/05	06:50	0.12	090°
27/05	03:20	0.36	250°	28/05	05:20	0.08	205°	29/05	07:20	0.12	075°
27/05	03:50	0.10	240°	28/05	05:50	0.07	108°	29/05	07:50	0.30	079°
27/05	04:20	0.02	220°	28/05	06:20	0.00	080°	29/05	08:20	0.45	064°
27/05	04:50	0.05	200°	28/05	06:50	0.10	085°	29/05	08:50	0.39	066°
27/05	05:20	0.02	085°	28/05	07:20	0.25	090°	29/05	09:20	0.30	065°
27/05	05:50	0.01	070°	28/05	07:50	0.41	078°	29/05	09:50	0.35	060°
27/05	06:20	0.08	062°	28/05	08:20	0.10	079°	29/05	10:20	0.10	060°
27/05	06:50	0.13	062°	28/05	08:50	0.11	046°	29/05	10:50	0.12	080°
27/05	07:20	0.40	065°	28/05	09:20	0.16	060°	29/05	11:20	0.09	048°
27/05	07:50	0.50	060°	28/05	09:50	0.10	058°	29/05	11:50	0.10	048°
27/05	08:20	0.42	052°	28/05	10:20	0.38	051°	29/05	12:20	0.05	354°
27/05	08:50	0.38	050°	28/05	10:50	0.08	050°	29/05	12:50	0.12	272°
27/05	09:20	0.10	060°	28/05	11:20	0.10	030°	29/05	13:20	0.12	250°
27/05	09:50	0.12	045°	28/05	11:50	0.06	300°	29/05	13:50	0.22	250°
27/05	10:20	0.07	035°	28/05	12:20	0.04	265°	29/05	14:20	0.12	268°
27/05	10:50	0.06	012°	28/05	12:50	0.12	250°	29/05	14:50	0.42	256°
27/05	11:20	0.06	292°	28/05	13:20	0.35	243°	29/05	15:20	0.43	254°
27/05	11:50	0.07	265°	28/05	13:50	0.40	248°	29/05	15:50	0.17	271°
27/05	12:20	0.15	255°	28/05	14:20	0.10	240°	29/05	16:20	0.37	250°
27/05	12:50	0.23	247°	28/05	14:50	0.40	237°	29/05	16:50	0.12	246°
27/05	13:20	0.11	240°	28/05	15:20	0.36	242°	29/05	17:20	0.10	250°
27/05	13:50	0.45	224°	28/05	15:50	0.30	260°	29/05	17:50	0.05	254°
27/05	14:20	0.45	260°	28/05	16:20	0.12	255°	29/05	18:20	0.09	210°
27/05	14:50	0.35	238°	28/05	16:50	0.07	230°	29/05	18:50	0.06	120°
27/05	15:20	0.40	243°	28/05	17:20	0.13	234°	29/05	19:20	0.03	098°
27/05	15:50	0.15	233°	28/05	17:50	0.06	180°	29/05	19:50	0.09	098°
27/05	16:20	0.05	240°	28/05	18:20	0.07	100°	29/05	20:20	0.22	092°
27/05	16:50	0.11	259°	28/05	18:50	0.07	080°	29/05	20:50	0.08	083°
27/05	17:20	0.02	222°	28/05	19:20	0.11	080°	29/05	21:20	0.30	085°
27/05	17:50	0.07	090°	28/05	19:50	0.36	079°	29/05	21:50	0.40	070°
27/05	18:20	0.03	071°	28/05	20:20	0.22	073°	29/05	22:20	0.41	060°
27/05	18:50	0.08	067°	28/05	20:50	0.11	069°	29/05	22:50	0.12	060°
27/05	19:20	0.36	065°	28/05	21:20	0.25	060°	29/05	23:20	0.07	062°
27/05	19:50	0.25	059°	28/05	21:50	0.36	048°	29/05	23:50	0.04	051°
27/05	20:20	0.25	061°	28/05	22:20	0.37	048°	30/05	00:20	0.07	042°

Tabela A.5: Levantamento de correntometria do ponto JP-15 do conjunto de dados Hidrologia (continuação).

Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário
30/05	00:50	0.09	270°	31/05	02:50	0.30	240°	01/06	04:50
30/05	01:20	0.06	258°	31/05	03:20	0.25	240°	01/06	05:20
30/05	01:50	0.24	252°	31/05	03:50	0.35	252°	01/06	05:50
30/05	02:20	0.20	252°	31/05	04:20	0.40	245°	01/06	06:20
30/05	02:50	0.25	245°	31/05	04:50	0.19	240°	01/06	06:50
30/05	03:20	0.45	242°	31/05	05:20	0.15	234°	01/06	07:20
30/05	03:50	0.17	245°	31/05	05:50	0.10	237°	01/06	07:50
30/05	04:20	0.37	250°	31/05	06:20	0.05	240°	01/06	08:20
30/05	04:50	0.40	248°	31/05	06:50	0.10	226°	01/06	08:50
30/05	05:20	0.10	242°	31/05	07:20	0.09	180°	01/06	09:20
30/05	05:50	0.10	240°	31/05	07:50	0.12	100°	01/06	09:50
30/05	06:20	0.12	230°	31/05	08:20	0.10	080°	01/06	10:20
30/05	06:50	0.05	140°	31/05	08:50	0.40	085°	01/06	10:50
30/05	07:20	0.12	094°	31/05	09:20	0.30	090°	01/06	11:20
30/05	07:50	0.09	088°	31/05	09:50	0.25	088°	01/06	11:50
30/05	08:20	0.25	080°	31/05	10:20	0.29	080°	01/06	12:20
30/05	08:50	0.40	070°	31/05	10:50	0.45	075°	01/06	12:50
30/05	09:20	0.41	070°	31/05	11:20	0.37	070°	01/06	13:20
30/05	09:50	0.42	072°	31/05	11:50	0.37	072°	01/06	13:50
30/05	10:20	0.42	062°	31/05	12:20	0.36	064°	01/06	14:20
30/05	10:50	0.25	065°	31/05	12:50	0.15	053°	01/06	14:50
30/05	11:20	0.12	060°	31/05	13:20	0.12	058°	01/06	15:20
30/05	11:50	0.14	060°	31/05	13:50	0.14	310°	01/06	15:50
30/05	12:20	0.07	050°	31/05	14:20	0.11	260°	01/06	16:20
30/05	12:50	0.10	038°	31/05	14:50	0.30	253°	01/06	16:50
30/05	13:20	0.12	280°	31/05	15:20	0.37	225°	01/06	17:20
30/05	13:50	0.39	267°	31/05	15:50	0.14	220°	01/06	17:50
30/05	14:20	0.23	255°	31/05	16:20	0.45	255°	01/06	18:20
30/05	14:50	0.26	250°	31/05	16:50	0.43	260°	01/06	18:50
30/05	15:20	0.12	240°	31/05	17:20	0.45	260°	01/06	19:20
30/05	15:50	0.45	240°	31/05	17:50	0.48	250°	01/06	19:50
30/05	16:20	0.40	250°	31/05	18:20	0.38	220°	01/06	20:20
30/05	16:50	0.25	268°	31/05	18:50	0.12	243°	01/06	20:50
30/05	17:20	0.37	250°	31/05	19:20	0.10	235°	01/06	21:20
30/05	17:50	0.05	242°	31/05	19:50	0.10	180°	01/06	21:50
30/05	18:20	0.11	236°	31/05	20:20	0.12	090°	01/06	22:20
30/05	18:50	0.03	230°	31/05	20:50	0.09	080°	01/06	22:50
30/05	19:20	0.04	130°	31/05	21:20	0.38	075°	01/06	23:20
30/05	19:50	0.12	090°	31/05	21:50	0.39	076°	01/06	23:50
30/05	20:20	0.15	092°	31/05	22:20	0.39	078°	02/06	00:20
30/05	20:50	0.22	090°	31/05	22:50	0.35	062°	02/06	00:50
30/05	21:20	0.13	090°	31/05	23:20	0.40	060°	02/06	01:20
30/05	21:50	0.40	082°	31/05	23:50	0.43	060°	02/06	01:50
30/05	22:20	0.13	075°	01/06	00:20	0.17	050°	02/06	02:20
30/05	22:50	0.13	050°	01/06	00:50	0.10	060°	02/06	02:50
30/05	23:20	0.25	075°	01/06	01:20	0.06	060°	02/06	03:20
30/05	23:50	0.12	052°	01/06	01:50	0.10	342°	02/06	03:50
31/05	00:20	0.10	063°	01/06	02:20	0.10	280°	02/06	04:20
31/05	00:50	0.06	060°	01/06	02:50	0.25	258°	02/06	04:50
31/05	01:20	0.08	300°	01/06	03:20	0.40	260°	02/06	05:20
31/05	01:50	0.25	262°	01/06	03:50	0.28	265°	02/06	05:50
31/05	02:20	0.36	250°	01/06	04:20	0.30	260°	02/06	06:20

Tabela A.5: Levantamento de correntometria do ponto JP-15 do conjunto de dados Hidrologia (continuação).

Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)
02/06	06:50	0.39	244°	03/06	08:50	0.10	240°	04/06	10:50	0.08	220°
02/06	07:20	0.40	250°	03/06	09:20	0.04	235°	04/06	11:20	0.08	095°
02/06	07:50	0.09	245°	03/06	09:50	0.04	238°	04/06	11:50	0.03	070°
02/06	08:20	0.12	235°	03/06	10:20	0.05	085°	04/06	12:20	0.15	070°
02/06	08:50	0.00	185°	03/06	10:50	0.00	065°	04/06	12:50	0.35	060°
02/06	09:20	0.05	080°	03/06	11:20	0.15	060°	04/06	13:20	0.35	060°
02/06	09:50	0.09	065°	03/06	11:50	0.38	060°	04/06	13:50	0.45	060°
02/06	10:20	0.37	063°	03/06	12:20	0.45	065°	04/06	14:20	0.10	060°
02/06	10:50	0.35	058°	03/06	12:50	0.50	070°	04/06	14:50	0.35	050°
02/06	11:20	0.12	058°	03/06	13:20	0.50	062°	04/06	15:20	0.25	050°
02/06	11:50	0.40	080°	03/06	13:50	0.40	060°	04/06	15:50	0.10	060°
02/06	12:20			03/06	14:20	0.10	050°	04/06	16:20	0.03	045°
02/06	12:50	0.00	060°	03/06	14:50	0.10	050°	04/06	16:50	0.06	040°
02/06	13:20	0.00	060°	03/06	15:20	0.05	045°	04/06	17:20	0.09	280°
02/06	13:50	0.20	049°	03/06	15:50	0.13	042°	04/06	17:50	0.05	255°
02/06	14:20	0.15	041°	03/06	16:20	0.10	030°	04/06	18:20	0.15	250°
02/06	14:50	0.10	029°	03/06	16:50	0.03	305°	04/06	18:50	0.40	240°
02/06	15:20	0.10	340°	03/06	17:20	0.20	265°	04/06	19:20	0.38	240°
02/06	15:50	0.15	280°	03/06	17:50	0.10	255°	04/06	19:50	0.12	239°
02/06	16:20	0.15	260°	03/06	18:20	0.40	250°	04/06	20:20	0.20	238°
02/06	16:50	0.25	260°	03/06	18:50	0.40	250°	04/06	20:50	0.25	245°
02/06	17:20	0.30	260°	03/06	19:20	0.35	249°	04/06	21:20	0.17	250°
02/06	17:50	0.50	260°	03/06	19:50	0.20	255°	04/06	21:50	0.15	243°
02/06	18:20	0.50	240°	03/06	20:20	0.40	255°	04/06	22:20	0.10	240°
02/06	18:50	0.50	240°	03/06	20:50	0.35	250°	04/06	22:50	0.13	245°
02/06	19:20	0.45	240°	03/06	21:20	0.15	240°	04/06	23:20	0.10	210°
02/06	19:50	0.40	240°	03/06	21:50	0.08	240°	04/06	23:50	0.05	150°
02/06	20:20	0.15	229°	03/06	22:20	0.04	240°	05/06	00:20	0.18	070°
02/06	20:50	0.10	232°	03/06	22:50	0.00	220°	05/06	00:50	0.09	070°
02/06	21:20	0.10	239°	03/06	23:20	0.05	130°	05/06	01:20	0.12	075°
02/06	21:50	0.08	225°	03/06	23:50	0.05	070°	05/06	01:50	0.24	065°
02/06	22:20	0.10	070°	04/06	00:20	0.20	060°	05/06	02:20	0.40	050°
02/06	22:50	0.10	065°	04/06	00:50	0.30	055°	05/06	02:50	0.38	055°
02/06	23:20	0.35	055°	04/06	01:20	0.40	060°	05/06	03:20	0.14	059°
02/06	23:50	0.15	055°	04/06	01:50	0.45	062°	05/06	03:50	0.12	060°
03/06	00:20	0.40	060°	04/06	02:20	0.40	062°	05/06	04:20	0.05	060°
03/06	00:50	0.20	055°	04/06	02:50	0.35	058°	05/06	04:50	0.15	050°
03/06	01:20	0.45	055°	04/06	03:20	0.12	050°	05/06	05:20	0.07	030°
03/06	01:50	0.45	035°	04/06	03:50	0.04	050°	05/06	05:50	0.05	310°
03/06	02:20	0.20	055°	04/06	04:20	0.10	015°	05/06	06:20	0.01	260°
03/06	02:50	0.08	045°	04/06	04:50	0.08	280°	05/06	06:50	0.10	250°
03/06	03:20	0.13	032°	04/06	05:20	0.02	250°	05/06	07:20	0.35	240°
03/06	03:50	0.10	325°	04/06	05:50	0.15	248°	05/06	07:50	0.09	240°
03/06	04:20	0.00	275°	04/06	06:20	0.38	245°	05/06	08:20	0.14	240°
03/06	04:50	0.15	260°	04/06	06:50	0.35	255°	05/06	08:50	0.40	245°
03/06	05:20	0.30	250°	04/06	07:20	0.35	240°	05/06	09:20	0.15	240°
03/06	05:50	0.25	248°	04/06	07:50	0.15	250°	05/06	09:50	0.15	245°
03/06	06:20	0.40	250°	04/06	08:20	0.10	238°	05/06	10:20	0.20	250°
03/06	06:50	0.30	249°	04/06	08:50	0.10	240°	05/06	10:50	0.10	240°
03/06	07:20	0.28	245°	04/06	09:20	0.08	230°	05/06	11:20	0.14	240°
03/06	07:50	0.38	240°	04/06	09:50	0.08	230°	05/06	11:50	0.03	205°
03/06	08:20	0.35	240°	04/06	10:20	0.12	230°	05/06	12:20	0.08	080°

Tabela A.5: Levantamento de correntometria do ponto JP-15 do conjunto de dados Hidrologia (continuação).

Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)
05/06	12:50	0.00	070°	06/06	14:50	0.12	060°	07/06	16:50	0.14	060°
05/06	13:20	0.09	080°	06/06	15:20	0.20	060°	07/06	17:20	0.40	060°
05/06	13:50	0.14	075°	06/06	15:50	0.38	058°	07/06	17:50	0.40	060°
05/06	14:20	0.35	060°	06/06	16:20	0.15	050°	07/06	18:20	0.12	055°
05/06	14:50	0.35	050°	06/06	16:50	0.12	050°	07/06	18:50	0.06	060°
05/06	15:20	0.35	060°	06/06	17:20	0.40	058°	07/06	19:20	0.10	060°
05/06	15:50	0.35	050°	06/06	17:50	0.12	045°	07/06	19:50	0.13	048°
05/06	16:20	0.10	090°	06/06	18:20	0.07	045°	07/06	20:20	0.25	025°
05/06	16:50	0.10	060°	06/06	18:50	0.08	020°	07/06	20:50	0.12	280°
05/06	17:20	0.04	049°	06/06	19:20	0.09	315°	07/06	21:20	0.10	255°
05/06	17:50	0.05	029°	06/06	19:50	0.10	275°	07/06	21:50	0.38	252°
05/06	18:20	0.07	310°	06/06	20:20	0.12	255°	07/06	22:20	0.42	245°
05/06	18:50	0.02	265°	06/06	20:50	0.38	245°	07/06	22:50	0.40	252°
05/06	19:20	0.15	255°	06/06	21:20	0.35	245°	07/06	23:20	0.45	260°
05/06	19:50	0.15	242°	06/06	21:50	0.38	240°	07/06	23:50	0.47	260°
05/06	20:20	0.40	260°	06/06	22:20	0.40	240°	08/06	00:20	0.48	258°
05/06	20:50	0.42	260°	06/06	22:50	0.38	245°	08/06	00:50	0.45	240°
05/06	21:20	0.40	240°	06/06	23:20	0.39	255°	08/06	01:20	0.38	228°
05/06	21:50	0.40	243°	06/06	23:50	0.32	235°	08/06	01:50	0.07	245°
05/06	22:20	0.15	240°	07/06	00:20	0.23	235°	08/06	02:20	0.10	240°
05/06	22:50	0.10	248°	07/06	00:50	0.00	240°	08/06	02:50	0.00	145°
05/06	23:20	0.10	240°	07/06	01:20	0.11	248°	08/06	03:20	0.08	075°
05/06	23:50	0.05	240°	07/06	01:50	0.03	210°	08/06	03:50	0.02	065°
06/06	00:20	0.07	270°	07/06	02:20	0.13	080°	08/06	04:20	0.12	065°
06/06	00:50	0.03	340°	07/06	02:50	0.03	070°	08/06	04:50	0.12	070°
06/06	01:20	0.10	063°	07/06	03:20	0.10	065°	08/06	05:20	0.15	050°
06/06	01:50	0.09	060°	07/06	03:50	0.12	060°	08/06	05:50	0.42	055°
06/06	02:20	0.18	060°	07/06	04:20	0.16	060°	08/06	06:20	0.45	060°
06/06	02:50	0.10	065°	07/06	04:50	0.40	062°	08/06	06:50	0.50	070°
06/06	03:20	0.35	060°	07/06	05:20	0.12	050°	08/06	07:20	0.15	070°
06/06	03:50	0.40	065°	07/06	05:50	0.15	050°	08/06	07:50	0.10	050°
06/06	04:20	0.37	065°	07/06	06:20	0.37	063°	08/06	08:20	0.00	035°
06/06	04:50	0.10	055°	07/06	06:50	0.00	060°	08/06	08:50	0.05	010°
06/06	05:20	0.10	060°	07/06	07:20	0.12	040°	08/06	09:20	0.10	280°
06/06	05:50	0.01	060°	07/06	07:50	0.08	013°	08/06	09:50	0.08	260°
06/06	06:20	0.09	050°	07/06	08:20	0.08	265°	08/06	10:20	0.10	252°
06/06	06:50	0.05	315°	07/06	08:50	0.10	255°	08/06	10:50	0.40	255°
06/06	07:20	0.02	265°	07/06	09:20	0.12	255°	08/06	11:20	0.40	240°
06/06	07:50	0.10	255°	07/06	09:50	0.22	250°	08/06	11:50	0.35	255°
06/06	08:20	0.15	250°	07/06	10:20	0.45	250°	08/06	12:20	0.30	240°
06/06	08:50	0.20	250°	07/06	10:50	0.42	250°	08/06	12:50	0.35	235°
06/06	09:20	0.40	250°	07/06	11:20	0.13	248°	08/06	13:20	0.32	235°
06/06	09:50	0.40	245°	07/06	11:50	0.18	254°	08/06	13:50	0.40	240°
06/06	10:20	0.20	250°	07/06	12:20	0.12	240°	08/06	14:20	0.10	240°
06/06	10:50	0.14	253°	07/06	12:50	0.21	250°	08/06	14:50	0.00	230°
06/06	11:20	0.10	250°	07/06	13:20	0.00	240°	08/06	15:20	0.04	230°
06/06	11:50	0.10	255°	07/06	13:50	0.10	245°	08/06	15:50	0.05	080°
06/06	12:20	0.00	255°	07/06	14:20	0.00	110°	08/06	16:20	0.01	070°
06/06	12:50	0.09	245°	07/06	14:50	0.10	075°	08/06	16:50	0.10	060°
06/06	13:20	0.05	085°	07/06	15:20	0.05	070°	08/06	17:20	0.42	070°
06/06	13:50	0.05	065°	07/06	15:50	0.10	070°	08/06	17:50	0.45	055°
06/06	14:20	0.10	060°	07/06	16:20	0.12	060°	08/06	18:20	0.28	060°

Tabela A.5: Levantamento de correntometria do ponto JP-15 do conjunto de dados Hidrologia (continuação).

Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)
08/06	18:50	0.50	062°	09/06	20:50	0.45	050°	10/06	22:50	0.04	040°
08/06	19:20	0.30	045°	09/06	21:20	0.12	045°	10/06	23:20	0.13	005°
08/06	19:50	0.10	040°	09/06	21:50	0.08	045°	10/06	23:50	0.06	280°
08/06	20:20	0.08	048°	09/06	22:20	0.09	015°	11/06	00:20	0.35	265°
08/06	20:50	0.01	053°	09/06	22:50	0.15	300°	11/06	00:50	0.50	260°
08/06	21:20	0.10	350°	09/06	23:20	0.10	270°	11/06	01:20	0.46	250°
08/06	21:50	0.12	290°	09/06	23:50	0.38	255°	11/06	01:50	0.42	260°
08/06	22:20	0.06	270°	10/06	00:20	0.42	250°	11/06	02:20	0.46	255°
08/06	22:50	0.38	255°	10/06	00:50	0.37	255°	11/06	02:50	0.48	245°
08/06	23:20	0.42	260°	10/06	01:20	0.45	260°	11/06	03:20	0.46	245°
08/06	23:50	0.25	250°	10/06	01:50	0.42	240°	11/06	03:50	0.47	248°
09/06	00:20	0.40	228°	10/06	02:20	0.36	240°	11/06	04:20	0.42	250°
09/06	00:50	0.50	230°	10/06	02:50	0.38	243°	11/06	04:50	0.15	250°
09/06	01:20	0.50	250°	10/06	03:20	0.12	250°	11/06	05:20	0.10	235°
09/06	01:50	0.30	250°	10/06	03:50	0.12	255°	11/06	05:50	0.04	150°
09/06	02:20	0.13	250°	10/06	04:20	0.15	250°	11/06	06:20	0.00	060°
09/06	02:50	0.02	240°	10/06	04:50	0.09	290°	11/06	06:50	0.15	055°
09/06	03:20	0.00	230°	10/06	05:20	0.10	070°	11/06	07:20	0.48	060°
09/06	03:50	0.04	258°	10/06	05:50	0.10	075°	11/06	07:50	0.40	060°
09/06	04:20	0.08	105°	10/06	06:20	0.15	070°	11/06	08:20	0.48	060°
09/06	04:50	0.00	073°	10/06	06:50	0.45	065°	11/06	08:50	0.50	058°
09/06	05:20	0.26	070°	10/06	07:20	0.47	050°	11/06	09:20	0.40	065°
09/06	05:50	0.30	065°	10/06	07:50	0.40	065°	11/06	09:50	0.40	060°
09/06	06:20	0.40	068°	10/06	08:20	0.42	070°	11/06	10:20	0.40	055°
09/06	06:50	0.43	060°	10/06	08:50	0.45	060°	11/06	10:50	0.15	058°
09/06	07:20	0.50	048°	10/06	09:20	0.42	060°	11/06	11:20	0.10	055°
09/06	07:50	0.50	050°	10/06	09:50	0.14	058°	11/06	11:50	0.10	015°
09/06	08:20	0.42	055°	10/06	10:20	0.10	040°	11/06	12:20	0.12	290°
09/06	08:50	0.38	045°	10/06	10:50	0.12	020°	11/06	12:50	0.37	240°
09/06	09:20	0.10	040°	10/06	11:20	0.07	298°	11/06	13:20	0.50	240°
09/06	09:50	0.10	025°	10/06	11:50	0.40	220°	11/06	13:50	0.46	238°
09/06	10:20	0.10	330°	10/06	12:20	0.45	230°	11/06	14:20	0.50	230°
09/06	10:50	0.10	270°	10/06	12:50	0.40	235°	11/06	14:50	0.45	260°
09/06	11:20	0.39	245°	10/06	13:20	0.42	255°	11/06	15:20	0.40	260°
09/06	11:50	0.42	250°	10/06	13:50	0.48	265°	11/06	15:50	0.46	258°
09/06	12:20	0.40	220°	10/06	14:20	0.40	230°	11/06	16:20	0.48	250°
09/06	12:50	0.42	210°	10/06	14:50	0.40	250°	11/06	16:50	0.42	245°
09/06	13:20	0.40	240°	10/06	15:20	0.42	235°	11/06	17:20	0.35	230°
09/06	13:50	0.32	250°	10/06	15:50	0.50	240°	11/06	17:50	0.12	230°
09/06	14:20	0.25	240°	10/06	16:20	0.36	245°	11/06	18:20	0.00	150°
09/06	14:50	0.15	245°	10/06	16:50	0.10	240°	11/06	18:50	0.12	075°
09/06	15:20	0.10	230°	10/06	17:20	0.08	210°	11/06	19:20	0.38	060°
09/06	15:50	0.08	240°	10/06	17:50	0.10	070°	11/06	19:50	0.45	063°
09/06	16:20	0.10	230°	10/06	18:20	0.09	065°	11/06	20:20	0.45	050°
09/06	16:50	0.06	090°	10/06	18:50	0.42	065°	11/06	20:50	0.45	060°
09/06	17:20	0.05	070°	10/06	19:20	0.50	065°	11/06	21:20	0.50	075°
09/06	17:50	0.15	050°	10/06	19:50	0.50	075°	11/06	21:50	0.45	065°
09/06	18:20	0.36	065°	10/06	20:20	0.42	060°	11/06	22:20	0.40	060°
09/06	18:50	0.45	065°	10/06	20:50	0.45	060°	11/06	22:50	0.45	058°
09/06	19:20	0.50	050°	10/06	21:20	0.45	060°	11/06	23:20	0.12	050°
09/06	19:50	0.45	060°	10/06	21:50	0.40	053°	11/06	23:50	0.13	040°
09/06	20:20	0.42	050°	10/06	22:20	0.15	050°	12/06	00:20	0.10	340°

Tabela A.5: Levantamento de correntometria do ponto JP-15 do conjunto de dados Hidrologia (continuação).

Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)	Dia	Horário	V (m/s)	Direção (°)
12/06	00:50	0.05	260°	13/06	02:50	0.32	240°
12/06	01:20	0.40	245°	13/06	03:20	0.40	240°
12/06	01:50	0.50	245°	13/06	03:50	0.37	250°
12/06	02:20	0.48	252°	13/06	04:20	0.30	259°
12/06	02:50	0.50	250°	13/06	04:50	0.34	250°
12/06	03:20	0.50	225°	13/06	05:20	0.35	249°
12/06	03:50	0.48	210°	13/06	05:50	0.20	240°
12/06	04:20	0.50	250°	13/06	06:20	0.17	242°
12/06	04:50	0.52	240°	13/06	06:50	0.00	242°
12/06	05:20	0.15	250°	13/06	07:20	0.04	090°
12/06	05:50	0.04	235°	13/06	07:50	0.25	064°
12/06	06:20	0.05	225°	13/06	08:20	0.35	063°
12/06	06:50	0.07	090°	13/06	08:50	0.42	076°
12/06	07:20	0.06	070°	13/06	09:20	0.38	072°
12/06	07:50	0.25	070°	13/06	09:50	0.45	072°
12/06	08:20	0.45	070°	13/06	10:20	0.45	068°
12/06	08:50	0.50	072°	13/06	10:50	0.35	066°
12/06	09:20	0.45	050°	13/06	11:20	0.45	067°
12/06	09:50	0.50	065°	13/06	11:50	0.40	067°
12/06	10:20	0.46	050°	13/06	12:20	0.40	059°
12/06	10:50	0.50	068°	13/06	12:50	0.20	049°
12/06	11:20	0.40	052°	13/06	13:20	0.05	305°
12/06	11:50	0.37	050°	13/06	13:50	0.20	274°
12/06	12:20	0.19	050°	13/06	14:20	0.32	265°
12/06	12:50	0.10	340°	13/06	14:50	0.33	261°
12/06	13:20	0.30	272°	13/06	15:20	0.35	261°
12/06	13:50	0.38	249°	13/06	15:50	0.32	262°
12/06	14:20	0.35	247°	13/06	16:20	0.29	252°
12/06	14:50	0.31	239°	13/06	16:50	0.20	238°
12/06	15:20	0.31	245°	13/06	17:20	0.45	270°
12/06	15:50	0.37	243°	13/06	17:50	0.36	245°
12/06	16:20	0.25	240°	13/06	18:20	0.30	240°
12/06	16:50	0.33	250°	13/06	18:50	0.28	250°
12/06	17:20	0.35	251°	13/06	19:20	0.10	243°
12/06	17:50	0.28	240°	13/06	19:50	0.07	242°
12/06	18:20	0.12	238°	13/06	20:20	0.25	078°
12/06	18:50	0.00	122°	13/06	20:50	0.30	065°
12/06	19:20	0.20	085°	13/06	21:20	0.32	070°
12/06	19:50	0.30	065°	13/06	21:50	0.30	074°
12/06	20:20	0.43	085°	13/06	22:20	0.40	083°
12/06	20:50	0.44	068°	13/06	22:50	0.48	073°
12/06	21:20	0.40	058°	13/06	23:20	0.48	077°
12/06	21:50	0.40	061°	13/06	23:50	0.37	061°
12/06	22:20	0.48	065°	14/06	00:20	0.25	054°
12/06	22:50	0.31	052°	14/06	00:50	0.24	060°
12/06	23:20	0.40	056°	14/06	01:20	0.10	086°
12/06	23:50	0.30	063°	14/06	01:50	0.14	280°
13/06	00:20	0.18	054°	14/06	02:20	0.26	263°
13/06	00:50	0.03	303°	14/06	02:50	0.40	262°
13/06	01:20	0.18	268°	14/06	03:20	0.40	261°
13/06	01:50	0.34	251°	14/06	03:50	0.25	247°
13/06	02:20	0.41	260°	14/06	04:20	0.22	247°

ANEXO B – CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO

Pode ser observado na Figura B.01 as diferentes grades de rugosidade de fundo utilizadas durante a calibração do modelo hidrodinâmico.

Figura B.01 – Mapas cromáticos das diferentes rugosidade de fundo utilizadas do início ao final da calibração.

Pode ser observado na Figura B.02 as diferentes grades batimétricas utilizadas durante a calibração do modelo hidrodinâmico.

Figura B.02 –Batimetrias utilizadas do início ao final da calibração.

Simulação com vento de 10 m/s de NE

simulação sem vento

ANEXO C - MODELO DE EVOLUÇÃO DE FUNDO

Os demais gráficos de evolução de cristas na Área III, II e I podem ser visualizados nas Figuras C.01 a C.37.

Figura C.01 – Gráfico de evolução da crista para a onda 1 da Área III.

Figura C.02 – Gráfico de evolução da crista para a onda 2 da Área III.

Figura C.03 – Gráfico de evolução da crista para a onda 3 da Área III.

Figura C.04 – Gráfico de evolução da crista para a onda 4 da Área III.

Figura C.05 – Gráfico de evolução da crista para a onda 5 da Área III.

Figura C.06 – Gráfico de evolução da crista para a onda 6 da Área III.

Figura C.07 – Gráfico de evolução da crista para a onda 7 da Área III.

Figura C.08 – Gráfico de evolução da crista para a onda 8 da Área III.

Figura C.09 – Gráfico de evolução da crista para a onda 9 da Área III.

Figura C.10 – Gráfico de evolução da crista para a onda 10 da Área III.

Figura C.11 – Gráfico de evolução da crista para a onda 11 da Área III.

Figura C.12 – Gráfico de evolução da crista para a onda 12 da Área III.

Figura C.13 – Gráfico de evolução da crista para a onda 13 da Área III.

Figura C.14 – Gráfico de evolução da cota para a onda 14 da Área III.

Figura C.15 – Gráfico de evolução da cota para a onda 15 da Área III.

Figura C.16 – Gráfico de evolução da cota para a onda 16 da Área III.

Figura C.17 – Gráfico de evolução da cota para a onda 17 da Área III.

Figura C.18 – Gráfico de evolução da cota para a onda 18 da Área III.

Figura C.19 – Gráfico de evolução da cota para a onda 19 da Área III.

Figura C.20 – Gráfico de evolução da crista para a onda 20 da Área III.

Figura C.21 – Gráfico de evolução da crista para a onda 21 da Área III.

Figura C.22 – Gráfico de evolução da crista para a onda 22 da Área III.

Figura C.23 – Gráfico de evolução da crista para a onda 23 da Área III.

Figura C.24 – Gráfico de evolução da crista para a onda 24 da Área III.

Figura C.25 – Gráfico de evolução da crista para a onda 25 da Área III.

Figura C.26 – Gráfico de evolução da crista para a onda 26 da Área III.

Figura C.27 – Gráfico de evolução da crista para a onda 27 da Área III.

Figura C.28 – Gráfico de evolução da crista para a onda 28 da Área III.

Figura C.29 – Gráfico de evolução da crista para a onda 29 da Área III.

Figura C.30 – Gráfico de evolução da crista para a onda 30 da Área III.

Figura C.31 – Gráfico de evolução da crista para a onda 1 da Área II.

Figura C.32 – Gráfico de evolução da crista para a onda 2 da Área II.

Figura C.33 – Gráfico de evolução da crista para a onda 3 da Área II.

Figura C.34 – Gráfico de evolução da crista para a onda 1 da Área I.

Figura C.35 – Gráfico de evolução da crista para a onda 2 da Área I.

Figura C.36 – Gráfico de evolução da crista para a onda 3 da Área I.

Figura C.37 – Gráfico de evolução da crista para a onda 4 da Área I.

ANEXO D – HISTÓRICO DA DRAGAGEM DO CANAL DE ACESSO DE MARÇO DE 2005

Descrição da dragagem de manutenção realizada, no Canal de Acesso, em março de 2005. Tendo como objetivo a manutenção do calado e fornecer subsídios para futuras dragagens na região.

Informações:

Draga: Macapá (Dragaport) – capacidade de 5600 m³

Tripulação: Comandante Sales; Engenheiro Supervisor Sandro; Engenheiro Sérgio; Imediato Edson.

As 10:00 h do dia 31 de março de 2005 a draga partiu do Porto de Itaqui em direção a Área IV. A draga chegou 15h00m ao final da Área IV e iniciou a dragagem transversal. A dragagem transversal ao canal possibilitaria dragagens mais eficientes a medida que a boca sempre estaria dragando.

O início da dragagem foi às 15h15min. Com somente uma boca de dragagem, a outra estava inoperante.

A primeira onda de areia foi dragada após aproximadamente 1 hora, pelo método da dragagem transversal.

O mar estava com ondas na ordem de 1~1,5 m de amplitude e na direção de nordeste (preferencialmente).

Pode ser constatado que a batimetria no local não estava exatamente aonde a sondagem batimétrica forneceu. Com erros próximos de 20 metros. Alan (inspetor – CVRD) comentou que não houve correção na batimetria.

Após as 16h15minutos iniciou-se a dragagem longitudinal com uma 1 boca (boca de boreste apresentou problema). Terminando a dragagem às 20h00m. O computador forneceu que tinha se dragado em torno de 5900 toneladas ao final da dragagem.

Foi realizada a medição da cisterna utilizando-se o prumo para a medição da espessura do material decantado. As medidas estão apresentadas na Tabela D.01:

Tabela D.01 – Dados da medição na cisterna do volume dragado.

BB	proa	7,60
	½ nau	5,50
	popa	5,10
BE	proa	4,90
	½ nau	7,10
	popa	7,40

Média = 6,26 m , utilizando a tabela da cisterna corresponde a um volume de cisterna de 2695 m³.

O consultor Marcos V. Nicoletti comentou que provavelmente a dragagem está atuando por agitação isso devido a draga não reter os finos na cisterna, expulsando-os pelo “overflow”. O consultor também desenvolveu uma estimativa através de um cálculo simples, utilizando a planta da área a ser dragada e uma estimativa do tempo utilizado. Definindo qual o processo é mais eficiente, se a dragagem na transversal ao Canal ou a longitudinal ao Canal. Segue abaixo a memória de cálculo:

Dragagem longitudinal:

- velocidade desenvolvida ~ 3 nós (ou 1,55 m/s)
- trecho linear efetivamente dragado na cota almejada ~ 370 m
- total de trecho percorrido ~2250 m

- rendimento da passada: $370/2250=16,5\%$
- tempo da passada = $2250/1,55 = 24$ minutos
- boca da draga $\sim 2,9$ metros
- tempo para executar 4 passes = $4*24+4*5(\text{tempo de manobra})=116$ minutos.
- Área dragada = $370 \times 2,90 = 1073 \text{ m}^2$
- Rendimento = $1073 \text{ m}^2 / 116 \text{ minutos} = 37,00 \text{ m}^2/\text{min}$ (1 boca)
- Com duas bocas podemos aproximar que o rendimento é de $74,00 \text{ m}^2/\text{min}$

Dragagem transversal:

- velocidade desenvolvida $\sim 1,5$ nós (ou $0,77 \text{ m/s}$)
- trecho linear efetivamente dragado na cota almejada $\sim 500 \text{ m}$
- total de trecho percorrido $\sim 500 \text{ m}$
- rendimento da passada: $500/500=100\%$
- tempo da passada = $500/0,77 = 10,8$ minutos
- boca da draga $\sim 2,9$ metros
- tempo para executar 4 passes = $4*10,8+4*5(\text{tempo de manobra})=63,2$ minutos.
- Área dragada = $500 \times 2,90 = 1450 \text{ m}^2$
- Rendimento = $4*1450 \text{ m}^2 / 63,2 \text{ minutos} = 92 \text{ m}^2/\text{min}$ (1 boca)
- Não é viável executar a dragagem com duas bocas (trecho de crista muito curto)
- Não é viável executar com altas correntes de maré.

Durante a execução da dragagem se mostrou mais produtivo a realização de uma dragagem mista. Dragando parte do tempo na longitudinal ao Canal e parte do tempo na transversal ao Canal. Isso se deve a manobrabilidade da draga, que com correntes próximas a estofa permite a dragagem na transversal (de alto rendimento). Conforme pode ser visualizado na Figura D.01:

Figura D.01 - Trajeto percorrido pela Draga Macapá (Dragaport), durante a dragagem da Área IV do Canal de Acesso do Complexo Portuário de Ponta da Madeira (MA).

Foi realizada a coleta do material (conforme Figura D.02) dragado para uma posterior análise, nos Laboratórios da CVRD. Visualmente o material trata-se de areia média com presença de carbonato de cálcio.

Figura D.02 - Coleta de sedimento na saída do tubo para a cisterna.

A segunda etapa da dragagem teve duração de 8 horas, terminando as 04h35m. A medição de cisterna indicou que fora dragado 3127,9 m³. O início da terceira etapa foi 04h45m e terminando as 10h05m. O volume dragado pela medição da cisterna foi de 1856,4 m³. Início da quarta etapa as 10h45m, foi retirada amostras de sedimentos em duas partes da draga. A boca de boreste voltou a operar as 13h10m. Encerramento da dragagem as 16h15m. Volume de cisterna igual a 2763,9 m³. Final de 24 horas de operação de dragagem e a produção nesse 1º dia foi de 10513,9 m³.

A dragagem teve como objetivo a cota -25 m, e teve atuação principalmente nas regiões mais críticas, que são a Área III e Área IV. Abaixo segue o resumo geral da operação da draga na Área IV e III:

ÁREA IV

- Início da dragagem: 31 / 03 – 15:15 horas
- Término da dragagem: 06 / 04 – 13:20 horas (término temporário)
- Total de dias: 05,92 dias
- Horas dragadas: 105:40 horas = 105,67 horas
- Horas para o despejo: 16:45 horas
- Horas totais dos ciclos (dragadas + despejo): 122:25 = 122,40 horas =
05,10 dias
- Horas paradas Dragaport: 19:55 horas
- Horas paradas CVRD (trânsito navios): 01:35 horas
- Horas paradas (total): 21:30 horas
- Volume total dragado (medido em cisterna): 40.750,60 m³
- m³ / hora dragada: 385,64 m³/hora
- m³ / hora ciclo: 332,93 m³/hora
- Número viagens no período: 20
- Tempo médio de viagem: 06:02 horas
- Volume médio por viagem: 2.037,53 m³
- Volume médio / dia (operado): 8.117,64 m³
- % trabalhado / calendário: 85 %
- % rendimento / esperado (*): 54 %
- (*) 15.000 m³ / dia
-
- D/Dragaport: 19:55 horas = 0,82 dias
- D/CVRD: 01:35 horas

ÁREA III

- Início da dragagem: 06/ 04 – 15:40 horas
- Até 15 / 04 – 24:00 horas
- Total de dias: 09,35 dias
- Horas dragadas: 104:30 horas
- Horas para o despejo: 09:40 horas
- Horas totais dos ciclos (dragadas + despejo): 114,17 horas = 4,75 dias
- Horas paradas Dragaport: 104:15 horas
- Horas paradas CVRD (trânsito navios): 07:20 horas
- Horas paradas (total): 111:35 horas = 04,65 dias
- Volume total dragado: 26.497,80 m³
- m³ / hora dagada: 253,57 m³ / hora
- m³ / hora ciclo: 232,09 m³ / hora
- Número de viagens no período: 12
- Tempo médio de viagem: 09:31 horas
- Volume médio por viagem: 2.208,15 m³
- Volume médio / dia (operando): 5.578,48 m³
- % trabalhado / calendário: 51 %
- % rendimento / esperado: 37,20 %

OBSERVAÇÃO: Durante todo o período operado pela Draga Macapá na Área III, a mesma somente utilizou um tubo de dragagem, sendo estimado em 40 % a redução em seu rendimento, dando um valor de 68,50 horas efetivamente dragadas, correspondente a 02,85 dias.

01 – Horas de deslocamentos (Porto do Itaqui / área IV e área IV para área III), consideradas como tempo de paralização, a custas CVRD. Tempo gasto = 08:05 horas.

02 – Total de dias dragados no período de 31 de março à 15 de abril = 7,95 dias.

03 – Horas paradas por conta da CVRD = 08:55 horas. Estas horas deveu-se a trânsito de navios no canal de acesso.

04 – Total de horas paradas por conta CVRD no período = 17:00 horas.