



PLANO BÁSICO AMBIENTAL PORTO SUL

ELABORAÇÃO DO PLANO BÁSICO AMBIENTAL DO
PORTO SUL E DOS ESTUDOS COMPLEMENTARES
NECESSÁRIOS À SOLICITAÇÃO DA SUA LICENÇA
DE IMPLANTAÇÃO

ESTUDOS TÉCNICOS PARA O EIA
EFEITOS CONSTRUTIVOS (SILTAÇÃO) - DISPERSÃO DE
DRAGAGEM

PORTO SUL PROGRAMA BÁSICO AMBIENTAL - PBA

ESTUDOS TÉCNICOS PARA O EIA: EFEITOS CONSTRUTIVOS (SILTAÇÃO) - DISPERSÃO DE DRAGAGEM

Novembro de 2014

APRESENTAÇÃO

Apresenta-se o estudo “ESTUDOS TÉCNICOS PARA O EIA: EFEITOS CONSTRUTIVOS (SILTAÇÃO) - DISPERSÃO DE DRAGAGEM” elaborado pela empresa URS Infrastructure & Environment UK Limited ("URS"), contratada pela Bahia Mineração Ltda.

A realização deste estudo como parte do processo de licenciamento do empreendimento foi uma exigência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – Ibama expressa no Parecer 02001.003765/2014-21 COPAH/IBAMA.

O objetivo da sua realização foi avaliar as tendências da dispersão da pluma de sedimentos em suspensão a ser formada a partir do descarte do material dragado na profundidade de 500 m para fins de definição de malhas e procedimentos a serem adotados nos Programas de Monitoramento de Biota Aquática e de Monitoramento da Qualidade das Águas e Sedimento, ambos pertencentes ao Plano Básico Ambiental – PBA do empreendimento Porto Sul.

Projeto Pedra de Ferro
Terminal Privado de Aritaguá - Porto Offshore
**ESTUDOS TÉCNICOS PARA O EIA:
EFEITOS CONSTRUTIVOS (SILTAÇÃO) -
DISPERSÃO DE DRAGAGEM**

Novembro de 2014



REVISÕES

TA: TIPO DE ASSUNTO A - PRELIMINAR C - PARA INFORMAÇÃO E - PARA CONSTRUÇÃO G - COMO CONSTRUÍDO (AS BUILT)
 B - PARA APROVAÇÃO D - PARA COTAÇÃO F - COMO COMPRADO H - CANCELADO

Rev.	TA	Descrição	Por	Verif.	Aprov.	Autor.	Data
A	A	PRELIMINAR	Baoxing Wang Principal Coastal Modeller	Adrian Wright Principal Coastal Modeller	Paul Norton Head of Coastal	Peter Neville-Jones Technical Director	02.09.14
B	B	Atualizado devido aos comentários da BAMIN	Shiromal Fernando Principal Coastal Engineer	Baoxing Wang Principal Coastal Modeller	Paul Norton Head of Coastal	Peter Neville-Jones Technical Director	27.10.14
C	C	Atualizado devido aos comentários da BAMIN sobre o relatório rev B e aproximação quasi-3D aplicada	Baoxing Wang Principal Coastal Modeller	Shiromal Fernando Principal Coastal Engineer	Paul Norton Head of Coastal	Peter Neville-Jones Technical Director	30.11.14

Este documento somente poderá ser alterado /revisado pela Gerência Geral de Logística da BAMIN.

Limitações

A URS Infrastructure & Environment UK Limited ("URS") preparou este relatório para uso exclusivo da Bahia Mineração ("Cliente"), em conformidade com o Acordo no qual os nossos serviços constam da Engineering Design Services Technical Proposal May 2011. Nenhuma outra garantia, explícita ou implícita, é dada às opiniões profissionais incluídas neste Relatório ou quaisquer outros serviços prestados pela URS. Este relatório é confidencial e não pode ser publicado pelo cliente nem invocado por qualquer outra parte sem o consentimento prévio e expresso por escrito da URS.

As conclusões e recomendações contidas neste relatório são baseadas em informações fornecidas por outros e sobre o pressuposto de que todas as informações relevantes foram fornecidas por essas partes quando solicitadas e que tais informações são precisas. As informações obtidas pela URS não foram independentemente verificadas pela URS, salvo indicação em contrário no Relatório.

A metodologia adotada e as fontes de informação utilizadas pela URS na prestação de seus serviços estão descritas neste relatório. O trabalho descrito no presente relatório foi realizado entre maio de 2011 e novembro de 2014 e baseia-se nas condições encontradas e nas informações disponíveis durante o referido período de tempo. O escopo deste relatório e os serviços prestados estão, portanto, realmente limitados por estas circunstâncias.

Quando são dadas opiniões sobre obras e custos no presente relatório, tais avaliações baseiam-se nas informações disponíveis no momento e, eventualmente, estão sujeitas a novas investigações ou novas informações que possam se tornar disponíveis.

A URS não se responsabiliza pelo compromisso ou obrigação de informar qualquer pessoa sobre qualquer alteração em qualquer assunto que afete o Relatório que seja levada ao conhecimento da URS após a data de finalização do relatório.

As declarações feitas no relatório que não são fatos históricos podem se constituir de estimativas, projeções ou outras declarações prospectivas e, embora sejam baseadas em pressupostos razoáveis realizados na data do relatório, tais declarações prospectivas, por sua natureza, envolvem riscos e incertezas que podem causar resultados reais diferentes dos resultados previstos. A URS não garante especialmente nenhuma estimativa ou projeção contida neste Relatório.

Salvo disposição em contrário no presente relatório, as avaliações feitas supõem que os locais e as instalações continuarão a ser utilizados para os fins atuais sem alterações significativas.

Quando investigações de campo são realizadas, elas ficam restritas ao nível de detalhe exigido para cumprir os objetivos declarados dos serviços. Os resultados das medições efetuadas podem variar espacialmente ou com o tempo, e outras medições para a confirmação dos dados devem ser feitas caso ocorra qualquer atraso significativo na emissão deste relatório.

Os custos podem variar fora dos intervalos citados. Embora as estimativas de custo sejam fornecidas para questões individuais neste Relatório, elas são baseadas em informações no momento da elaboração das estimativas e podem estar incompletas. As estimativas de custo para tais questões podem, portanto, variar com relação àquelas fornecidas. Quando são fornecidos custos, essas estimativas devem ser consideradas apenas no seu conjunto. Nenhum crédito deve ser dado em relação a qualquer divisão de custos agregados, incluindo divisão em relação a qualquer questão e local ou qualquer outra subdivisão.

Não foram feitas previsões de alterações de preços ou taxas de câmbio ou alterações de quaisquer outras condições que poderão resultar em oscilações de preços no futuro. Onde foram feitas avaliações de obras ou de custos necessários para atingir uma finalidade, elas são baseadas em medidas que, na experiência URS, poderiam ser normalmente negociadas com as autoridades competentes nos termos da legislação atual e da prática de execução, assumindo-se uma abordagem proativa e razoável de gerenciamento local.

As estimativas de custo previstas não incluem custos associados a quaisquer negociações, recursos ou outras ações não técnicas associadas a medidas para atender exigências das autoridades, nem eventuais perdas de negócios e custos de interrupção que possam ocorrer como parte de quaisquer medidas técnicas.

Copyright

© Os direitos deste relatório pertencem à URS Infrastructure & Environment UK Limited. Qualquer reprodução não autorizada ou utilização por qualquer pessoa que não seja o destinatário é estritamente proibida.

ÍNDICE

<u>ÍTEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1.0	INTRODUÇÃO	7
2.0	REVISÃO E ANÁLISE DOS DADOS	8
3.0	MODELAGEM HIDRODINÂMICA	28
4.0	METODOLOGIA DE DRAGAGEM E DESCARTE	39
5.0	MODELAGEM DO NÚCLEO DE ALTA DENSIDADE	45
6.0	MODELAGEM DE DISPERSÃO (PASSIVA) DA PLUMA NO CAMPO AFASTADO	48
7.0	CONCLUSÕES	68
8.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	APÊNDICES	73
	APÊNDICE A – INFORMAÇÕES SOBRE OS MODELOS DA DHI	74
	APÊNDICE B – INFORMAÇÕES SOBRE OS MODELOS DA HR WALLINGFORD	75

Lista de Tabelas

Tabela 2-1: Níveis de maré para o Porto de Ilhéus a partir de “Especificações Gerais para o Projeto Portuário Relatório N° CP-0000-G122” (à esquerda) e da Tábua de Marés da Marinha (à direita).....	9
Tabela 2-2: Resumo da localização dos ADCPs.....	10
Tabela 2-3: Resumo dos relatórios das campanhas de medição e suas respectivas datas, disponibilizados para a URS Scott Wilson.....	10
Tabela 2-4: Tabela do clima das velocidades médias de corrente em profundidade para o conjunto de dados (12,7 meses).	17
Tabela 2-5: Análise estatística de velocidades de corrente com base no conjunto de 12,7 meses de dados.	17
Tabela 2-5: Resumo das medições de SST para os três locais com 5 m de profundidade.....	25
Tabela 3-1: Componentes de maré para os dados de nível de água do ADCP e do Porto de Ilhéus com base na análise do registro do nível de água do ADCP (URS Scott Wilson, 2011).	30
Tabela 3-2. Padrões da FWR aplicados neste estudo como critérios de desempenho de calibração.	32
Tabela 3-3. Resumo da calibração do modelo - Junho de 2009.	33
Tabela 3-4: Estatística RMS para o período de calibração.	34
Tabela 3-5. Resumo da validação do modelo – Dezembro de 2008.....	35
Tabela 3-6: Estatística RMS para o período de validação.....	36
Tabela 4-1: Especificações da draga autotransportadora.	39
Tabela 4-2: Comparação da taxa de perda de material fino dos diferentes tipos de dragas.	40
Tabela 4-3: Plano de dragagem – Quebra-mar. Local de descarte a 500 m de profundidade.....	43
Tabela 4-4: Parâmetros dos sedimentos finos.	44
Tabela 5-1: Termos-fonte resultantes do descarte (disposição) num período de 5 minutos.....	47
Tabela 6-1: Taxa de lançamento de sedimentos finos na superfície – pluma passiva.	50
Tabela 6-2: Taxa de lançamento de sedimentos finos no fundo – pluma de descarte difusa.....	50
Tabela 6-3: Níveis de limiar para deposição em fundos de coral.	51
Tabela 6-4: Limite da concentração de sedimentos em suspensão.....	52
Tabela 7.1: Alcance máximo da envoltória de 10 mg/l da pluma (em km).	71

Lista de Figuras

Figura 2-1: Planta da localização próxima à costa (<i>nearshore</i>) mostrando o local de instalação do Porto Sul, fundos de corais sensíveis e localização dos ADCPs.....	8
Figura 2-2: Previsão da variação das marés (mMSL) para o Porto de Ilhéus em um ciclo de sizígia e quadratura.	9
Figura 2-3: Configuração esquemática da instalação do ADCP no fundo (relatório Cepemar 337/09).....	12
Figura 2-4: Perfil vertical de corrente do ADCP para R1 a R11.....	13
Figura 2-5: Séries temporais da velocidade de corrente média em profundidade de R1 a R11 (componente norte-sul).	14
Figura 2-6: Séries temporais da velocidade de corrente média em profundidade de R1 a R11 (componente leste-oeste).....	15
Figura 2-7: Rosa de velocidade da corrente média em profundidade para o conjunto de 12,7 meses de dados, divisão em setores de 20 graus.....	16
Figura 2-8: Rosas de correntes para junho (esquerda) e dezembro (direita) para representar, respectivamente, condições típicas de inverno e de verão.	18
Figura 2-9: Correntes norte / sul de um período de 5 dias em agosto de 2009.....	19
Figura 2-10: Componente de maré das correntes norte/sul durante um período de cinco dias no ADCP em agosto de 2009.	19
Figura 2-11: Componente residual de correntes norte/sul durante um período de cinco dias de medições de ADCP em agosto de 2009.....	20
Figura 2-12: Bifurcação da Corrente Sul Equatorial ao largo da costa do Brasil na região de 11° S (adaptado de Rodrigues <i>et al.</i> , 2007).....	22
Figura 2-13: Comparação das velocidades de correntes superficiais no ADCP (16 m, 2008) com os resultados do HYCOM (2004) para pontos na costa (-45m) e <i>offshore</i> (-345 m), durante o período de novembro a março.	24
Figura 2-14: Concentração de sólidos em suspensão total na região de Aritaguá entre novembro de 2010 e janeiro de 2011.	26
Figura 2-15: Imagem de satélite do rio Almada evidenciando a descarga de níveis elevados de sólidos em suspensão em comparação com as concentrações baixas de <i>background</i> , em outubro de 2001.....	27
Figura 3-1: Localização do Porto Sul e batimetria adjacente com indicação dos locais de descarte e da área sensível dos fundos de coral.	29
Figura 3-2: Calibração do modelo com relação aos dados de ADCP de junho de 2009.	34
Figura 3-3: Período de calibração de dezembro (verão).	36
Figura 3-4: Exemplo de resultado do modelo hidrodinâmico para correntes norte durante o período de validação.	37
Figura 3-4: Exemplo de resultado do modelo hidrodinâmico para correntes sul durante o período de validação.	38
Figura 4-1: Draga Autotransportadora (TSHD / <i>Trailer Suction Hopper Dredger</i>).	39
Figura 4-2: Síntese do ciclo de dragagem e descarte.	41
Figura 4-3: Processos de descarte (adaptado de Raymond, 1986).	42
Figura 4-4: Percentagem de lama e areia das amostras do fundo obtidas na área do Porto Sul (retiradas do relatório RT-11: Sedimentos BAMIN).....	43
Figura 5-1: Processos da pluma de sedimentos representados pelo modelo SEDTRAIL-RW 3D.	45
Figura 5-2: Depósito inconsolidado resultante do descarte de 16,5 Mm ³ de material dragado no local com profundidade de 500 m.....	48
Figura 6-1 Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão - Superfície (Verão).	55
Figura 6-2: Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão - Média (Verão).....	56

Figura 6-3: Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão - Fundo (Verão).	57
Figura 6-4: Percentagem de excedência de 10 mg/l (Verão).	58
Figura 6-5: Depósito de sedimentos (Verão).	59
Figura 6-6: Série temporal de concentração de sedimentos (verão).	60
Figura 6-7: Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão - Superfície (Inverno).	62
Figura 6-8: Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão – Média (Inverno).	63
Figura 6-9: Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão – Fundo (Inverno).	64
Figura 6-10: Percentagem de excedência de 10 mg/l (Inverno).	65
Figura 6-11: Depósito de sedimentos (Inverno).	66
Figura 6-12: Série temporal de concentração de sedimentos (Inverno).	67

1.0 INTRODUÇÃO

Como parte do Projeto Pedra de Ferro, na Bahia, tornaram-se necessárias novas instalações portuárias para o escoamento dos produtos da nova mina de minério de ferro, localizada em Caetité, cerca de 500 km para o interior de Ilhéus. O porto *offshore* proposto, Porto Sul, está localizado em Aritaguá, a aproximadamente 7 km ao norte do Porto de Ilhéus, e consiste numa longa ponte de acesso desde a costa até os cais de carga. A sua construção requer serviços de dragagem e disposição de sedimentos finos na região *offshore*. Como parte dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA), a URS foi contratada para avaliar os impactos potenciais das atividades de disposição dos sedimentos dragados num local com uma profundidade da lâmina de água de 500 m.

Como parte deste estudo, a HR Wallingford, uma companhia independente líder em consultoria e pesquisa hidráulica no Reino Unido, executou uma revisão da configuração do modelo de dispersão da pluma passiva e auxiliou tecnicamente os estudos com especialistas em modelagem no que diz respeito ao comportamento (ou dispersão) de sedimentos na área de descarte proposta.

As operações de descarte de sedimentos dragados causam suspensão de sedimentos. A fim de avaliar o impacto das atividades de dragagem nos níveis de turbidez e de sedimentos em suspensão de base (*background* ambiental), foi utilizado o modelo MIKE Flexible Mesh (FM) Particle Tracking (PT) neste estudo. Esse modelo simula o lançamento de material na coluna de água, desde a superfície até o fundo do mar, como resultado de operações de dragagem e de descarte. Este relatório fornece as informações técnicas relativas aos dados, metodologia e resultados da modelagem de descarte na área de interesse.

1.1 ESCOPO DO DOCUMENTO

No escopo do EIA do Porto Sul, verificou-se a necessidade de avaliar o potencial de dispersão do descarte de sedimentos finos sobre a área vizinha e sobre o fundo de corais presente ao norte do porto.

Os objetivos deste relatório são fornecer uma descrição de:

- Revisão e Análise dos Dados (Seção 2)
- Modelagem Hidrodinâmica (Seção 3)
- Metodologia de Dragagem e Descarte (Seção 4)
- Modelagem do Núcleo de Alta Densidade (Seção 5)
- Modelagem da Dispersão da Pluma Passiva (Seção 6)
- Conclusões (Seção 7)

Os efeitos potenciais das atividades de dragagem associados à preparação do local, dragagem e descarte sobre um local com 200 m de profundidade foram estudados e apresentados em relatório anterior (URS Scott Wilson, 2011). No presente estudo, o descarte nos 500 m de profundidade de coluna de água foi realizado utilizando os mesmos dados e a mesma metodologia e, portanto, estas informações estão resumidas e constituem a base deste relatório.

2.0 REVISÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Um estudo detalhado das condições do local foi realizado por meio da análise documental da literatura disponível, das cartas náuticas e dos dados de campo disponibilizados para a URS.

2.1 BATIMETRIA

A batimetria apresentada na Figura 2-1 foi obtida com base em dados batimétricos CMAP para a área, que por sua vez são baseados em cartas náuticas da região.

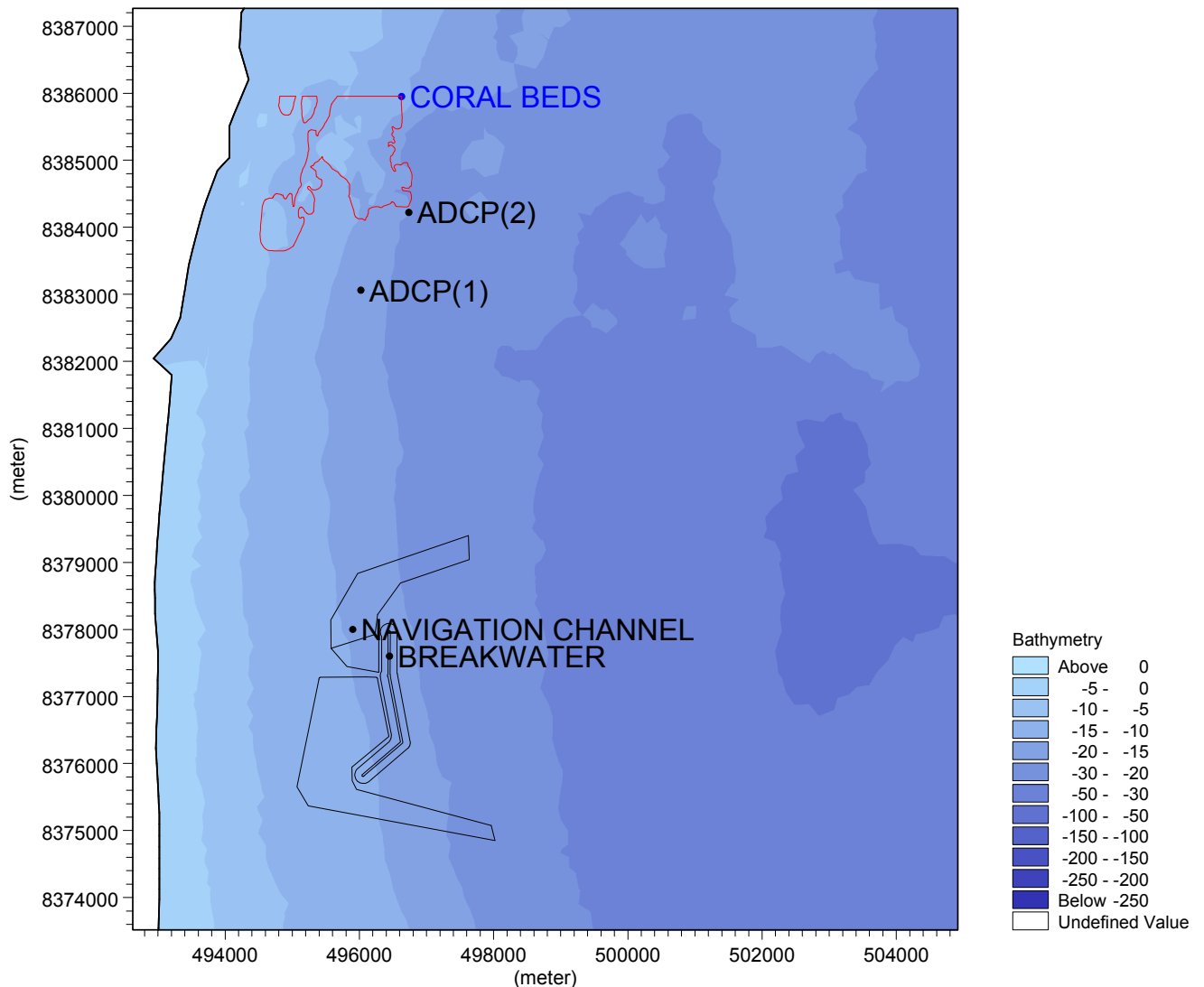


Figura 2-1: Planta da localização próxima à costa (*nearshore*) mostrando o local de instalação do Porto Sul, fundos de corais sensíveis e localização dos ADCPs.

2.2 MARÉS

Os níveis de maré no Porto de Ilhéus foram obtidos a partir do relatório “Especificações Gerais para o Projeto Portuário” (CP-0000-G122) e das tábuas de maré da DHN (Marinha do Brasil). Assumiu-se que o nível DHN (DHN) é o mesmo das Cartas Náuticas (CD).

A maré prevista para o Porto de Ilhéus utilizando as constantes harmônicas da Tábua de Marés da Marinha é apresentada na Figura 2-2. A maré é semidiurna com uma forte desigualdade entre sizígia e quadratura. As tábuas de maré da Marinha fornecem os níveis de maré do Porto de Ilhéus em relação aos níveis de maré do Porto de Recife (PE), localizado a cerca de 800 quilômetros ao norte. Todos os níveis de maré no Porto de Ilhéus são 0,1 m

abaixo dos de Recife. A mesma relação foi aplicada aos níveis de LAT e HAT e, portanto, o nível estimado de LAT em Ilhéus tornou-se 0,3 m abaixo do nível CD.

Tabela 2-1: Níveis de maré para o Porto de Ilhéus a partir de “Especificações Gerais para o Projeto Portuário Relatório Nº CP-0000-G122” (à esquerda) e da Tábua de Marés da Marinha (à direita).

Nível de Maré	Relatório CP-0000-G122		Tábua de Marés da Marinha	
	mDHN	mMSL	mCD	mMSL
HAT*	-	-	+2.5	+1.4
MHWS	+2.0	+0.9	+2.1	+1.0
MHWN	+1.5	+0.4	+1.5	+0.4
MSL	+1.1	0.0	+1.1	0.0
MLWN	+0.7	-0.4	+0.7	-0.4
MLWS	+0.2	-0.9	+0.2	-0.9
LAT*	-	-	-0.3	-1.4

* Os níveis de HAT e LAT foram inferidos a partir dos níveis do porto de Recife para os quais os níveis de maré de Ilhéus estão relacionados. Os níveis da Tábua de Maré da Marinha são baseados em dados publicados nas Tábuas de Marés Brasileiras.

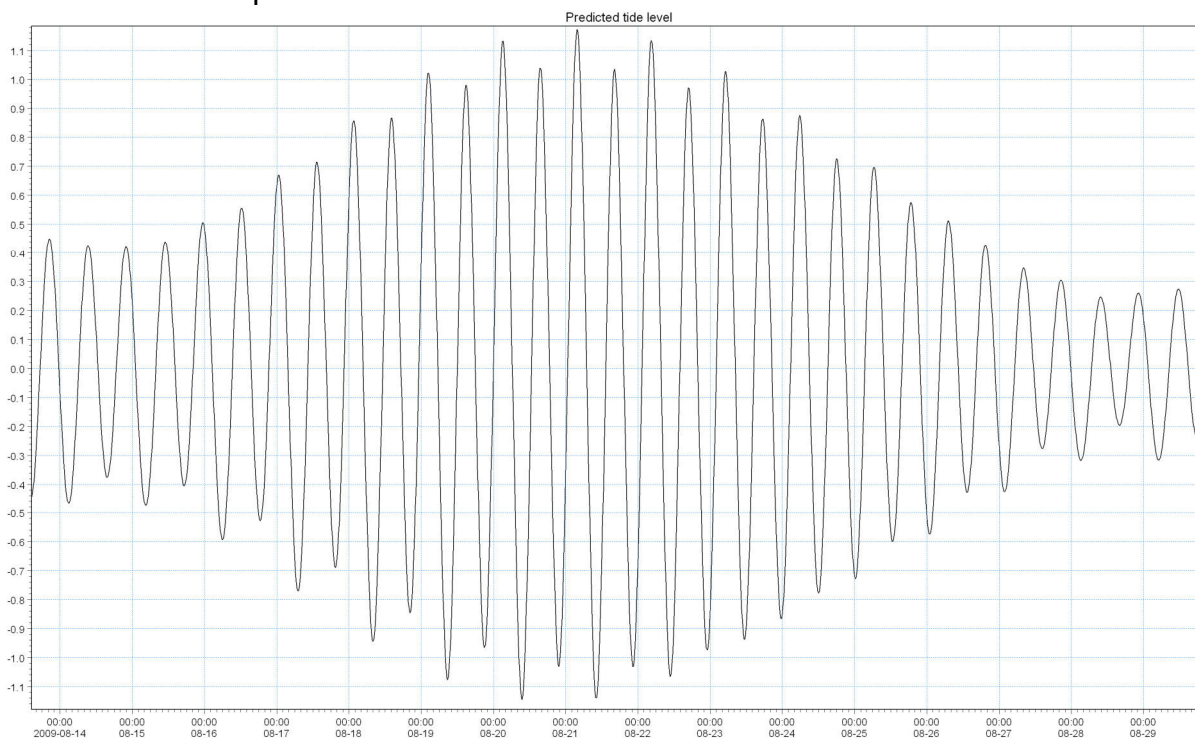


Figura 2-2: Previsão da variação das marés (mMSL) para o Porto de Ilhéus em um ciclo de sizígia e quadratura.

2.3 MEDIÇÕES DE CORRENTE DO ADCP

Para dar suporte aos estudos do EIA, dados locais de correntes obtidos por um *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) instalado no fundo foram disponibilizados para uma posição

aproximadamente a 5,8 km ao norte do local proposto para o Porto Sul. Os dados de ADCP foram coletados como parte de um estudo de campo anterior, e o instrumento deverá ser transferido para o local do Porto Sul no verão de 2011.

As medições do instrumento foram disponibilizadas em uma série de onze conjuntos de dados consecutivos entre agosto de 2008 e setembro de 2009, coletados na profundidade de 16,6 m, e um conjunto de dados separados referentes ao início de 2010 que foram coletados num local a cerca de 1 km ao norte da primeira locação, com uma profundidade de 21,6 m. As coordenadas de localização do instrumento e os períodos de instalação são apresentados a seguir na Tabela 2-2, e os locais de medição estão ilustrados na seção de configuração do modelo (Figura 4-2).

Uma série de relatórios de campo foram disponibilizados e forneceram uma visão geral dos processos hidrodinâmicos e dos dados obtidos pelo ADCP durante o período de realização do estudo. Esses dados foram utilizados para examinar as condições hidrodinâmicas gerais da região. Os relatórios, número de referência, o período de cobertura e o nome dos arquivos de dados estão resumidos abaixo (Tabela 2-3).

Tabela 2-2: Resumo da localização dos ADCPs.

Local	Período	Localização				Prof. (m)
		Long / Lat		UTM 24		
		Long (graus)	Lat (graus)	X	Y	
1	23/08/08 13:00 - 08/09/09 09:45	39.0369 W	14.6258 S	496023	8383062	16.6
2	24/02/10 12:10 - contínuo	39.0303W	14.6153S	496736	8384222	21.6

Tabela 2-3: Resumo dos relatórios das campanhas de medição e suas respectivas datas, disponibilizados para a URS Scott Wilson.

Relatório da Campanha	Início	Final	Arquivo de Dados
CPM RT 552-08	23/08/08	22/09/08	R1
CPM RT 579-08	23/09/08	22/10/08	R2
CPM RT 618-08	23/10/08	28/11/08	R3
CPM RT 028-09	30/11/08	05/01/09	R4
CPM RT 105-09	05/01/09	04/02/09	R5
CPM RT 106-09	05/02/09	13/03/09	R6
CPM RT 184-09	14/03/09	16/04/09	R7
CPM RT 224-09	18/04/09	26/05/09	R8
CPM RT 261-09	30/05/09	27/06/09	R9
CPM RT 305-09	01/07/09	03/08/09	R10
CPM RT 337-09	05/08/09	09/09/09	R11
CPM RT 130-10	24/02/10	01/04/10	DPL_1-R1

A configuração do ADCP é apresentada abaixo na Figura 2-3 e foi obtida do relatório 337/09 da Cepemar. Os dados brutos do ADCP foram processados pela Cepemar e disponibilizados para a URS/Scott Wilson. As correções do fuso horário, orientação do instrumento e integridade de dados foram atribuições da Cepemar. As análises mais detalhadas dos dados do ADCP foram realizadas pela URS.

Nos dados “Dataset DPL_1-R1” fornecidos pela contratante (BAMIN), notou-se que a correção de 22° W (para o ano de 2010) para a declinação magnética local (a diferença entre o norte magnético e verdadeiro) deve ser aplicada previamente às análises mais elaboradas deste conjunto de dados.

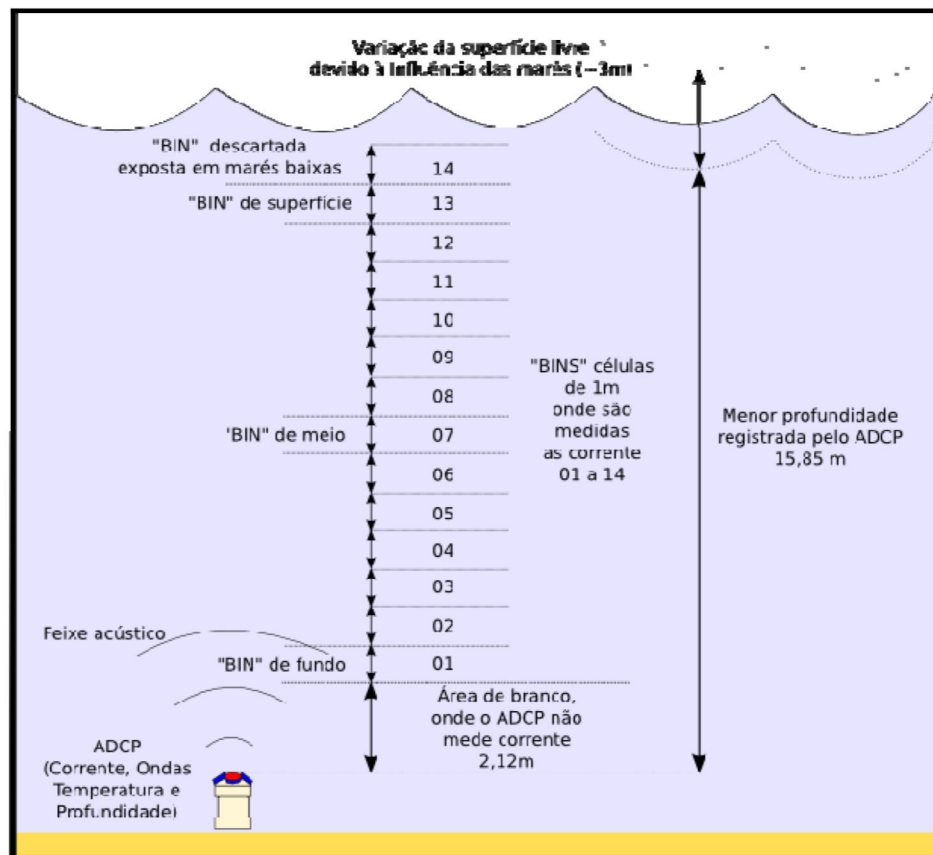


Figura 2-3: Configuração esquemática da instalação do ADCP no fundo (relatório Cepemar 337/09).

A direção de corrente foi corrigida para uma declinação magnética de 22° W. Todos os relatórios, dados e figuras da URS são apresentados em relação ao norte verdadeiro, todas as direções são indicadas em relação ao "Norte Verdadeiro" e é a direção “para”, portanto, uma corrente norte fluirá em direção ao norte.

O ADCP instalado no fundo marinho registrou a velocidade das correntes em intervalos de 30 minutos usando camadas regulares desde o instrumento até a superfície do mar. A análise do conjunto de dados R1 a R11 indicou que, em alguns casos, a camada superior, mais próxima à superfície do mar, foi contaminada pela interferência das ondas quebrando (bolhas de ar) e pelo arrasto do vento. Se essas camadas fossem deixadas sem filtro, tenderiam a afetar a velocidade de corrente média em profundidade. Com base no espaçamento das camadas e na variação do nível da água, a camada superior foi excluída do conjunto de dados.

Com relação à estrutura vertical do conjunto de dados, os perfis de velocidade vertical de R1 a R11 são apresentados na figura abaixo (Figura 2-4). A figura mostra períodos de alta velocidade de intensidade de corrente (vermelho) e correntes mais baixas (azul), entretanto, em geral, o perfil de velocidade vertical através da coluna d’água é consistente com um perfil típico de velocidade de corrente média em profundidade. Baseado nisso, um modelo 2D de corrente média em profundidade foi selecionado como o modelo mais adequado para simular os fluxos hidrodinâmicos no local do projeto do Porto Sul.

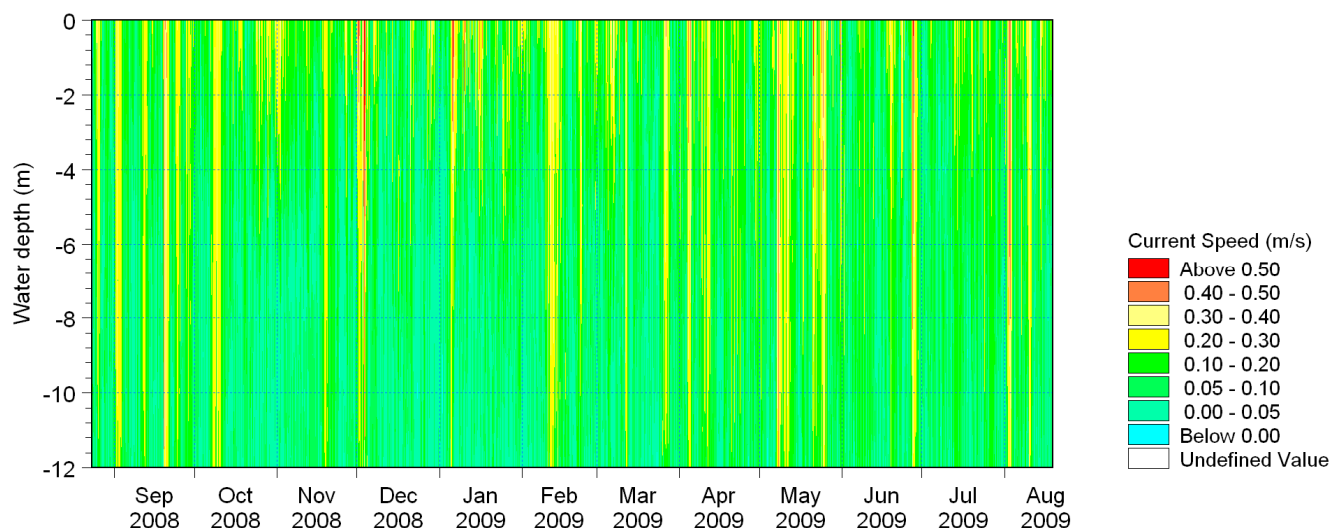


Figura 2-4: Perfil vertical de corrente do ADCP para R1 a R11.

Com a intenção de gerar dados para a calibração do modelo, a velocidade média de corrente em profundidade foi calculada e deu origem a uma série temporal de componentes de velocidade norte ('+' para o norte, '-' para o sul) e leste ('+' para o leste, '-' a oeste), (Figura 2-5 e Figura 2-6).

A análise de séries temporais mostrou que, ao longo do conjunto de dados, os padrões locais de corrente oscilam em direção, magnitude e duração, contendo eventos com duração de 6 horas até 30 dias. As direções das correntes são predominantemente orientadas paralelamente ao eixo da costa, isto é, direção norte-nordeste ou sul-sudoeste (aqui referidas, respectivamente, como norte e sul), mas são bastante variáveis em magnitude e duração. Durante o período de medição, as velocidades de corrente foram tipicamente da ordem 0,1 m/s, com picos de 0,55 m/s.

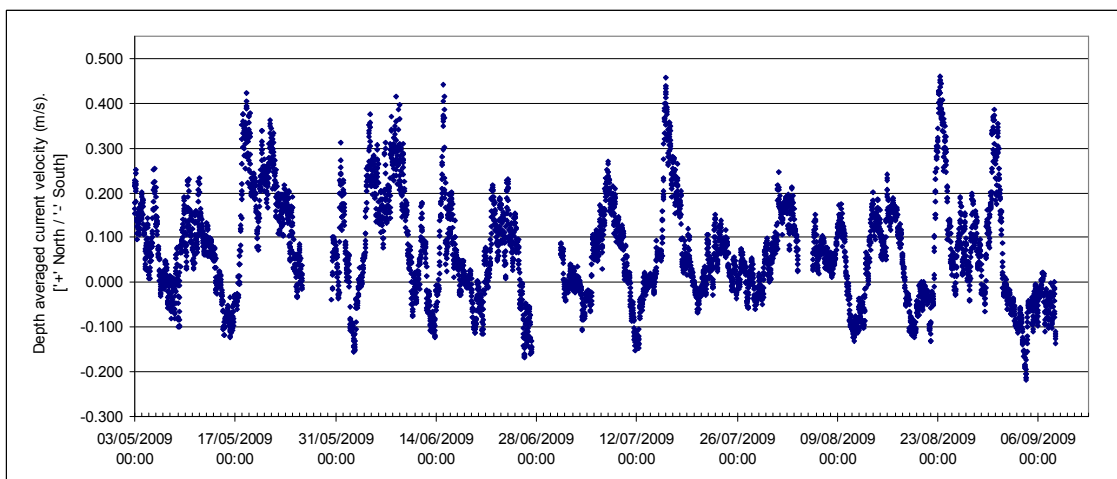
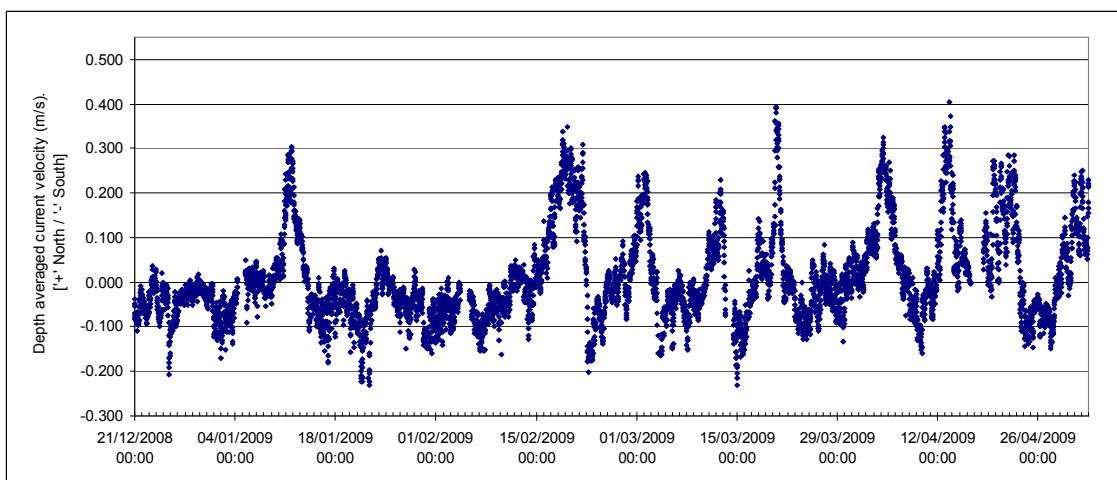
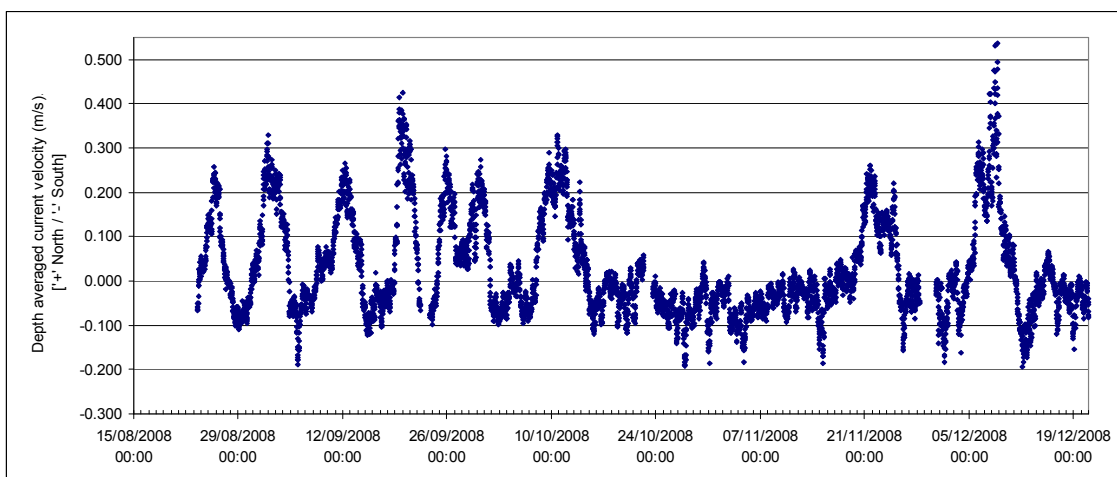


Figura 2-5: Séries temporais da velocidade de corrente média em profundidade de R1 a R11 (componente norte-sul).

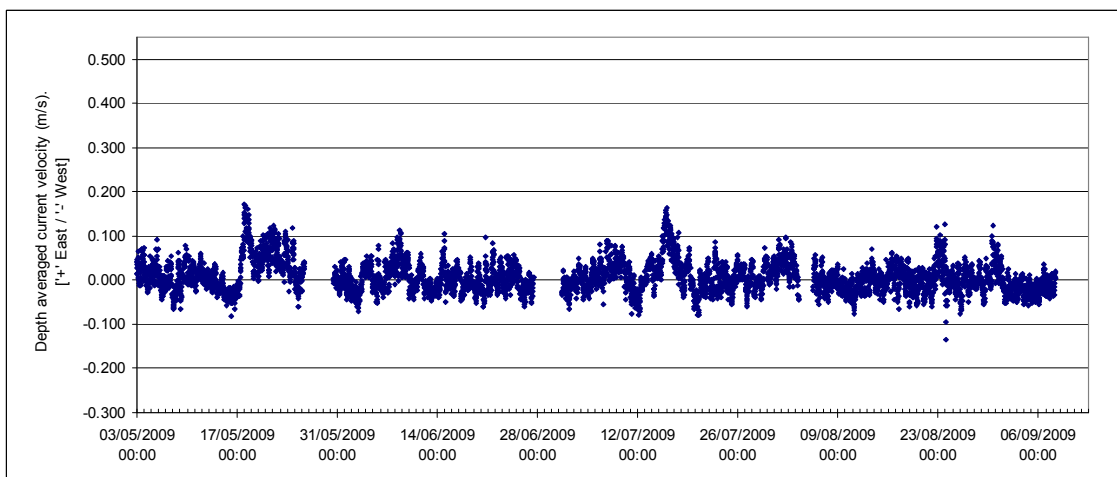
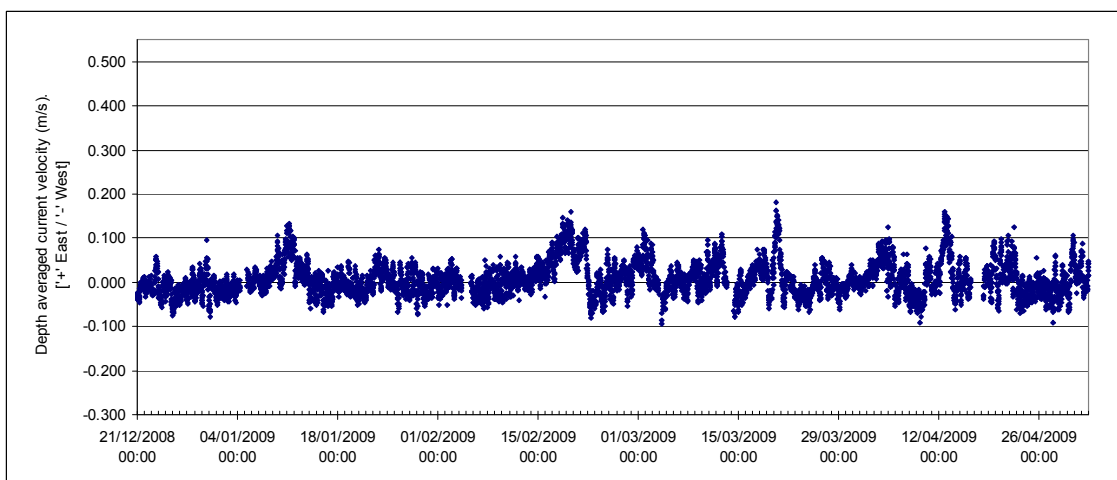
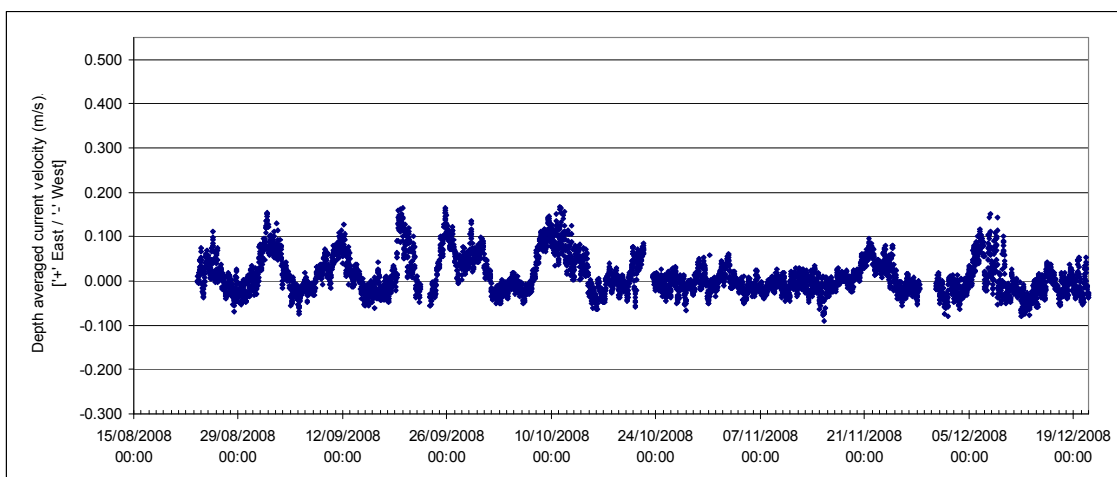


Figura 2-6: Séries temporais da velocidade de corrente média em profundidade de R1 a R11 (componente leste-oeste).

Uma vez que foram identificados 971 registros perdidos no conjunto de dados de R1 a R11, o conjunto de dados "DPL_1-R1" foi incluído para criar um conjunto de dados com duração de pouco mais de um ano (12,7 meses) de modo a assegurar a análise de um ano inteiro de dados de velocidades de corrente, conforme mostrado na Figura 2-7.

Para determinar estatisticamente a velocidade de corrente, o conjunto de dados de 12,7 meses foi convertido em uma tabela do clima anual, de modo a possibilitar a determinação do percentual de ocorrência das velocidades de corrente de calmaria, média, alta e máxima, conforme mostrado na Tabela 2-4.

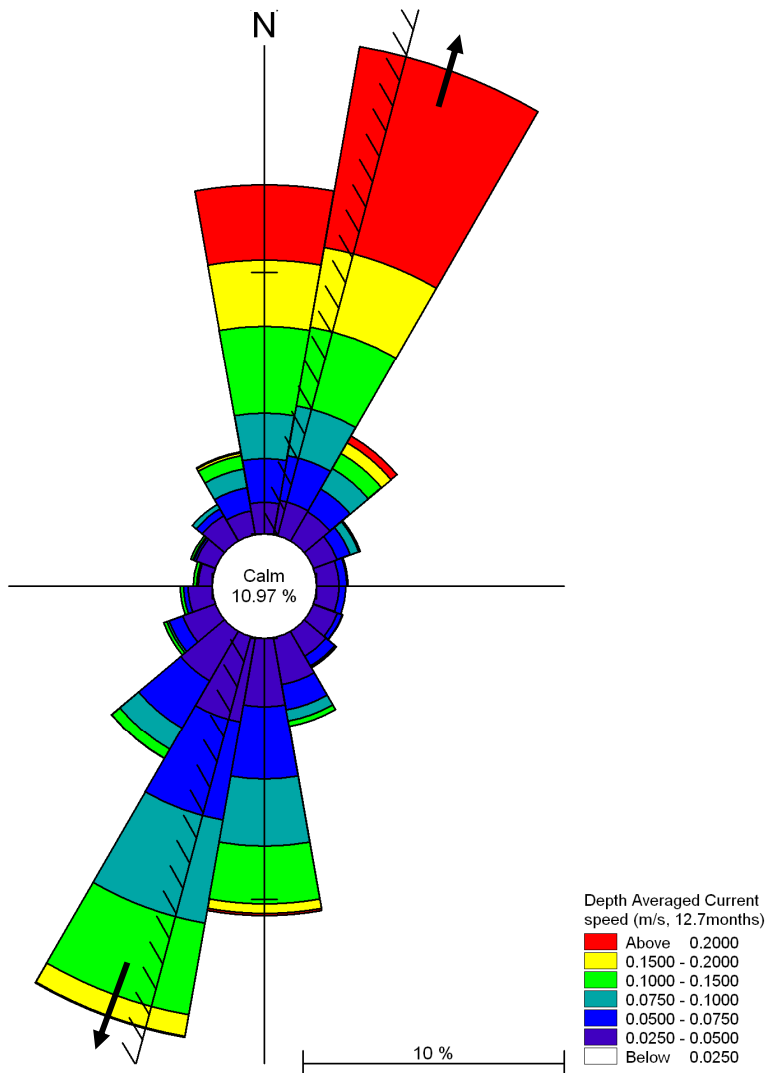


Figura 2-7: Rosa de velocidade da corrente média em profundidade para o conjunto de 12,7 meses de dados, divisão em setores de 20 graus.

Tabela 2-4: Tabela do clima das velocidades médias de corrente em profundidade para o conjunto de dados (12,7 meses).

	Current direction (degrees true) / Percentage Occurance													
	m/s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Sum (%)
Depth averaged current (m/s)	0.025	0.90	0.79	0.78	0.65	0.99	1.19	1.37	1.42	1.17	0.91	0.87	0.88	11.92
	0.050	1.99	1.84	1.12	0.97	1.28	2.05	3.58	4.00	1.94	1.04	1.02	1.32	22.15
	0.075	2.45	1.97	0.80	0.34	0.34	1.32	4.32	4.53	0.96	0.18	0.19	1.03	18.42
	0.100	2.74	2.11	0.52	0.03	0.04	0.51	4.01	3.40	0.19	0.00	0.02	0.61	14.18
	0.125	2.53	1.40	0.11	0.00	0.01	0.19	2.20	1.71	0.01	0.00	0.00	0.27	8.43
	0.150	2.40	1.33	0.04	0.00	0.00	0.13	1.13	0.76	0.00	0.00	0.00	0.17	5.96
	0.175	2.11	1.17	0.02	0.00	0.00	0.08	0.47	0.37	0.00	0.00	0.00	0.10	4.31
	0.200	1.60	1.33	0.00	0.00	0.00	0.03	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.15	3.42
	0.225	1.49	1.50	0.00	0.00	0.00	0.02	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	3.24
	0.250	1.15	1.35	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	2.60
	0.275	0.63	0.99	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64
	0.300	0.51	0.69	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21
	0.325	0.40	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.92
	0.350	0.21	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
	0.375	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.50
	0.400	0.10	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
	0.425	0.07	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
0.450	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	
0.475	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	
0.500	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	
0.550	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
TOTAL(%)		21.7	17.8	3.4	2.0	2.7	5.6	17.4	16.3	4.3	2.1	2.1	4.7	100.0

Combinando os setores de 0, 30 e 60 graus, as correntes norte ocorrem em 43 % do conjunto de dados. As correntes sul (setores de 150, 180 e 210 graus) ocorrem em 39 % do ano. A ocorrência percentual de velocidades de correntes de calma, média (50 %), alta (95 %) e máxima (100 %) é mostrada abaixo (Tabela 2-5).

Tabela 2-5: Análise estatística de velocidades de corrente com base no conjunto de 12,7 meses de dados.

Correntes com direção norte: 0 a 60 graus		
%	Velocidade	
50	0.12	m/s
95	0.31	m/s
100	0.55	m/s
Correntes com direção sul: 150 a 210 graus		
%	Velocidade	
50	0.06	m/s
95	0.14	m/s
100	0.30	m/s
Calmaria (todas as direções, todo o conjunto de dados)		
15.9	≤0.025	m/s

Para considerar as variações sazonais nas velocidades de corrente no local, o conjunto de dados foi revisado em detalhe para obter os padrões sazonais em termos de magnitude e direção de correntes.

Durante o período de observação, foram encontradas fortes correntes norte, predominantemente entre os meses de fevereiro e junho. Correntes sul foram de menor magnitude e tiveram menor ocorrência no final dessa temporada. Durante o mês de julho, as correntes norte reduziram em intensidade até outubro, momento no qual a força e a ocorrência

das correntes sul aumentaram significativamente e elas se tornaram a direção predominante das correntes, entretanto, pequenos períodos de fortes correntes norte ainda ocorreram. Esta tendência continuou até janeiro.

Para caracterizar a hidrodinâmica local e fornecer dados de calibração para o modelo, foram selecionados dois meses para representar a variabilidade sazonal. O mês de dezembro de 2008 foi selecionado para representar as condições do verão, com correntes predominantemente de sul e correntes ocasionais de norte fortes. O mês de junho de 2009 foi selecionado por representar uma hidrodinâmica típica de inverno e inclui correntes predominantes de norte com maiores velocidades (Figura 2-8).

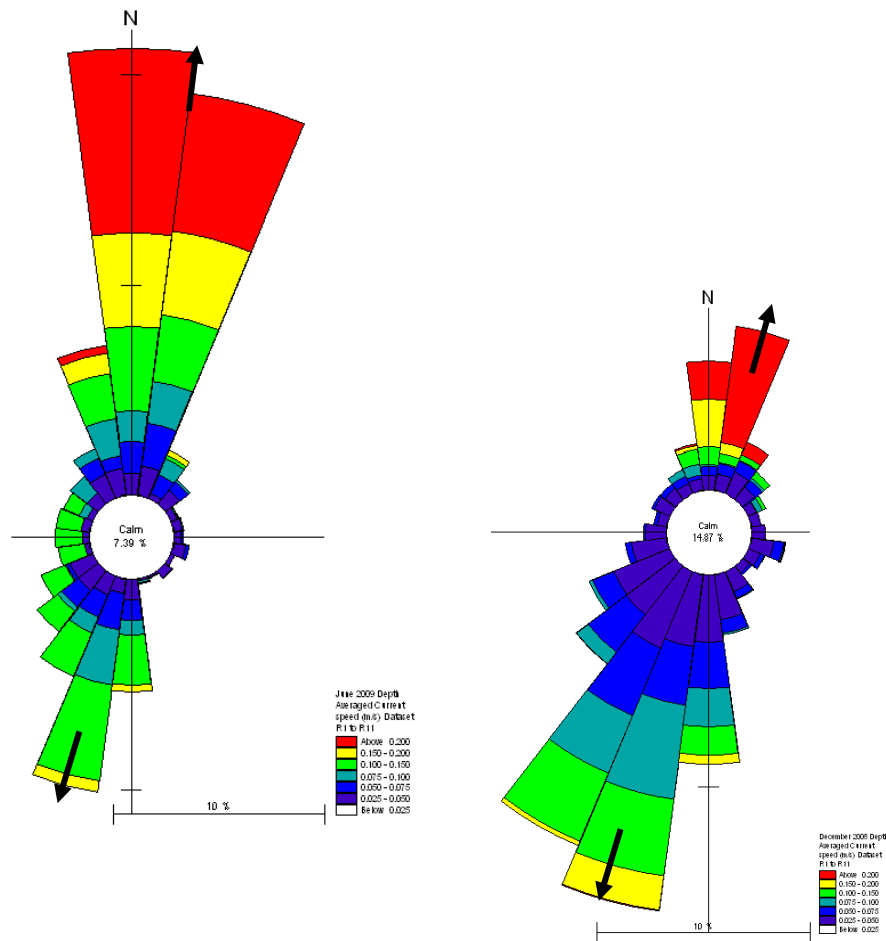


Figura 2-8: Rosas de correntes para junho (esquerda) e dezembro (direita) para representar, respectivamente, condições típicas de inverno e de verão.

Para considerar a variabilidade da velocidade e direção das correntes ao longo do tempo, a componente norte da velocidade ('+' para norte, '-' para o sul) foi extraída de um período de 5 dias em agosto de 2009 (Figura 2-9). Devido à pequena magnitude da componente de velocidade leste-oeste em relação à componente norte-sul (como mostrado na Figura 2-8) e devido ao alto grau de ruído nesse sinal, esta componente do fluxo não foi mais considerada.

A Figura 2-9 representa um período de dois dias de dados do ADCP, com baixas velocidades de corrente (0,1 m/s) para o sul, as quais são interrompidas por uma corrente norte contínua que chega a 0,4 m/s, ao longo de um período de 24 horas, seguido por um período contínuo de corrente norte a uma velocidade reduzida de 0,2 m/s. Este padrão de oscilação norte / sul na componente de velocidade aparece com frequência no conjunto de dados de 12 meses, com longos períodos de correntes unidirecionais de baixa intensidade, com duração de dias

a semanas, intercalados por picos de correntes de maior velocidade com curta duração (horas a dias).

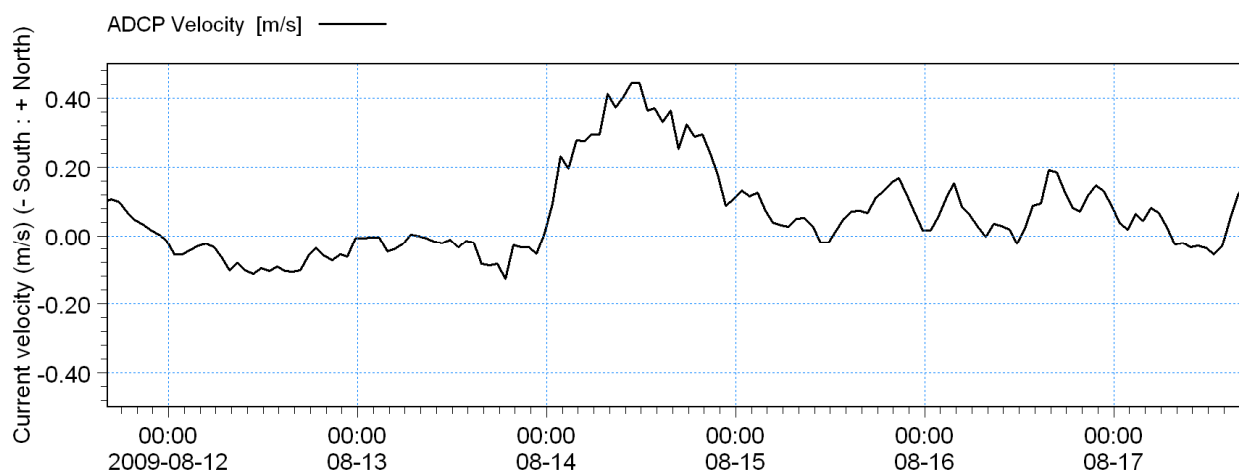


Figura 2-9: Correntes norte / sul de um período de 5 dias em agosto de 2009.

Para entender as componentes principais dessas correntes, realizou-se uma análise harmônica sobre os dados. Uma ferramenta de análise estatística foi aplicada para os dados brutos da velocidade das correntes medidos pelo ADCP (Figura 2-9) para determinar a influência da maré astronômica na componente da velocidade da corrente, cujo sinal segue um ciclo sinusoidal típico (Figura 2-10). A análise confirmou que há uma corrente periódica resultante das marés, de até 0,04 m/s, que oscila 180° fora de fase com a maré (ou seja, a velocidade de corrente é zero em marés alta e baixa).

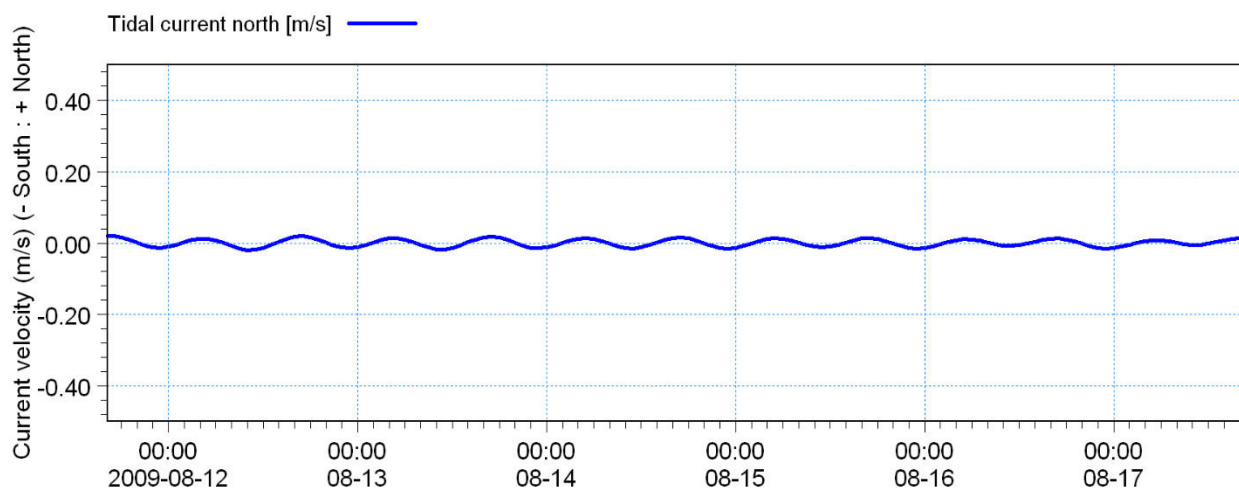


Figura 2-10: Componente de maré das correntes norte/sul durante um período de cinco dias no ADCP em agosto de 2009.

Subtraindo-se o sinal de maré do sinal bruto, as correntes oceânicas residuais foram obtidas (Figura 2-11) e formam a componente predominante das velocidades de corrente medidas.

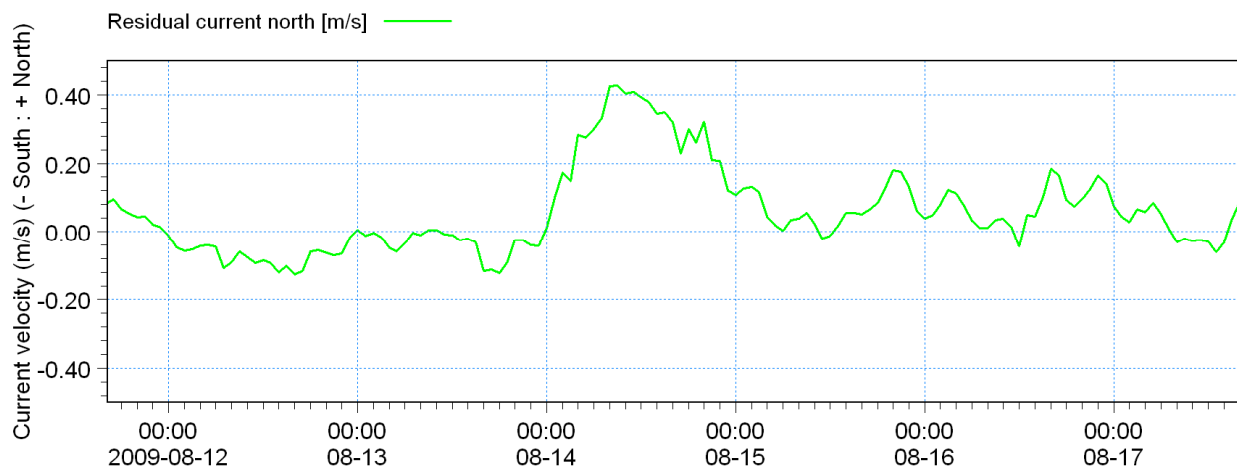


Figura 2-11: Componente residual de correntes norte/sul durante um período de cinco dias de medições de ADCP em agosto de 2009.

A análise mostrou que a corrente de maré é muito pequena quando comparada com a corrente residual dominante, que ocorre com frequências e magnitudes variáveis. Em 14 de agosto, uma forte corrente de norte foi medida (até 0,4 m/s), ou seja, dez vezes a magnitude da corrente de maré. Para resolver a causa dos padrões sazonais e as flutuações de curto prazo na velocidade e direção das correntes, mais investigações foram realizadas para entender o efeito do vento e dos processos de circulação oceânica nas correntes *nearshore* no local do Porto Sul.

2.4 MEDIÇÕES DE VENTO LOCAL

Para verificar o impacto das condições dos ventos locais sobre a hidrodinâmica local, foram obtidos dados de vento pela estação meteorológica localizada na Ponta de Tulha, situada aproximadamente 3 km a oeste do local do ADCP. A estação foi instalada nas coordenadas 14° 37' 32.8" S, 39° 03' 29.0" W. Os dados cobrem o período de 8 de julho de 2008 a 1º de julho de 2009, entretanto, existem lacunas nos registros desta série de dados. O pós-processamento resultou num conjunto de dados combinados de 4.812 registros, que são equivalentes a cerca de 6,5 meses de registros horários, em que tanto os dados de vento quanto as correntes médias em profundidade do ADCP foram disponíveis simultaneamente.

Os dados obtidos a cada meia hora foram transformados em velocidade e direção do vento e corrigidos para considerar a declinação entre o norte verdadeiro e o norte magnético. Como resultado, todas as direções do vento ficaram referidas ao norte verdadeiro. Para efeitos de análise e para manter uma consistência com a convenção de sinais de dados de corrente, uma correção foi aplicada aos dados de vento para que a convenção de sinais seja "indo para", tal como as correntes.

A análise da ocorrência conjunta das condições do vento e das correntes (Tabela 2-6) indica que existe um elemento de correlação entre correntes fortes e velocidades de ventos fortes (A). As velocidades de ventos mais fortes (7 m/s ou mais) ocorrem sempre com velocidades superiores à corrente média. Não há casos desse conjunto de dados de ventos fortes ocorrendo simultaneamente com velocidades menores do que a corrente média (B).

No entanto, a análise também mostrou que uma velocidade de corrente moderada (0,20 a 0,35 m/s) ocorre em toda a gama de condições de vento, desde ventos fortes a condições de calmaria, ou seja, as velocidades de corrente mais altas podem ocorrer com ventos de baixa velocidade (C).

Tabela 2-6: Dispersão do percentual de ocorrência simultânea de velocidades do vento e de correntes com base em dados medidos de 23 de agosto de 2008 a 1º de julho de 2009.

Velocidade do Vento (m/s)	Velocidade das correntes (m/s)										Total %
	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	
0	3.53	13.99	10.04	4.88	4.59	2.66	1.29	0.67	0.27	0.02	41.94
0.5	1.81	5.36	3.49	1.50	1.41	0.81	0.52	0.10	0.06	0.02	15.09
1	0.64	1.52	0.75	0.25	0.19	0.25	0.12	0.02	0.02	0.02	3.76
1.5	1.75	7.00	3.93	1.56	0.85	0.79	0.15	0.21	0.04	C	16.27
2	0.79	2.18	1.37	0.54	0.23	0.17	0.02	0.08			5.38
2.5	1.25	3.20	1.89	0.77	0.33	0.25	0.19	0.02			7.90
3	0.52	2.56	1.14	0.52	0.25	0.35	0.12	0.02			5.49
3.5	0.23	0.33	0.25	0.10	0.04	0.08	0.02				1.06
4	0.02	0.25	0.23	0.17	0.04		0.06				0.77
4.5	0.04	0.27	0.12	0.08	0.06	0.12	0.02				0.73
5	0.10	0.37	0.08	0.08	0.06	0.12	0.10	0.06			1.00
5.5		0.06		0.02			0.04	0.02			0.15
6.5		0.02	0.08	0.02		0.06	0.04	0.06	0.02		0.31
7						0.02					0.02
7.5		B			0.02	0.02	0.02	A			0.06
8.5					0.02	0.02			0.04		0.08
Total %	10.68	37.12	23.38	10.49	8.10	5.74	2.72	1.27	0.44	0.06	100.00

Com base nessa análise, conclui-se que, enquanto os ventos locais têm efeitos sobre as velocidades de correntes locais, as correntes são em grande parte independentes das condições de ventos locais no local e são o resultado de um padrão de ventos globais significativos. Neste estudo, considerou-se que as medições ADCP já incluem o efeito dos ventos globais sobre a circulação oceânica e, portanto, esses efeitos do vento são considerados no modelo através da calibração do modelo hidrodinâmico com os dados do ADCP.

2.5 CORRENTES DERIVADAS DA CIRCULAÇÃO OCEÂNICA

A análise da velocidade e direção das correntes do ADCP identificou uma forte componente sazonal nas condições hidrodinâmicas locais. Uma revisão da literatura sobre os padrões de circulação oceânica na costa do Brasil indicou que as condições hidrodinâmicas costeiras são o resultado dos padrões de circulação oceânica *offshore* combinados com a componente de maré.

Apenas pesquisas com informações limitadas sobre a hidrodinâmica da área de influência têm sido realizadas. Com relação aos dados disponíveis, a maioria das informações se baseia em medições oceanográficas combinadas com resultados de modelos de circulação oceânica. A partir das informações disponíveis, verifica-se que esta é uma região particular, uma vez que a largura da plataforma continental é a mais estreita (17 km em média) da costa leste da América do Sul, o que permite a penetração de correntes oceânicas na região próxima à costa.

A plataforma estreita leva à ocorrência de correntes de circulação oceânica próximas da costa brasileira e que, de outra forma, estariam confinadas à região ao largo (*offshore*). A mais significativa é a Corrente Sul Equatorial Atlântica, que atravessa o Oceano Atlântico Sul desde o leste até a plataforma continental do Brasil, em torno de 14°S e 16°S, coincidindo com a parte mais estreita da plataforma continental, onde a corrente se bifurca. Isto leva à formação

da Subcorrente Norte do Brasil e Corrente Norte do Brasil (ambas em direção ao equador) e da Corrente do Brasil em direção ao sul (Stramma e England, 1999, Rodrigues *et al.*, 2007).

A posição da bifurcação é fortemente influenciada pelo ciclo sazonal dos ventos, que se deslocam em direção ao sul durante o inverno austral e para o norte durante o verão austral (Stramma e England, 1999, Rodrigues *et al.*, 2007). De acordo com Rodrigues *et al.* (2007), esse deslocamento é causado principalmente por alterações nos padrões dos ventos regionais como resultado de uma variação de norte para sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT ou ITCZ) no Oceano Atlântico.

Com relação às velocidades das correntes, Schott *et al.* (2005) apresentam medições de campo mostrando uma estrutura vertical típica dessas massas de água em 11° S e flutuações sazonais na sua posição e magnitude. Um ciclo sazonal foi identificado, com um fluxo para norte (Subcorrente Norte do Brasil) máximo em julho e mínimo em outubro e novembro. A complexa estrutura vertical dessas correntes no oceano profundo e a sua interseção na borda da plataforma continental brasileira resultam num padrão de circulação complexo. Jochum e Malanotte-Rizzoli (2003) relatam que um forte meandramento da Corrente Norte do Brasil é capaz de gerar vórtices que viajam para norte, ao longo da costa brasileira, e são importantes elementos no transporte de água do Atlântico no sentido de sul para norte.

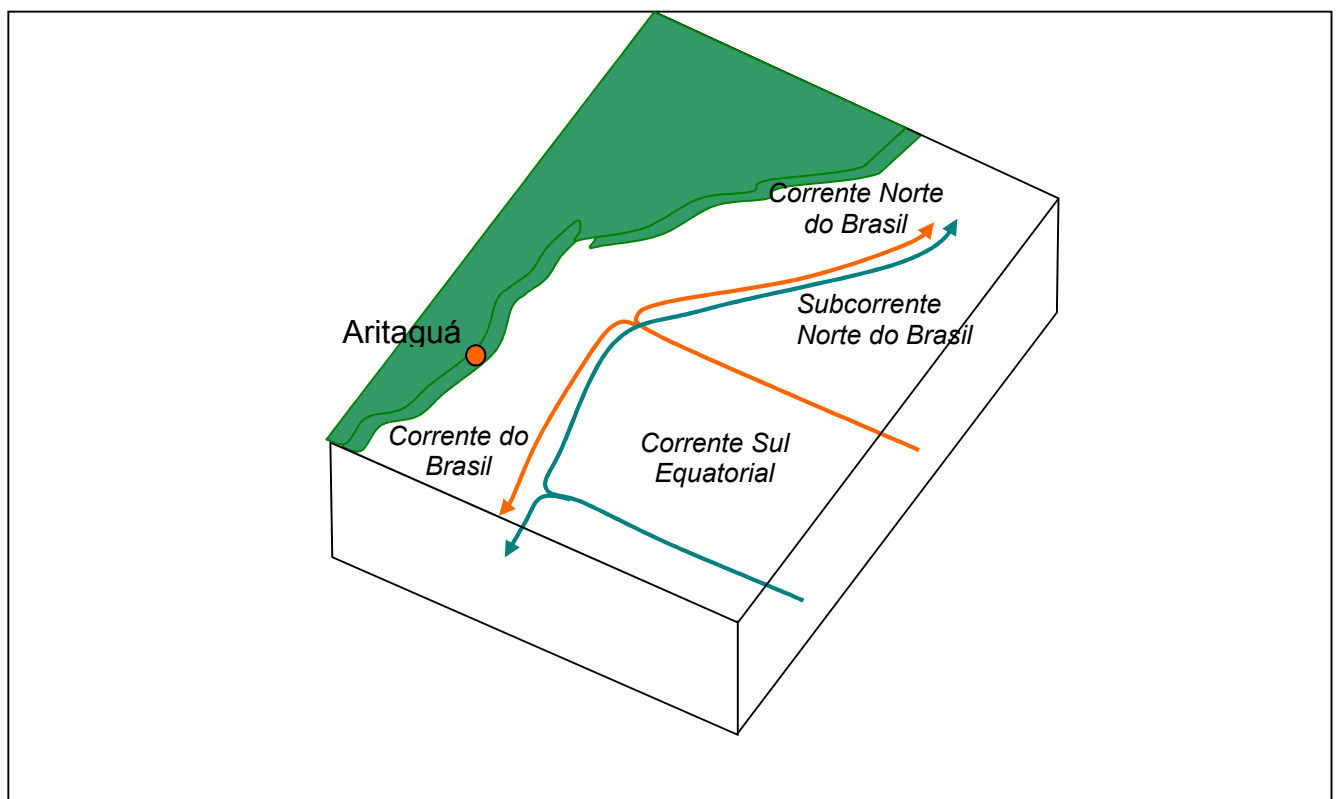


Figura 2-12: Bifurcação da Corrente Sul Equatorial ao largo da costa do Brasil na região de 11° S (adaptado de Rodrigues *et al.*, 2007).

Para interpretar os padrões das correntes medidos na região do ADCP e sua relação com os processos de correntes *offshore* (ao largo) foram obtidos dados hidrodinâmicos do modelo 3D HYCOM (*HYbrid Coordinate Ocean Model*). Este é um modelo de última geração desenvolvido pela Universidade de Miami, na Flórida, EUA. Este modelo utiliza um sistema de coordenadas verticais híbrido, o que significa que o modelo utiliza um sistema de coordenadas verticais nas regiões oceânicas profundas diferente do utilizado nas regiões costeiras rasas. Isso permite que o modelo calcule eficientemente a circulação oceânica tanto para regiões rasas quanto

profundas sem perder informações de detalhe ou ter que resolver as equações numa quantidade excessiva de camadas verticais.

O conjunto de dados do HYCOM foi utilizado para serem retiradas as correntes superficiais do período de novembro de 2003 até março de 2004, com uma resolução horizontal de aproximadamente $1/12^\circ$ e uma resolução temporal de um dia. Os dados foram obtidos em dois locais de profundidades de aproximadamente 45 m e 315 m. As figuras a seguir apresentam as velocidades de correntes superficiais nesses dois pontos em comparação com os dados do ADCP. Mesmo que os dados sejam de dois períodos temporalmente diferentes, todas as figuras representam uma estação final de verão e inicial de inverno, conforme identificado acima.

A comparação dos dados dos pontos ao largo (*offshore*) com os dados do ADCP mostra um padrão similar na direção das correntes, com predominância para sul e com as velocidades das correntes aumentando quanto mais ao largo (*offshore*). Na área *offshore* proposta para o descarte do sedimento dragado (lâmina d'água de 200 m de profundidade), as correntes foram estimadas em cerca de 30% superiores às costeiras. Os dados em ambos os pontos *offshore* mostram uma redução da ocorrência de correntes norte durante a temporada e isso é confirmado pelas observações apresentadas na Figura 2-13.

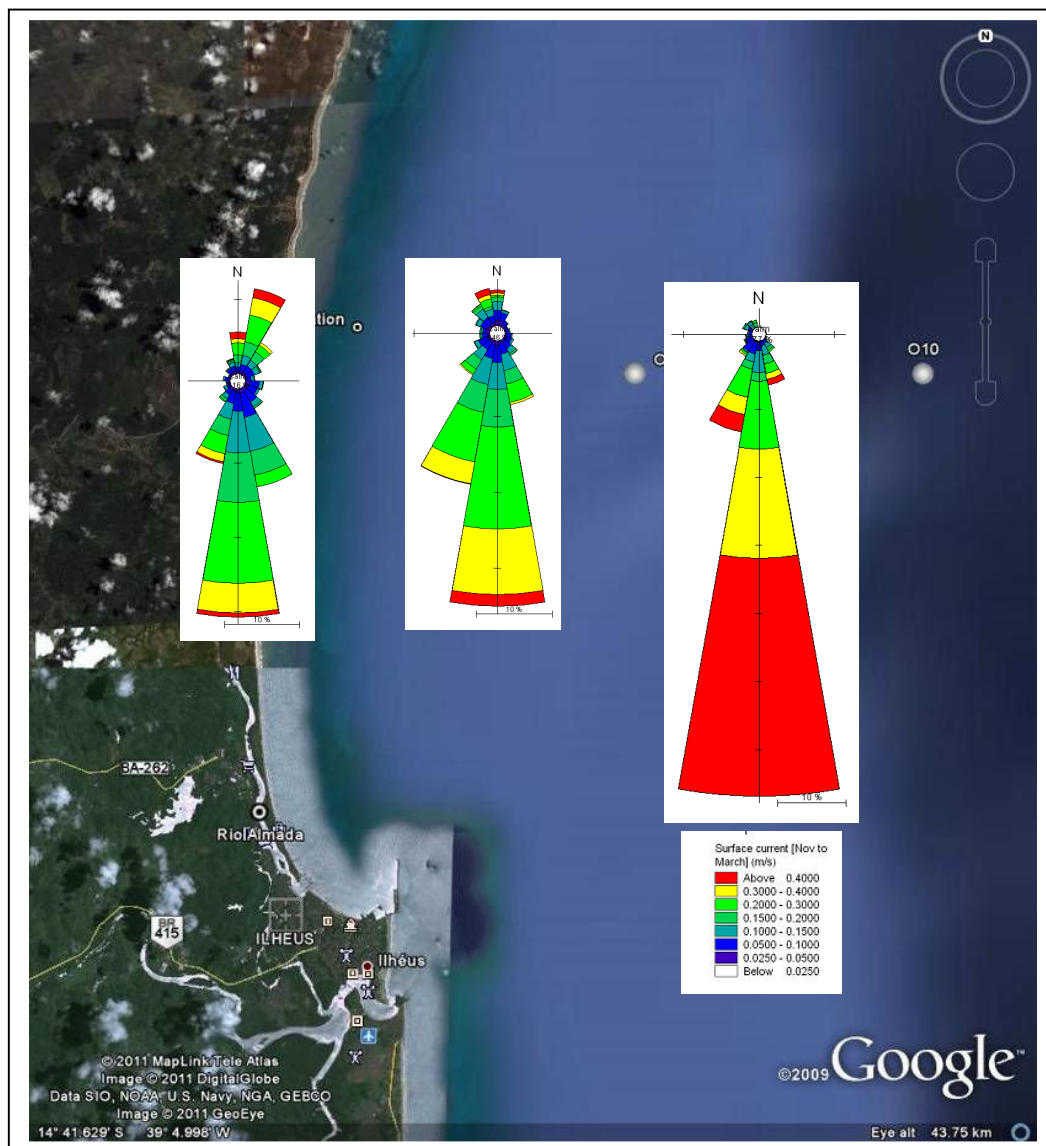


Figura 2-13: Comparação das velocidades de correntes superficiais no ADCP (16 m, 2008) com os resultados do HYCOM (2004) para pontos na costa (-45m) e *offshore* (-345 m), durante o período de novembro a março.

2.6 RESUMO DOS PROCESSOS HIDRODINÂMICOS

Uma análise dos dados de velocidade de correntes medidos em campo evidenciou um perfil uniforme das correntes, que consiste em uma pequena contribuição da maré e uma corrente residual maior no sentido norte e sul, em geral paralela à costa. Isto mostrou que o local do Porto Sul é dominado por correntes de circulação oceânica que são da ordem de 0,1 a 0,5 m/s. A revisão da bibliografia confirma as medições de campo nas quais as condições variam sazonalmente. Para caracterizar a hidrodinâmica no local do Porto Sul, foram selecionados

dois meses para representar essa variabilidade sazonal. O mês de dezembro de 2008 foi selecionado para representar as condições de verão com as correntes predominantemente sul e correntes ocasionais fortes para norte. Junho de 2009 foi selecionado para ser representativo da hidrodinâmica típica de inverno e inclui correntes predominantemente para norte com um aumento de velocidade das correntes. A comparação dos dados de ADCP com as velocidades dos ventos locais confirmaram a fraca correlação entre estes dois parâmetros, ou seja, os processos de circulação oceânica dominam a velocidade e a direção da corrente.

Com base nesta análise, um modelo hidrodinâmico 2D foi selecionado como uma ferramenta mais adequada para simular as condições hidrodinâmicas no local do projeto e no local da disposição de sedimentos *offshore*.

2.7 NÍVEIS DE BASE (*BACKGROUND*) DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

Antes de considerar as operações de dragagem, é importante considerar os valores naturais de concentração dos sedimentos em suspensão (níveis de *background*) para permitir uma avaliação dos impactos potenciais da dragagem em relação a essa base natural.

Um conjunto de medições de concentração total de sedimentos em suspensão foi realizado como parte deste estudo. Os dados foram coletados em 3 locais (Tabela 2-5) entre 27 de novembro de 2010 e 27 de janeiro de 2011 (12 amostras por local) e incluiu sólidos em suspensão totais (SST), cor da água e uma descrição geral da pluma do sedimento (quando presente) conforme a Tabela 2-5. Os resultados para o local previsto do Porto Sul em Aritaguá estão apresentados na Figura 2-14.

Tabela 2-5: Resumo das medições de SST para os três locais com 5 m de profundidade.

Ponto	UTM X (aprox., varia)	UTM Y (aprox., varia)	Mín SST (mg/l)	Máx SST (mg/l)
Barra Almada	496307	8367354	<10	145
Aritaguá	494551	8378298	<10	177
Tulha	494550	8383846	<10	167

A Figura 2-14 mostra que, durante o período de amostragem, a região de Aritaguá foi exposta a níveis elevados de sedimentos em suspensão de cor verde leitosa ou marrom. Com base na cor observada, considerou-se que essas amostras estiveram associadas a períodos de alta descarga de sedimentos em suspensão do rio Almada, ao sul de Aritaguá, coincidindo com períodos de correntes oceânicas para norte. Nenhuma descarga de sedimentos e dados de carga pôde ser encontrada para o rio Almada, em Aritaguá, ou para a região circunvizinha do rio Cachoeira, em Ilhéus e, portanto, a revisão de literatura de outros rios na região deu-se por concluída.

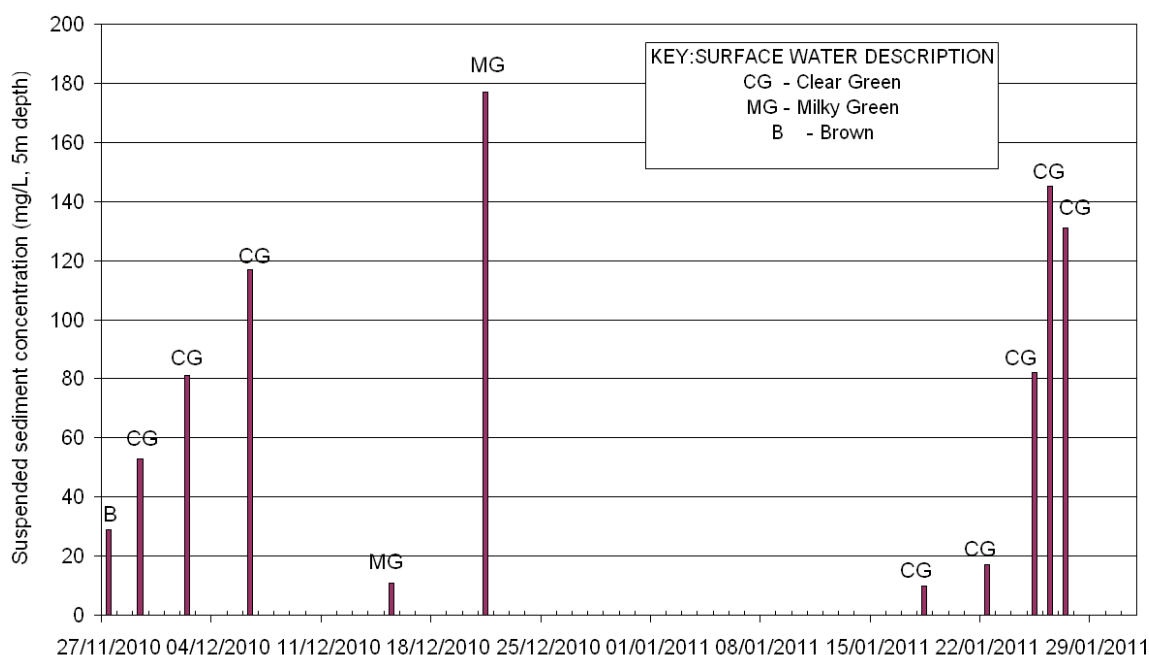


Figura 2-14: Concentração de sólidos em suspensão total na região de Aritaguá entre novembro de 2010 e janeiro de 2011.

Dillenburg e Hesp (2009) relatam que o rio Jequitinhonha, a 130 km ao sul de Aritaguá, possui uma bacia de drenagem de 70.315 km² e carga anual de 7,9 milhões de toneladas de sedimento por ano e que o rio São Francisco, a 540 km ao norte, possui uma bacia de drenagem de 640.000 km², com uma carga de sedimentos correspondente a 21 milhões de toneladas por ano. Esses principais rios contribuem substancialmente no fornecimento de sedimentos para o fundo marinho costeiro e seus respectivos deltas.

O rio Cachoeira, em Ilhéus, inclui uma bacia de drenagem menor, aproximadamente 4600 km², com descargas sazonais que aumentam em janeiro, durante o início da estação chuvosa, e com pico de descarga em março (Lima *et al.*, 2010). A carga anual de sedimentos do rio Cachoeira e do rio Almada não pôde ser estabelecida, entretanto, os indícios de grandes plumas de sedimentos desses rios podem ser encontrados em imagens de satélite, e os altos níveis de sedimentos em suspensão também ficam evidentes no exemplo da Figura 2-15, uma imagem de 2001. Concluiu-se que esses rios também devem possuir uma carga significativa de sedimentos e que devem expor a região a níveis elevados de sedimentos em suspensão durante a estação chuvosa.

A ocorrência dessas altas concentrações de sedimentos indicou o potencial de descarga sazonal dos rios para introduzir cargas elevadas de sedimentos em suspensão na zona costeira e que, eventualmente, podem sedimentar no fundo do mar, gerando os extensos depósitos de silte que predominam sobre essa região. Ao considerar os impactos potencialmente adversos dos sedimentos em suspensão associados às atividades antrópicas

de dragagem, a variação sazonal natural da concentração de sedimentos em suspensão deve ser considerada.

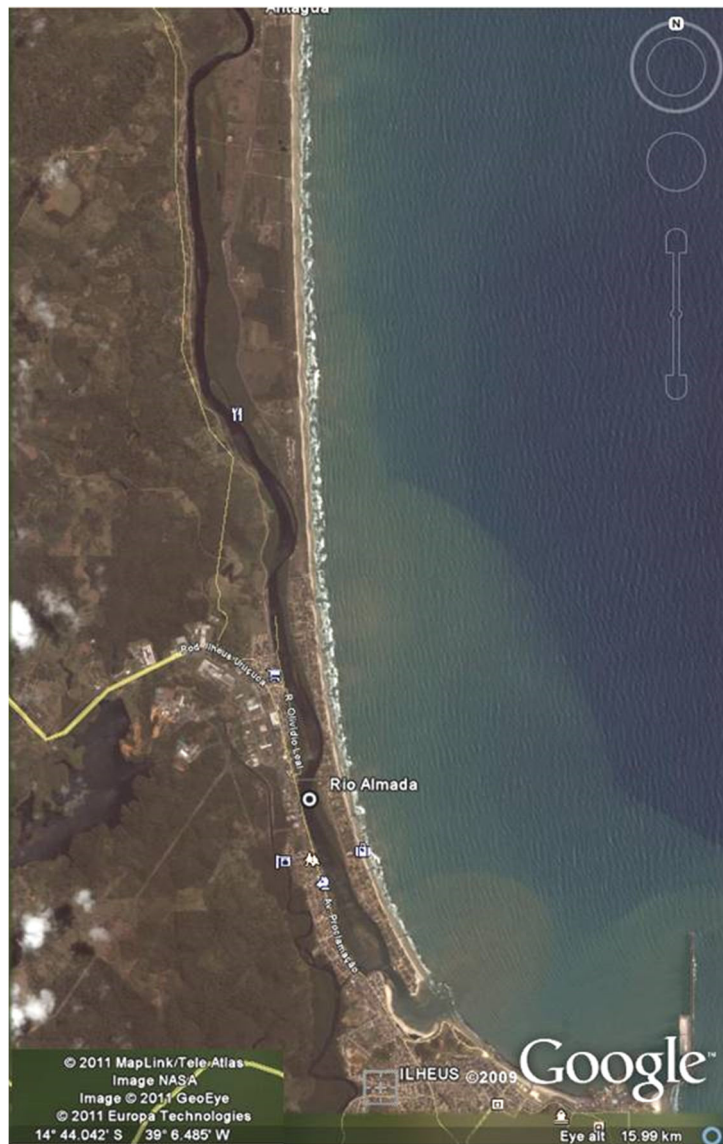


Figura 2-15: Imagem de satélite do rio Almada evidenciando a descarga de níveis elevados de sólidos em suspensão em comparação com as concentrações baixas de *background*, em outubro de 2001.

3.0 MODELAGEM HIDRODINÂMICA

A fim de obter as condições hidrodinâmicas típicas dos períodos de verão e inverno para serem utilizadas nas simulações das plumas de sedimentos, o modelo hidrodinâmico foi configurado e calibrado usando os níveis de água e as medições de corrente medidas em campo.

3.1 SELEÇÃO DO MODELO

MIKE 21 HD é o módulo hidrodinâmico computacional e o estado da arte do sistema MIKE 21, fornecendo a base hidrodinâmica para outros módulos do conjunto de modelos MIKE 21.

O módulo hidrodinâmico (MIKE 21 HD) simula as variações do nível da água e as correntes em resposta a uma variedade de funções forçantes em lagos, estuários e zonas costeiras. A batimetria das simulações do modelo é representada usando o sistema MIKE 21 Flexible Mesh (“grade flexível”), um sistema avançado de modelagem baseada em uma grade triangular não estruturada. Os níveis de água e os fluxos são resolvidos nessa grade triangular considerando a batimetria, a rugosidade do fundo, o campo de ventos e as condições hidrodinâmicas de contorno. Ao contrário dos tradicionais modelos de grade retilínea, o modelo de grade flexível pode ter áreas de maior resolução dentro de um único arquivo de grade.

O MIKE 21 HD inclui formulações para os efeitos de:

- Momentum;
- Tensão de cisalhamento de fundo;
- Tensão de cisalhamento do vento na superfície
- Gradientes barométricos de pressão;
- Forças de Coriolis;
- Dispersão (através da formulação de Smagorinsky);
- Correntes induzidas pelas ondas.

As condições hidrodinâmicas de contorno podem ser especificadas em cada fronteira aberta do modelo como nível ou fluxo, constante ou variável (no tempo e espaço), incluir fontes ou sumidouros em qualquer ponto da grade e ainda aplicar um mapa de superfície livre inicial sobre todo o modelo.

Mais detalhes das especificações do modelo e suas capacidades estão presentes no Anexo A.

3.2 EXTENSÃO DA ÁREA MODELADA

O modelo utilizado deve fornecer uma representação realista da pluma por causa da sensibilidade ambiental de regiões, como os fundos de coral em Ponta da Tulha (Figura 3-1). Com relação à pluma passiva, a sua dispersão no campo afastado é mais importante do que no campo próximo, observando-se que os efeitos de campo próximo diminuem à medida que a pluma no campo afastado se desenvolve. O modelo abrange uma área de 120 km por 32 km, com uma resolução de 400 m para garantir a representação das extensões máximas das plumas previstas.

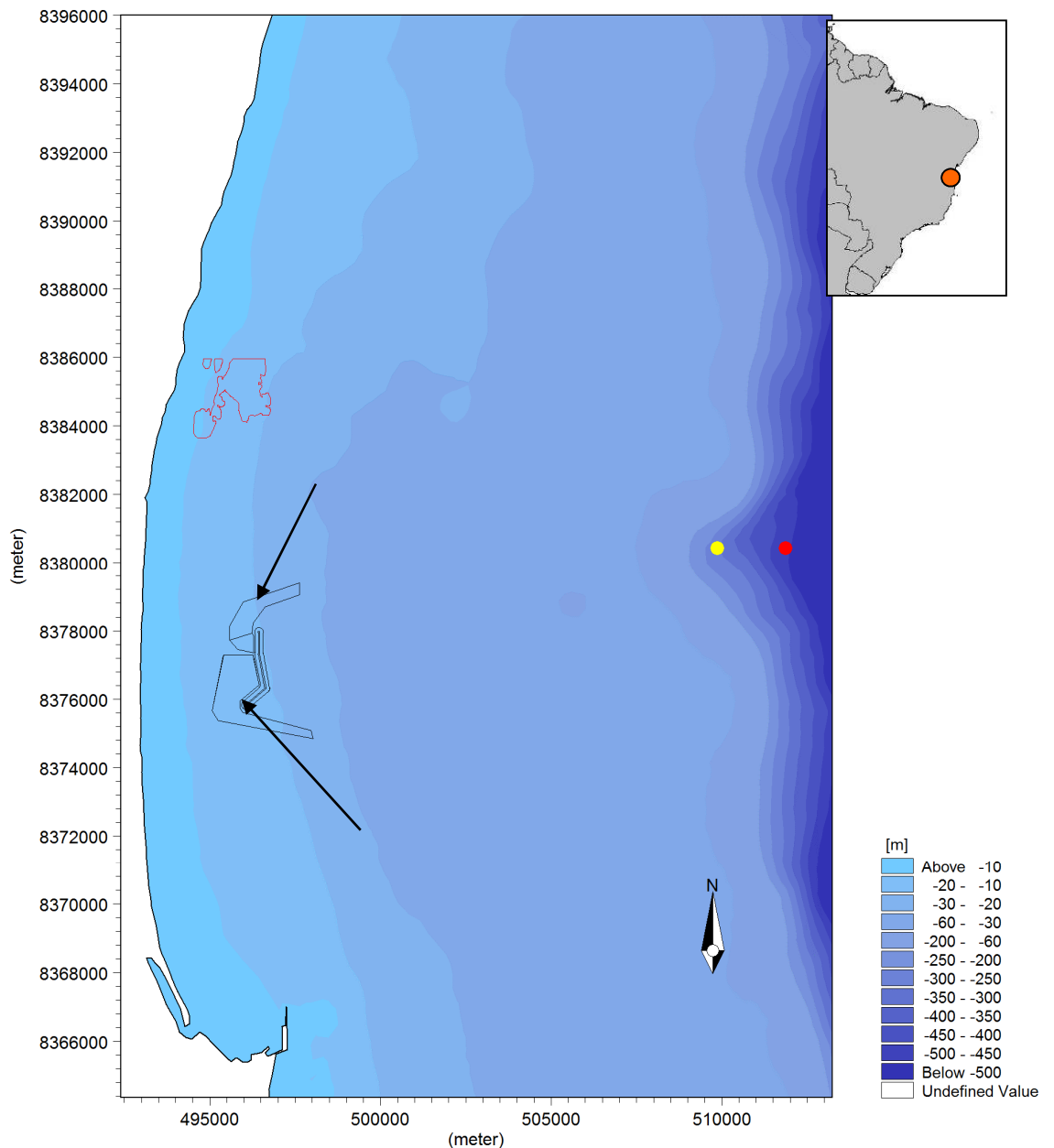


Figura 3-1: Localização do Porto Sul e batimetria adjacente com indicação dos locais de descarte e da área sensível dos fundos de coral.

3.3 CONFIGURAÇÕES DO MODELO

3.3.1 Batimetria

Os dados da batimetria foram obtidos a partir de dados batimétricos CMAP, os quais se baseiam em cartas náuticas da região. As profundidades utilizadas no modelo foram atualizadas com os últimos dados medidos pela BAMIN na área. A batimetria é considerada precisa o suficiente para ser utilizada no modelo.

3.3.2 Variação do Nível de Água

As variações do nível da água foram simuladas no modelo usando níveis de maré previstos harmonicamente nas fronteiras abertas do modelo. Os níveis de maré foram previstos através da análise harmônica apresentada no relatório meteoceanográfico da URS Scott Wilson (2011), como mostrado na Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Componentes de maré para os dados de nível de água do ADCP e do Porto de Ilhéus com base na análise do registro do nível de água do ADCP (URS Scott Wilson, 2011).

Componente	Amplitude (m)	Fase (°)
M2	0,68	98
S2	0,27	113
K1	0,04	198
O1	0,07	119
F4	0,02	347
F6	0,01	123

O modelo foi validado pela comparação dos níveis de água previstos pelo modelo com os medidos pelo ADCP no local de fundeio do ADCP.

3.3.3 Dados de Correntes Oceânicas

As análises das medições apresentadas na Seção 2 indicaram que existe um processo de correntes derivadas da circulação oceânica dominante neste local. Por isso, foi necessário considerar as correntes oceânicas nos limites do modelo. As condições de fronteira de correntes oceânicas foram sintetizadas a partir da análise dos dados de corrente do ADCP visando desenvolver uma série temporal. Ao ajustar a fase para cada condição de fronteira, as velocidades e direções das correntes puderam ser calculadas dentro do domínio do modelo. Cada simulação do modelo durou 30 dias e incluiu duas condições sazonais (uma no inverno, em junho, e outra no verão, em dezembro). Os períodos selecionados foram considerados representativos da variabilidade sazonal existente e importantes para os processos de dispersão no campo afastado, especialmente as correntes norte que podem impactar as áreas com presença de coral. O modelo foi, então, calibrado com relação aos dados de corrente do ADCP.

3.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO

A longa história de aplicações de sucesso do sistema de modelagem MIKE e os padrões de controle de qualidade rigorosos da DHI demonstram que o modelo é bem validado em termos da precisão de código e de representação das equações governantes. A documentação completa e o suporte estão disponíveis na página da DHI, enquanto os detalhes técnicos estão presentes no Anexo A.

O modelo hidrodinâmico foi calibrado comparando-se os dados de saída do modelo com os dados registrados pelo ADCP para o mês representativo de inverno (junho). A calibração foi obtida pela comparação dos resultados do modelo com os dados observados e a variação dos coeficientes de calibração. O grau de ajuste entre o modelo e as observações determina o nível de calibração do modelo: ajustes pobres sugerem calibração pobre; ajustes bons sugerem boa calibração. O grau de ajuste varia de local para local, dependendo das condições locais e como estas podem ser representadas no modelo. A qualidade dos dados observados também é um fato significativo na determinação da calibração e é em função do tipo de instrumento, precisão, resolução, local das medições e condições ambientais.

O ajuste do modelo aos dados de campo pode ser avaliado de duas formas:

1. Comparação visual dos resultados do modelo em relação aos dados observados: a forma, a tendência, a faixa de ocorrência e os limites dos dados.
2. Comparação estatística da diferença entre o modelo e os dados observados para determinar a frequência com a qual o modelo se ajusta às medições dentro de limites definidos. Por exemplo, 90% das previsões do modelo estão dentro de 0,1 unidade ou 10% dos valores observados.

Na prática, ambos os métodos devem ser utilizados, pois nenhum método fornece uma avaliação completa de desempenho do modelo. O desempenho do modelo neste estudo foi avaliado segundo as diretrizes estabelecidas pela *Foundation for Water Research (FWR)* no documento "*A Framework for Marine and Estuarine Model Specification in the UK* (FWR, 1993), e são critérios aceitos para determinar se os modelos costeiros são adequados à sua finalidade. As tolerâncias da FWR utilizadas neste estudo para calibração e validação são apresentadas na Tabela 3-2. Verifica-se que as especificações da FWR foram desenvolvidas para modelos com correntes de maré bidirecionais. Devido à oscilação e variação natural das correntes oceânicas no local do Porto Sul, considerou-se adequado um "relaxamento" de 10 graus para 30 graus da tolerância na direção das correntes.

Tabela 3-2. Padrões da FWR aplicados neste estudo como critérios de desempenho de calibração.

Parâmetro	Tolerância Aplicada	
	Absoluta	Relativa
Nível de Água	+/- 0,1m	10% das marés de sizígia 15% das marés de quadratura
Velocidade da Corrente	+/- 0,1m/s	+/- 10-20% da velocidade observada
Direção da Corrente	+/- 30° *	N/A
Fase	+/- 15'	N/A

A análise estatística de ajuste do modelo exige que as tolerâncias presentes na Tabela 3-2 sejam alcançadas na maior parte do período de calibração. É improvável que essas tolerâncias sejam obtidas ao longo de todo o período de calibração, pois haverá, inevitavelmente, alguns fatores que não podem ser totalmente contabilizados na configuração das simulações do modelo numérico ou nos dados de entrada, particularmente em águas costeiras (águas rasas). No entanto, a calibração do modelo deve procurar alcançar essas tolerâncias sobre a maioria das combinações de posições/tempo avaliadas. Para qualificar o nível de calibração, adotou-se uma escala qualitativa para os ajustes do modelo. Essa escala comparativa é baseada na frequência de sucesso dos critérios de tolerância, ou seja:

- 1) **Ajuste Excelente:** tolerâncias de calibração são atingidas > 90% do tempo
- 2) **Ajuste Muito bom:** tolerâncias de calibração são atingidas > 80% do tempo
- 3) **Ajuste Bom:** tolerâncias de calibração são atingidas > 70% do tempo
- 4) **Ajuste Razoável:** tolerâncias de calibração são atingidas > 60% do tempo
- 5) **Ajuste Pobre:** tolerâncias de calibração são atingidas < 60% do tempo

Estes termos qualitativos são também similares àqueles que podem ser usados na descrição do ajuste com base em critérios visuais de avaliação (Figura 3-2) e, portanto, permitem uma comparação objetiva entre a avaliação visual e estatística para o modelo hidrodinâmico do Porto Sul (Tabela 3-3). Uma análise estatística adicional foi incluída para determinar a raiz do erro quadrático médio (RMS) para o nível de água e para as componentes de velocidade das correntes. O erro RMS para o nível de água foi de 0,07 m, e para as componentes da velocidade das correntes foi de 0,05 m/s ou menos (Tabela 3-4).

Tabela 3-3. Resumo da calibração do modelo - Junho de 2009.

Situação	Parâmetro	% Ajuste	Fase (min)	Resultado
Eventos com Correntes Fortes (04/06/2009 – 10/06/2009)	Nível de água	95	4	Excelente ajuste
	Magnitude da Corrente	98	4	Excelente ajuste
	Direção da Corrente	91	4	Excelente ajuste
Períodos de Quadratura (14/06/2009 – 16/06/2009)	Nível de água	85	7	Muito Bom ajuste
	Magnitude da Corrente	99	4	Excelente ajuste
	Direção da Corrente	61	0	Razoável ajuste
Períodos de Sizígia (23/06/2009 – 25/06/2009)	Nível de água	100	0	Excelente ajuste
	Magnitude da Corrente	100	0	Excelente ajuste
	Direção da Corrente	72	0	Bom ajuste

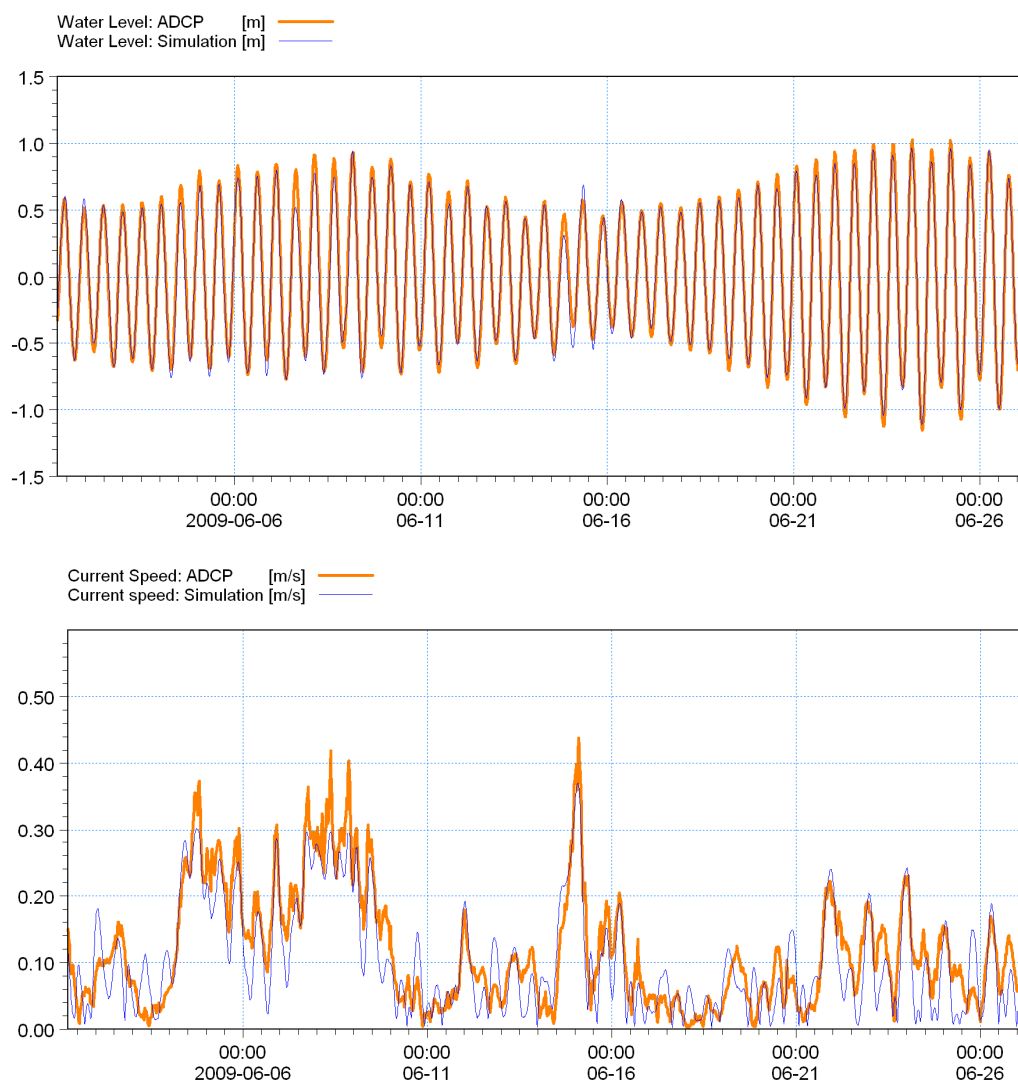


Figura 3-2: Calibração do modelo com relação aos dados de ADCP de junho de 2009.

Tabela 3-4: Estatística RMS para o período de calibração.

Parâmetro	Calibração (Junho 2009)
Nível de Água	0,07 m
Componente U da Velocidade	0,02 m/s
Componente V da Velocidade	0,05 m/s

Baseado nisso, o modelo hidrodinâmico calibrado foi então validado (seção a seguir) usando o período de simulação de verão (dezembro de 2008).

3.4.1 Validação do Modelo

O modelo hidrodinâmico calibrado foi utilizado para a validação com os dados medidos pelo ADCP para o período de verão (dezembro). Ao contrário da fase de calibração, na validação os coeficientes do modelo não são modificados. O grau de ajuste entre o modelo e os dados observados determina o nível de validação do modelo: ajustes pobres determinam validação pobre; ajustes bons determinam boa validação. As estatísticas de validação do modelo são apresentadas na Tabela 3-5 e, a série temporal de níveis de água e velocidade das correntes, na Figura 3-3. Uma análise estatística adicional foi feita para determinar a raiz do erro quadrático médio para o nível de água e para os componentes da velocidade das correntes.

O erro RMS para o nível de água foi de 0,06 m, e para as velocidades foi de 0,05 m/s ou menos (Tabela 3-6). Um exemplo dos resultados do modelo hidrodinâmico na validação, mostrando fluxos típicos para norte, é apresentado na Figura 3-4.

Tabela 3-5. Resumo da validação do modelo – Dezembro de 2008.

Situação	Parâmetro	% Ajuste	Fase (min)	Resultado
Eventos com Correntes Fortes (06/12/2008 – 09/12/2008)	Nível de água	83	1	Muito Bom
	Magnitude da Corrente	93	1	Excelente
	Direção da Corrente	100	1	Excelente
Períodos de Quadratura (12/12/2008 – 14/12/2008)	Nível de água	100	4	Excelente
	Magnitude da Corrente	97	4	Excelente
	Direção da Corrente	57	4	Ruim / Razoável
Períodos de Sízigia (12/12/2008 – 14/12/2008)	Nível de água	100	8	Excelente
	Magnitude da Corrente	100	8	Excelente
	Direção da Corrente	60	8	Razoável

Tabela 3-6: Estatística RMS para o período de validação

Parâmetro	Validação (Dezembro 2008)
Nível de Água	0,06 m
Componente U da Velocidade	0,03 m/s
Componente V da Velocidade	0,05 m/s

Com base na análise estatística e visual, o modelo foi considerado válido para uso na simulação das correntes hidrodinâmicas no local do Porto Sul e para aplicação na simulação da dispersão de sedimentos.

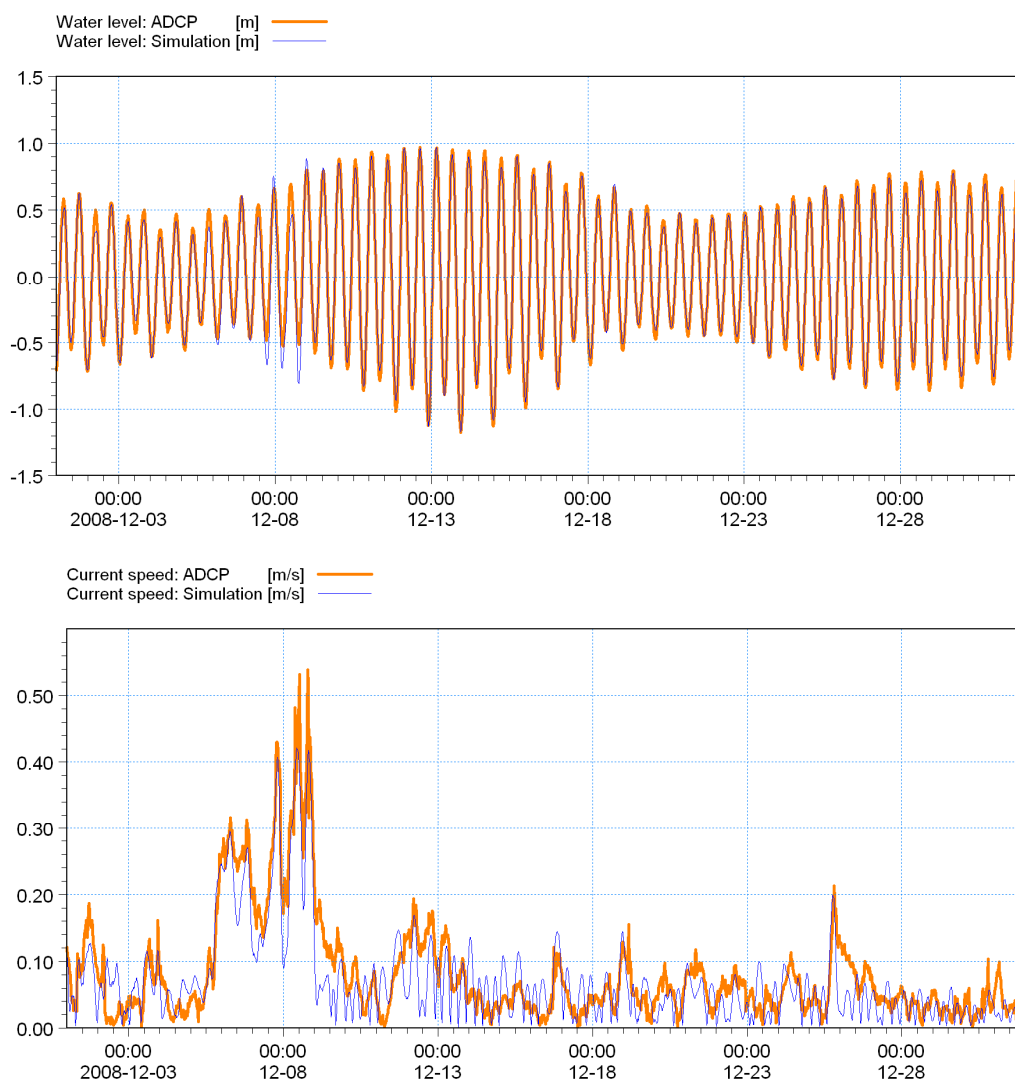


Figura 3-3: Período de calibração de dezembro (verão).

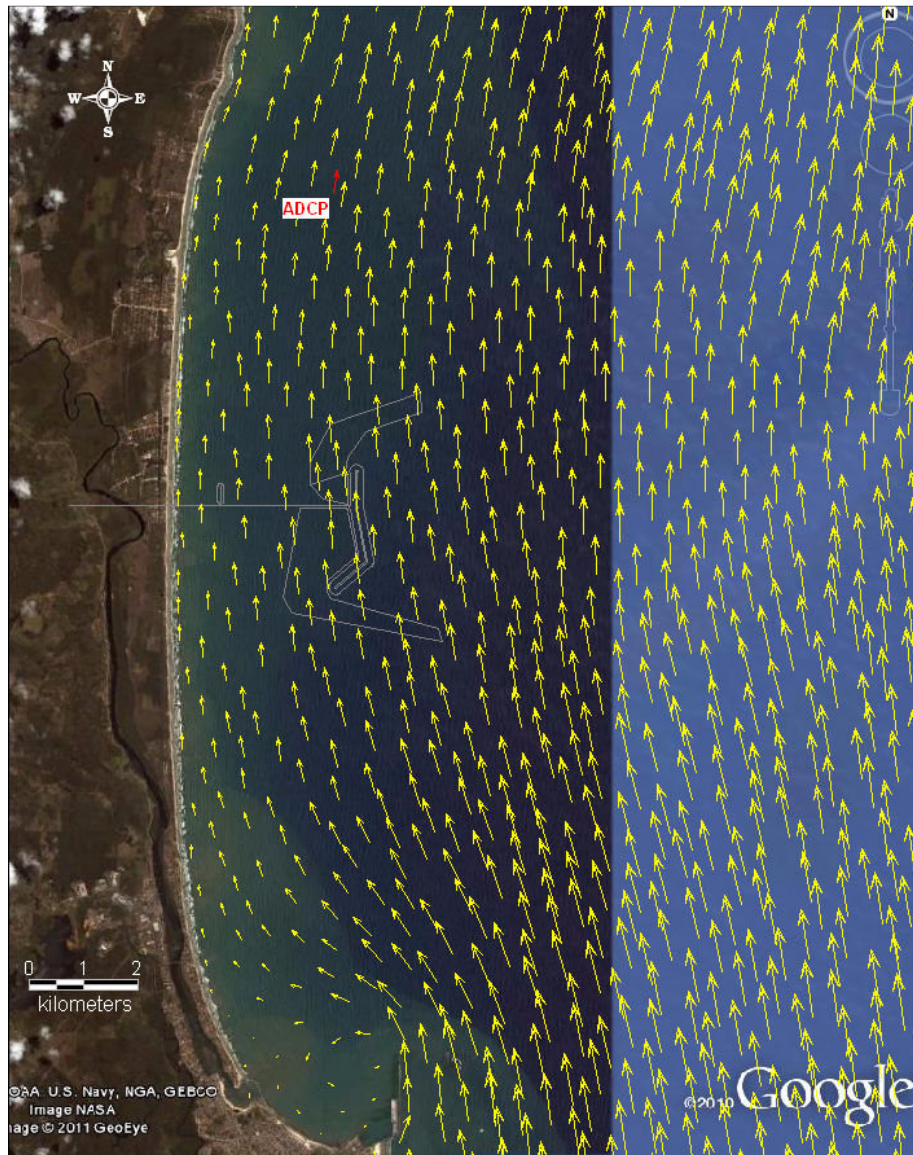


Figura 3-4: Exemplo de resultado do modelo hidrodinâmico para correntes norte durante o período de validação.

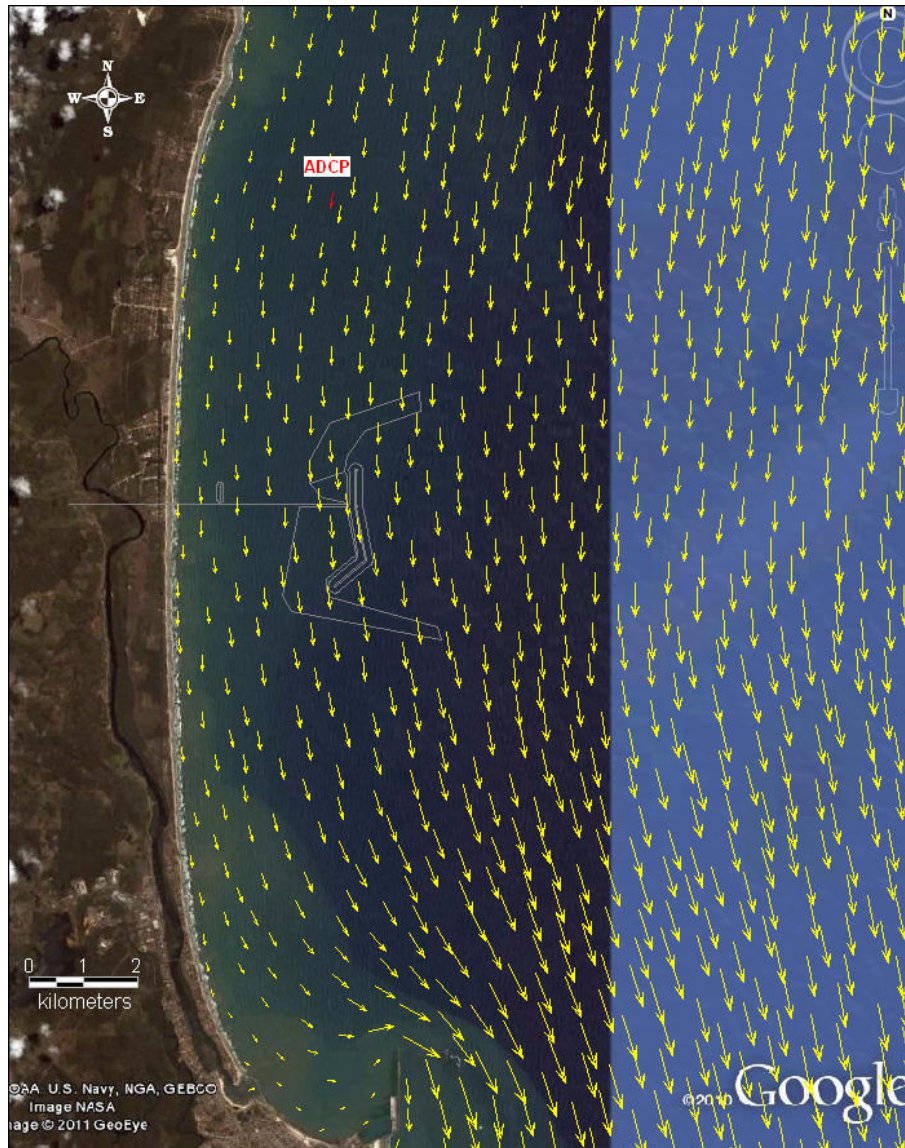


Figura 3-4: Exemplo de resultado do modelo hidrodinâmico para correntes sul durante o período de validação.

4.0 METODOLOGIA DE DRAGAGEM E DESCARTE

O projeto de dragagem considera que uma única draga autotransportadora (TSHD, *Trailer Suction Hopper Dredger*, draga de sucção e arrasto) será utilizada para preparar o leito marinho na região de implantação do Porto Sul e para dragar a região próxima ao quebra-mar e o canal de navegação.

Para modelar a pluma de sedimentos de dragagem, foi necessário fazer suposições sobre a operação de dragagem/descarte, sobre o período de operação e sobre as características dos sedimentos. As seções a seguir descrevem a metodologia de dragagem e os parâmetros aplicados na modelagem de dispersão de sedimentos.

4.1 DRAGA

As dragas autotransportadoras (TSHD) são navios com propulsão própria e funcionam como se fossem um grande 'aspirador' montado sobre o seu casco (Figura 4-1). As TSHD são versáteis e capazes de trabalhar em condições de estado de mar moderado.



Figura 4-1: Dragagem Autotransportadora (TSHD / *Trailer Suction Hopper Dredger*).

As especificações da draga considerada no relatório do projeto conceitual são apresentadas na Tabela 4-1. Esta draga é considerada como a draga mais provável a ser utilizada no projeto do Porto Sul. Caso uma draga de outro tamanho venha a ser selecionada, numa fase posterior, os resultados de dispersão precisarão ser revistos à luz das características da nova draga proposta.

Tabela 4-1: Especificações da draga autotransportadora.

Tipo de draga	TSHD
Extensão da draga	140 m
Capacidade da Hopper	10000 m ³
Eficiência da Hopper	38%

Atual capacidade de carga da Hopper	3780 m ³
Velocidade da draga	16 nós

Um resumo das taxas de perda de material dragado para diferentes tipos de dragas, baseado em experiência da URS e Bray *et al.* (1997), é apresentado na Tabela 4-2. Em comparação com os tipos de dragas, a draga TSHD gera uma perda moderada de finos, considerando que não seja permitido o “overflow” dos finos pela draga. No entanto, sem *overflow*, a eficiência da draga Hopper fica reduzida, uma vez que a Hopper precisa conter o material dragado e a água que entra pelo processo de dragagem, o que diminui a carga efetiva de sedimentos.

Tabela 4-2: Comparação da taxa de perda de material fino dos diferentes tipos de dragas.

Método de dragagem	Sucção com desagregador	Arrasto e Sucção (sem <i>overflow</i>)	Disposição no Fundo	Arrasto e Sucção (com <i>overflow</i>)
Taxa de perda	1%	2%	5%	34%

A draga TSHD selecionada para este projeto vai perder cerca de 2% de sedimentos finos nas operações. Esta taxa de perda foi validada pela HR Wallingford, que forneceu uma análise independente da operação de dragagem proposta e confirmou os parâmetros de lançamento de sedimentos. Note-se que, em comparação a outros tipos de dragagem, a draga TSHD vai ajudar a minimizar a perda de finos.

4.2 CICLO DE DRAGAGEM E DESCARTE

O ciclo de dragagem e descarte para o Porto Sul está resumido na Figura 4-2.

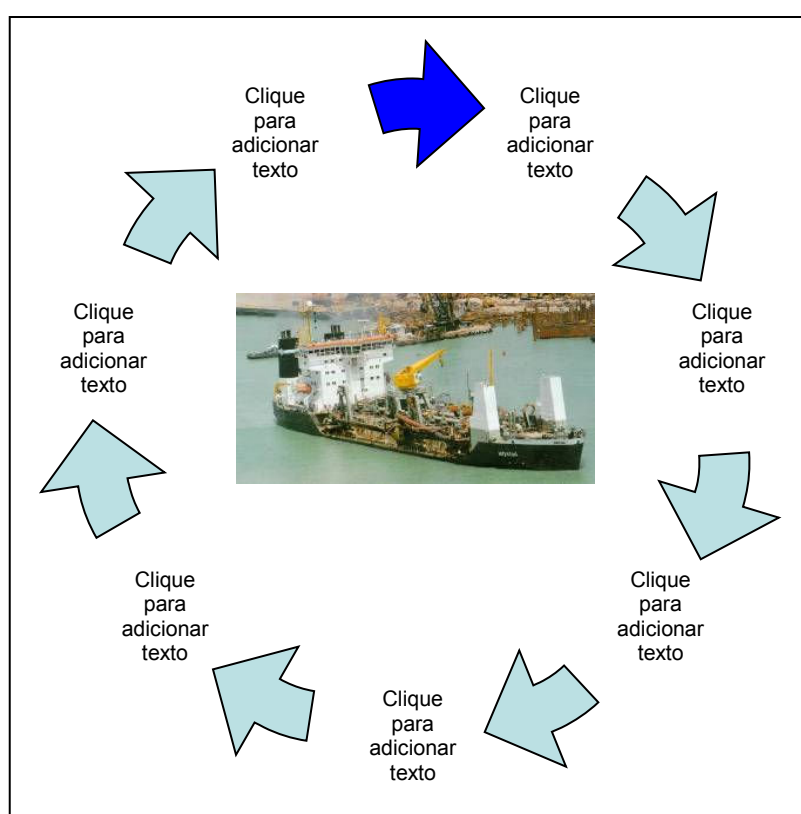


Figura 4-2: Síntese do ciclo de dragagem e descarte.

O ciclo na Figura 4-2 considera a situação no início da dragagem, onde a draga autotransportadora abaixa o tubo de sucção (braço) até o fundo do mar, no berço de atracação, e se move lentamente para frente, acionando as bombas centrífugas. Durante um período de aproximadamente 30 minutos, os sedimentos do fundo marinho são dragados à medida que a draga se move, passam pela boca de dragagem, são levados para cima na parte interna do braço e são lançados nos compartimentos internos do navio (cisternas). Durante este processo, uma pequena percentagem deste volume de sedimentos fica em suspensão próximo da boca de dragagem devido ao processo de dragagem, e forma uma pluma de sedimentos passiva.

O mestre da draga tem como objetivo maximizar a densidade do material dragado, maximizando a massa do material bombeado para a cisterna.

Uma vez cheias as cisternas, o bombeamento cessa e a boca de dragagem é recolhida e se inicia a navegação para o local de descarte em alto-mar (*offshore*), a uma distância aproximada de 11 milhas náuticas (20,3 km). No local de descarte, abrem-se as portas do fundo da draga causando a descarga do material das cisternas durante um período de 5 minutos (conforme esquema da Figura 4-3) em que o material contido na draga desce como um núcleo de alta densidade. Usando a força e as correntes para se manter numa posição sobre o fundo do mar e lançando o material a partir da draga, o mestre da draga procura minimizar a dispersão através da formação de um jato ativo de turbidez do material que desce rápida e diretamente para o fundo do mar. Entretanto, durante o descarte, parte dos sedimentos finos é levada à suspensão na parte superior e central (plumas passivas de baixa densidade) e também no fundo, em consequência do choque entre o núcleo de alta densidade e o fundo do mar (pluma difusa). Uma vez finalizado o descarte, a draga retorna ao porto para completar o ciclo.

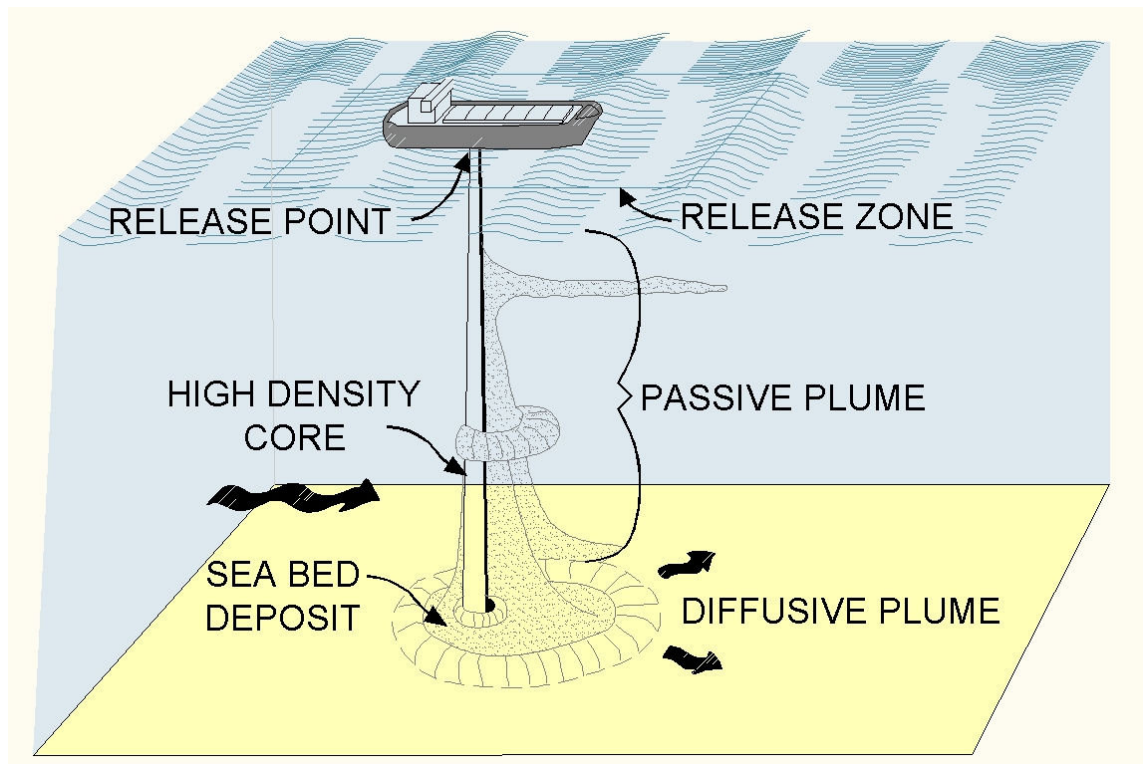


Figura 4-3: Processos de descarte (adaptado de Raymond, 1986).

A metodologia utilizada assume que os materiais dragados serão descartados num local com lâmina de água de 500 m de profundidade. Baseado na capacidade da draga, velocidade, eficiência, duração da dragagem e distância de viagem entre os locais de dragagem e descarte, o número total de operações por dia foi calculado com base nas orientações contidas em Bray *et al.* (1997) (Tabela 4-3).

Tabela 4-3: Plano de dragagem – Quebra-mar. Local de descarte a 500 m de profundidade.

Volume Total de Dragagem	16,5 Mm ³
Capacidade da Hopper	10000 m ³
Carga Efetiva da Hopper	3780 m ³
De	local do quebra-mar
Para	descarte a -500 m
Duração do ciclo	150 minutos
Operações por dia (ciclos)	10
Taxa de produção (m³/dia)	40321

4.3 CARACTERÍSTICAS DOS SEDIMENTOS

As análises das informações das amostras de sedimento (sondagens e superficiais) fornecidas à URS indicam que a camada superior de sedimentos próximos ao local do Porto Sul é predominantemente composta de silte argiloso (Figura 4-4), os quais podem permanecer em suspensão por longos períodos e viajar grandes distâncias antes de sedimentar no fundo no mar.

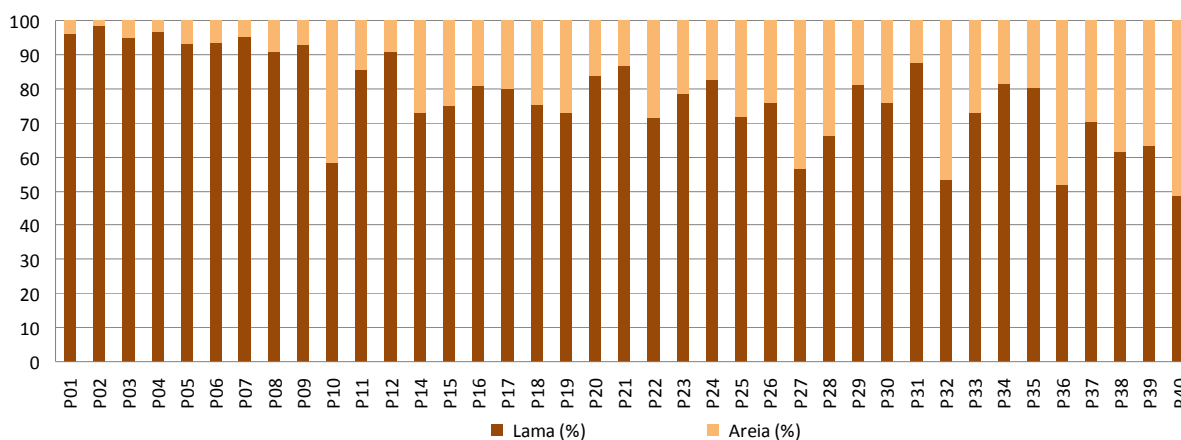


Figura 4-4: Percentagem de lama e areia das amostras do fundo obtidas na área do Porto Sul (retiradas do relatório RT-11: Sedimentos BAMIN).

Com base na interpretação dos dados das amostras de sedimentos marinhos superficiais e de sondagem, as características de sedimento da Tabela 4-4 foram adotadas:

Tabela 4-4: Parâmetros dos sedimentos finos.

Granulometria do sedimento	~45 a 62	µm
Tipo de sedimento	Silte grosso	-
Conteúdo de finos	90	%
Densidade (<i>in-situ</i>)	1100	kg/m ³

4.4 ESTRATÉGIA DE MODELAGEM

A dispersão de sedimentos finos foi realizada utilizando-se duas abordagens de modelagem:

1. Modelagem do núcleo de alta densidade da pluma, formada pelo lançamento de sedimentos da draga no local de descarte - Seção 5.
2. Modelagem de dispersão passiva da pluma, formada durante o descarte e pela pluma difusa gerada próximo ao fundo do mar - Seção 6.

5.0 MODELAGEM DO NÚCLEO DE ALTA DENSIDADE

5.1 INTRODUÇÃO

A URS, em parceria com a HR Wallingford, conduziu os estudos detalhados de modelagem para o núcleo de alta densidade formado pelo lançamento do material contido na draga autotransportadora (Figura 4-3) com o objetivo de dar suporte à modelagem de dispersão do material dragado.

5.2 ESTRATÉGIA

A HR Wallingford aplicou o modelo SEDTRAIL-RW-3D (Figura 5-1) para simular a dinâmica do núcleo de alta densidade gerado pelo lançamento de sedimentos a partir da draga no local de descarte. Esse modelo simula:

- Mistura na draga
- Fase dinâmica da pluma
- Colapso da pluma no fundo marinho após o impacto
- Reentrainment no fundo marinho

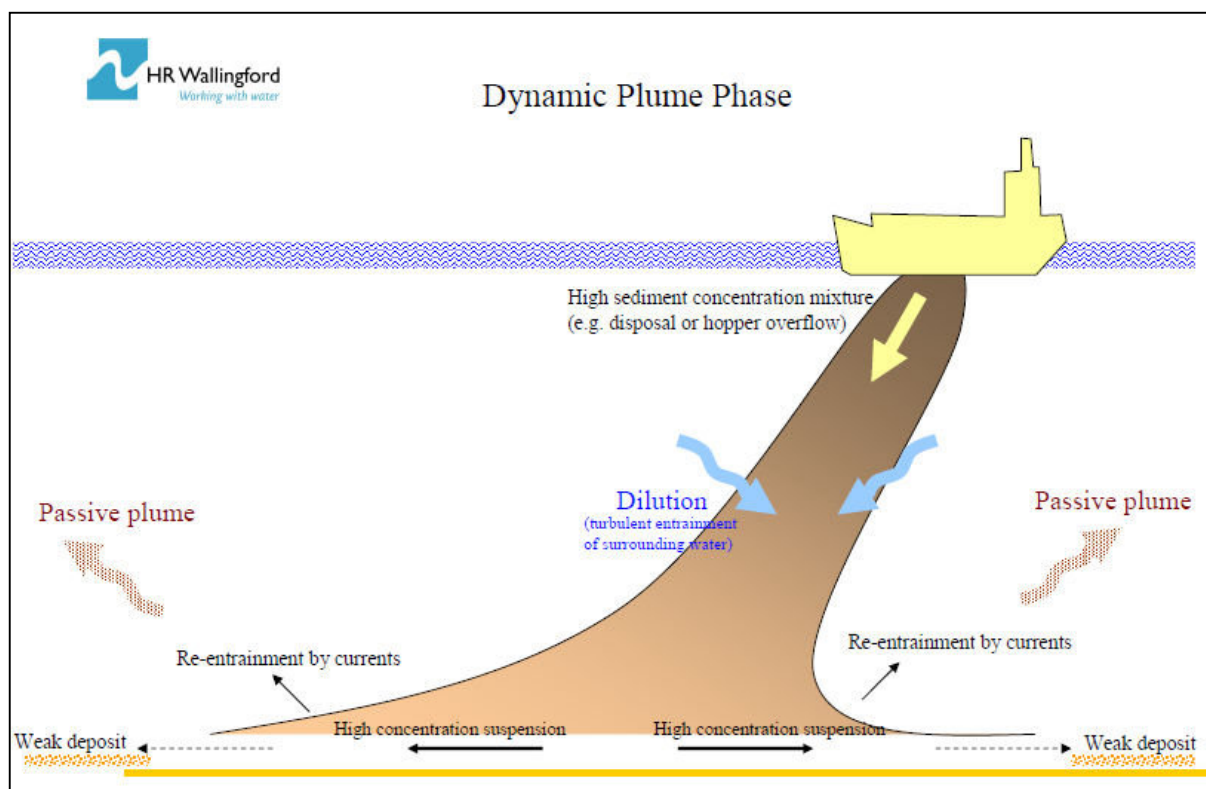


Figura 5-1: Processos da pluma de sedimentos representados pelo modelo SEDTRAIL-RW 3D.

Os detalhes sobre a validação do modelo e suas capacidades estão presentes no Apêndice B. A seção a seguir fornece um resumo dos resultados da modelagem.

5.3 CONFIGURAÇÕES DO MODELO

A modelagem considerou a draga autotransportadora lançando o sedimento fino rapidamente, na forma de um núcleo de densidade fortemente concentrado, de modo a maximizar o volume de material que atinge o fundo do mar. Assumiu-se que essa operação deve durar 5 minutos e que a draga fica estacionária em relação ao fundo do mar.

O modelo incluiu as velocidades de corrente ambientais modeladas representativas tanto típicas (50%), de magnitude de 0,1 m/s, como fortes velocidades correntes (95%). O volume de descarte e a densidade da mistura de sedimentos variaram com base nos dados de sedimentos e nas características da draga, discutidos nas seções anteriores, e são consistentes com a configuração do modelo de pluma passiva.

No que diz respeito às taxas de lançamento de sedimentos (descarte) e com base no parecer dos peritos, o modelo de pluma passiva considera que, pelo menos, 1% do material descartado fica na coluna de água, a partir do núcleo de alta densidade, durante a sua descida ao fundo do mar. Esta foi a abordagem adotada também na modelagem da pluma passiva discutida na seção anterior.

O resultado do modelo incluiu a caracterização do espalhamento do depósito de material descartado sobre uma profundidade e uma faixa de largura (centrada na linha da draga) e a distância alcançada pela draga (por intervalo de tempo).

5.4 RESULTADOS

Os resultados da simulação das plumas dinâmicas, resultantes do processo de descarte e com uma velocidade de corrente de média profundidade representativa de 0,1 m/s, estão resumidos na Tabela 5-1.

Tabela 5-1: Termos-fonte resultantes do descarte (disposição) num período de 5 minutos.

Capacidade da Draga (m³)	33000	17000	10000	6400
Taxa média de lançamento (kg/s) durante o período de 5 minutos	49945	24462	15496	7287
Velocidade da Draga (m/s)	0	0	0	0
Proporção do descarte “em superfície”	1%	1%	1%	1%
Proporção do descarte a ser distribuída num raio ‘r’ e uma altura ‘h’ a partir do fundo	96%	96%	96%	96%
r = raio	720 m	540 m	430 m	320 m
h = altura do cilindro	180 m	160 m	145 m	130 m
Proporção do descarte a ser distribuída no fundo sobre uma área de raio ‘r’	3%	3%	3%	3%

Os resultados mostram que, para a draga de 10.000 m³ de capacidade proposta para este projeto, 3% do material fino lançado na coluna de água atinge o fundo do mar e forma um depósito com um raio de 430 m. A maior profundidade da coluna de água (aos 500 m) permite uma mistura significativamente maior da pluma dinâmica, lançando a maior parte do material (96%) na parte inferior da coluna de água, a 145 m acima do fundo do mar.

O Terminal privado da BAMIN requer o descarte de cerca de 10,51 Mm³ de sedimentos finos, e o terminal do Porto Público requer mais 5,98 Mm³ (um total de 16,5 Mm³). Como 97% do material é lançado na coluna de água (apenas 3% atinge o fundo do mar e se distribui sobre ele), a deposição da pluma passiva foi estimada usando o modelo de campo afastado para fornecer um indicativo da visualização do padrão de deposição para este volume no fundo do mar. Os resultados são apresentados na Seção 6.0. A Figura 5-2 mostra a espessura máxima do depósito inconsolidado acima de 0,10 m (o nível mínimo de contorno) espalhados por uma área de cerca de 6 km por 2,7 km. A espessura acima de 2,0 m está confinada numa área de 2,0 km a partir do local de disposição. Estes valores só poderão ser validados pelo monitoramento e testes no local quando as operações de descarte começarem.

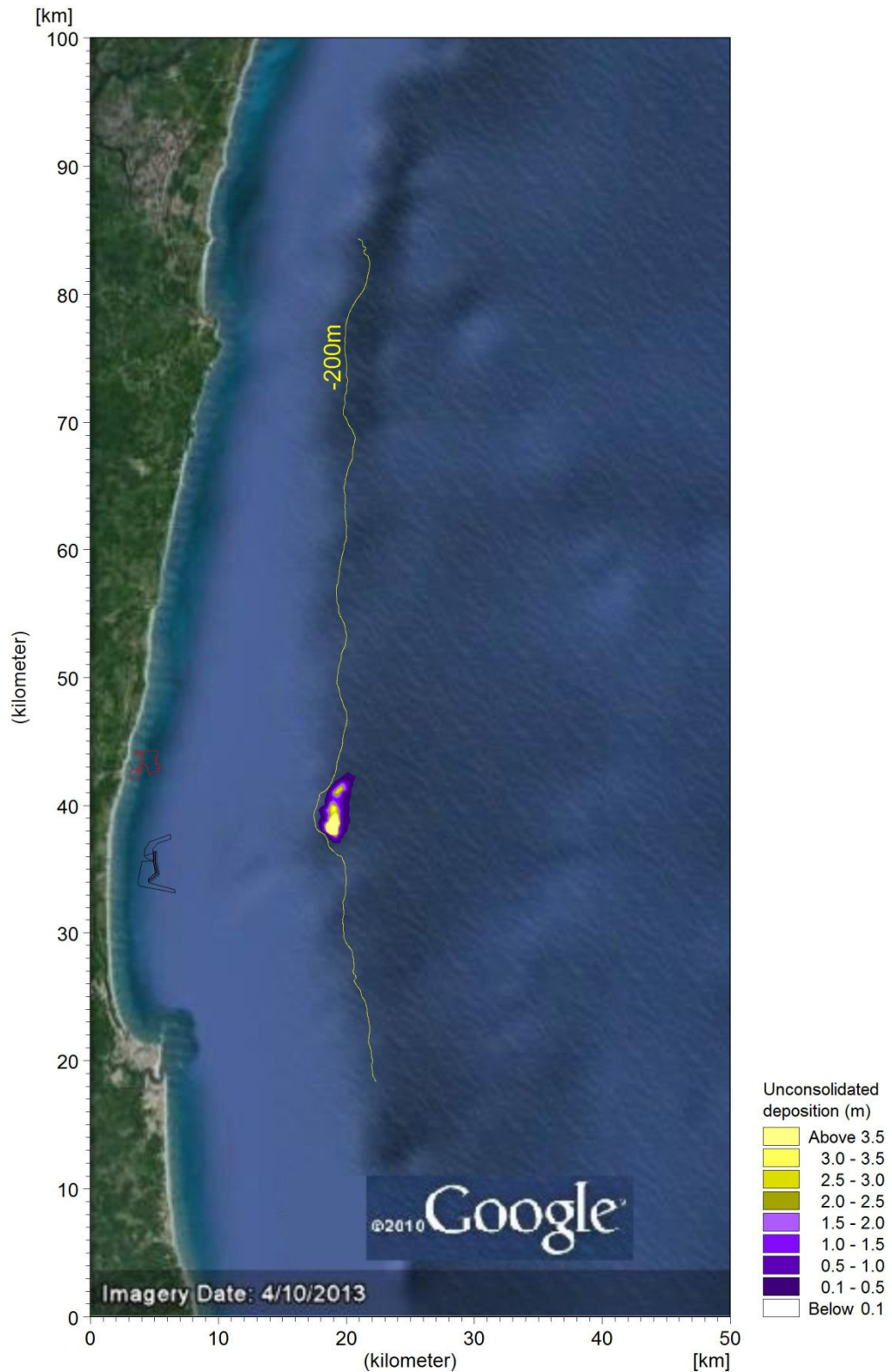


Figura 5-2: Depósito inconsolidado resultante do descarte de 16,5 Mm³ de material dragado no local com profundidade de 500 m.

6.0 MODELAGEM DE DISPERSÃO (PASSIVA) DA PLUMA NO CAMPO AFASTADO

6.1 INTRODUÇÃO

Para estimar o comportamento da pluma passiva (Figura 4-12), os cenários de descarte são simulados utilizando o modelo hidrodinâmico. A configuração do modelo, a calibração e a

validação foram discutidas no capítulo 3.0. O modelo foi configurado para permitir a simulação da atividade de dragagem proposta num período de um mês inteiro de forma contínua. Isto incluiu períodos de atividade onde sedimentos finos foram descartados e períodos de inatividade, nos quais a draga está em trânsito indo para ou vindo do local de descarte. A análise estatística dos resultados permite estimar o potencial de deposição de sedimentos inconsolidados e o pico de concentração de sedimentos em suspensão, e pode ser utilizada para interpretar as condições que ocorrem durante as operações de dragagem num período mais extenso.

6.2 METODOLOGIA E CONFIGURAÇÕES DA MODELAGEM DE DISPERSÃO DE SEDIMENTOS

Para simular o comportamento do material dragado/descartado, o modelo hidrodinâmico MIKE 21, validado, foi acoplado ao módulo de rastreamento de partículas (PT / *Particle Tracking*) para simular a dispersão de sedimentos finos. O sistema de modelagem MIKE 21 é uma tecnologia comprovada de última geração, que foi desenvolvido, testado e validado pelo *Danish Hydraulic Institute* (DHI). Mais detalhes das especificações e capacidades do modelo estão presentes no Anexo A.

6.2.1 Modelo de Rastreamento de Partículas

O modelo hidrodinâmico validado foi utilizado para governar o módulo PT. O modelo permite um fluxo de lançamento de partículas individuais que são representativas das características de partículas de sedimento em suspensão. Ao rastrear essas partículas desde a sua fonte, o comportamento (dispersão) dos sedimentos em suspensão pode ser inferido. Na configuração do modelo, devem ser especificados os parâmetros que descrevem o tipo de sedimento, velocidade de queda e densidade. Com base nos dados das amostras de fundo recolhidas no local do Porto Sul, os seguintes parâmetros foram aplicados em todas as simulações:

Densidade do sedimento:	1154 kg/m ³
Velocidade de sedimentação dos sedimentos finos em suspensão:	2,58 mm/s

A velocidade de queda foi calculada com base na equação dada por Hallermeier (1981) e Van Rijn (1984) for $D_*^3 \leq 39$ e $D_*^3 \leq 16.187$, respectivamente.

D_* é o tamanho de grão adimensional.

$$w_s = \frac{vD_*^3}{18d}$$

A densidade foi calculada usando a equação abaixo retirada de “*Dynamics of Marine Sands*”, Whitehouse *et al.*, 2000.

$$\rho_B = \rho\epsilon + \rho_s(1 - \epsilon)$$

ϵ é a porosidade.

O modelo PT considera também a distância do lançamento de partículas em relação ao fundo do mar, permitindo que a sua trajetória seja afetada por variações do perfil de velocidade com a profundidade, antes de se depositar no fundo do mar. O modelo também considera a difusão vertical e a dispersão horizontal de partículas para os elementos adjacentes, em quatro camadas separadas. Há uma camada na superfície do mar e três camadas que cobrem os 145 m inferiores da coluna de água logo acima do fundo do mar.

Uma abordagem de modelagem quasi-3D foi considerada em cada camada simulada separadamente. Essa abordagem foi necessária para assegurar que o comportamento das

partículas do sedimento na parte inferior da coluna de água seja simulado com precisão. O lançamento de sedimentos em diferentes camadas foi modelado separadamente e os resultados de cada camada foram combinados para obter os resultados finais do modelo. O modelo também foi atualizado com os novos dados batimétricos obtidos no local de descarte.

Os lançamentos de sedimentos foram realizados de acordo com a Tabela 5-1, que mostra um lançamento de cinco minutos, no qual a maior parte dos sedimentos (96%) foi lançada dentro de uma camada de 145 m acima do fundo do mar e que foi dividida posteriormente em três subcamadas na configuração do modelo para poder caracterizar a pluma difusa.

Ao longo do tempo, a velocidade de queda das partículas condiciona a deposição de partículas no fundo do mar. A área de acreção e a profundidade de acreção dependem das velocidades e direções da circulação hidrodinâmica anteriores. Dentro do modelo, a deposição no fundo do mar permanece inconsolidada, embora, na realidade, acréscimos de sedimentos 'novos' tendam a comprimir as camadas inferiores, desidratando-as, o que resulta no aumento da sua densidade e da sua resistência à erosão. Para simular este processo no modelo, aplicou-se um valor-limite de erosão do fundo parcialmente consolidado.

6.2.2 Cenários das Simulações

A localização do local de descarte *offshore* é representada por um ponto único (E 510500, N 8380500), onde a lâmina de água é de aproximadamente 500 m.

Para dispor o material dragado, o plano de trabalho considerado foi que a draga opera continuamente durante o período de um mês, em cenários de verão e inverno. Para definir a taxa de lançamento de sedimentos finos no local de descarte, foram utilizados os resultados do modelo 3D de transporte de sedimentos SEDTRAIL-RW (3D). Este modelo de campo próximo foi executado para determinar os processos locais associados com a operação de descarte. O modelo fornece informações detalhadas sobre o comportamento do núcleo de alta densidade desde a draga até o acréscimo resultante no fundo do mar.

As seguintes taxas de lançamento no local de disposição são consideradas para a pluma passiva (Tabela 6-1) e difusa (Tabela 6-2). Considera-se que a operação de descarte pretende maximizar o volume de material que atinge a parte inferior da coluna de água através da abertura de todas as válvulas de draga em 5 minutos para minimizar a dispersão de sedimentos próximo da superfície. Isto resulta em baixos níveis de sedimentos em suspensão na superfície, mas altos níveis próximo ao fundo marinho, dentro da pluma difusa, o que também deve ser levado em consideração.

Tabela 6-1: Taxa de lançamento de sedimentos finos na superfície – pluma passiva.

Pluma Passiva	
Duração da Operação de Descarte	5 minutos
Percentagem de Lançamentos de Finos	1 %
Taxa Média de Lançamento	154 kg/s
Altura do Lançamento	2 m (abaixo da superfície)

Tabela 6-2: Taxa de lançamento de sedimentos finos no fundo – pluma de descarte difusa.

Pluma Difusa

Duração da Operação de Descarte	5 minutos
Percentagem de Lançamentos de Finos	96 %
Taxa Média de Lançamento	14876 kg/s
Altura do Lançamento	em 145 m (acima do fundo)

6.2.3 Resultados dos Cenários

As taxas de lançamento foram impostas no modelo, como mostrado acima, e as simulações foram realizadas para um período de 30 dias para as condições de verão e inverno. Os resultados foram obtidos como séries de gráficos 2D para mostrar a extensão espacial horizontal das plumas de sedimentos para as concentrações de sedimentos em suspensão médias e de pico. Os resultados foram, então, divididos em diferentes camadas verticais.

A análise dos descartes foi realizada no ponto de descarte a -500 m e em três camadas verticais: superfície a -20 m, média na profundidade (média) e a -10 m acima fundo do mar para a concentração de sedimentos em suspensão. Estes resultados incluem o sedimento em suspensão total, isto é, uma combinação dos sedimentos lançados perto da superfície da água pela pluma passiva e que eventualmente descem até o fundo do mar, com os sedimentos associados à pluma difusiva lançados próximo ao fundo do mar.

A deposição inconsolidada total no fundo do mar foi calculada em torno da área da draga e representa a profundidade total de sedimentos acumulados no período de simulação de 30 dias. Os percentuais da estatística de excedência também foram determinados.

6.2.4 Níveis de Limiar

As espessuras da deposição no fundo, fornecidas nas seções a seguir, referem-se à acumulação de lama pouco consolidada, com densidade de 1.100 kg/m³. Deve-se notar que o modelo considera a dragagem por um período típico de 30 dias. Se as velocidades de corrente permanecerem abaixo do limiar de ressuspensão, o sedimento depositado se consolidará. Uma vez consolidado, espera-se um aumento da densidade (*dry bulk density*) do sedimento fino e uma redução da espessura da camada em cerca de 20-30%. Consequentemente, a espessura de sedimentação/siltação permanente (longo prazo) é reduzida significativamente. Os níveis de limiar admissíveis para a deposição de sedimentos sobre corais propostos, com base em Rogers (1990), são apresentados na Tabela 6-3. No entanto, as respostas dos corais às alterações na deposição de sedimentos são dependentes da espécie, orientação, hábito de crescimento, comportamento e da quantidade e tipo de sedimento. Apesar de não terem sido identificados corais próximo ao local do Porto Sul, existem fundos de corais localizados a cerca de 6 a 7 km ao norte.

Tabela 6-3: Níveis de limiar para deposição em fundos de coral.

Taxa de Sedimentação Diária	Espessura Inconsolidada (por dia)	Comentário
1-10 mg/cm ²	0.1-1mm	Nível Normal

As distribuições espaciais da concentração média e de pico dos sedimentos em suspensão, durante o período de 30 dias, foram determinadas. Estes valores representam a linha de envoltório dos valores médios ou máximos obtidos durante o período simulado, respectivamente. É importante notar que estes valores não ocorreram ao mesmo tempo e, em

qualquer instante no tempo, a área coberta pela pluma foi significativamente menor do que o apresentado. Os limiares da concentração de pico de sedimentos são especificados conforme mostra a Tabela 6-4.

Tabela 6-4: Limite da concentração de sedimentos em suspensão

Concentração	Comentário
10 mg/l	Nível Ambiental de Base (nível de <i>background</i>)

As medições de concentração de sedimentos em suspensão realizadas em águas profundas (lâmina de água de aproximadamente 200 metros) apresentam valores superiores a 10 mg/l, o que foi considerado como o valor limite para o estudo atual. Os resultados de concentração de sedimentos em suspensão, indicados neste relatório, excedem esses valores (ou seja, acima do nível de *background* ambiental de 10 mg/l). As concentrações abaixo de 10 mg/l não foram indicadas nas figuras. As fotografias aéreas analisadas pela URS sugerem que concentrações muito baixas de sedimentos em suspensão podem ocorrer no local fora da zona de arrebentação. No entanto, como demonstrado pelas amostras de sedimento em suspensão, essas concentrações aumentam durante os períodos de alta descarga de sedimentos do rio Almada, o que pode ser visto na Figura 2-15.

6.3 RESULTADOS DA DISPERSÃO DE SEDIMENTOS DRAGADOS

Para compreender o transporte de sedimentos em suspensão, seu comportamento e deposição ao longo de um período de 30 dias, foram modelados dois descartes sazonais, um no verão (dezembro) e outro no inverno (junho), utilizando um modelo hidrodinâmico validado para simular as correntes de circulação oceânica.

Os cenários do modelo representam apenas as correntes oceânicas, sem o efeito das ondas, o que garante que a metodologia adotada foi conservadora em termos de deposição. Os principais resultados da modelagem são discutidos abaixo e apresentados em uma série de figuras e tabelas para cada caso de descarte.

6.4 DESCARTE NO LOCAL OFFSHORE COM 500 m DE PROFUNDIDADE

6.4.1 Verão

No processamento dos resultados dos cenários de descarte, deve-se notar que o lançamento de sedimentos ocorre tanto na superfície como na parte inferior da coluna de água, como resultado dos processos da pluma passiva e difusa. Portanto, para obter a concentração total de pico de sedimentos suspensos, as partículas dos resultados de cada fonte foram adicionadas.

A Figura 6-1 apresenta as envoltórias de concentração de pico de sedimentos em suspensão para a camada superficial (superfície até -20 m). A envoltória principal da pluma ruma paralelo à costa e às correntes de maré de baixa magnitude nas direções NE e SW, a uma distância de 4,0 km.

Os resultados médios em profundidade para as concentrações de pico de sedimentos em suspensão (Figura 6-2.) mostram que a envoltória da pluma se estende por uma distância total de 10 km. Quando comparados com os resultados da camada superficial, a pluma abrange uma extensão maior. Isto é devido ao aumento significativo do volume de sedimentos lançado na parte inferior da coluna de água (camada de 145 m acima fundo do mar). Em torno do ponto de descarte, a concentração média de sedimentos em suspensão em profundidade ultrapassou 10 mg/l em menos de 30% do período de simulação (Figura 6-4). Apesar da predominância dos fluxos de direção sul, a extensão da pluma possui uma tendência sentido norte, devido às menores profundidades no sul e à ocorrência de períodos curtos de alta intensidade de correntes norte que transportam os sedimentos descartados na superfície para mais longe do que as velocidades baixas das correntes para sul. Embora os cenários considerem um único local de descarte, devido à semelhança do campo de correntes e do fundo marinho local, estes resultados podem ser usados para inferir o impacto relativo em outros locais dentro dessa zona de descarte.

A concentração de sedimentos em suspensão na camada de fundo (10 m acima do fundo do mar), Figura 6-3, apresenta uma pluma principal com forte tendência em direção ao norte com extensão de 17 km, e uma extensão de 4 km para sul. A forma da pluma é consistente com as plumas observadas nos resultados médios em profundidade e é dominada pela batimetria local e pelos eventos com correntes fortes rumo norte.

A espessura máxima de deposição obtida após um mês de simulação está apresentada na Figura 6-5. Os sedimentos depositados acima de 1 mm a partir da pluma de deposição estão confinados dentro de uma distância de 11 km a partir do local de descarte. A área de deposição para o sul, que atravessa a isolinha de profundidade 200 m, é menor do que 2 mm de espessura e resulta do descarte de sedimentos na superfície após o período de 1 mês.

Deve ficar claro que os valores de concentração de pico de sedimentos em suspensão, apresentados na Figura 6-1, Figura 6-2 e Figura 6-3, representam a envoltória de concentração máxima para o período simulado e não uma condição instantânea. A extensão da pluma apresentada pode não ocorrer num instante qualquer. A extensão das plumas instantâneas é significativamente menor do que as envoltórias. Os mapas contendo as séries temporais de concentração de sedimentos em suspensão no fundo do mar para três locais (A, B e C) estão ilustrados na Figura 6-6. Os locais de A, B e C são apresentados na Figura 6-3. O padrão geral mostra pouca ou nenhuma concentração de sedimentos em suspensão em curtos períodos ocasionais (tipicamente <15 min) de alta concentração de sedimentos em suspensão à medida que a pluma de sedimentos passa nesses locais sob a influência de correntes ambientais. Os resultados das séries temporais não apresentaram exposição prolongada a altas concentrações de sedimentos no local A, mais próximo do local de descarte, e o nível de concentração superior a 100mg/l ocorreu apenas 9 vezes em um mês, sendo que duraram, normalmente, menos de 15 minutos com um valor de pico de cerca de 230 mg/l.

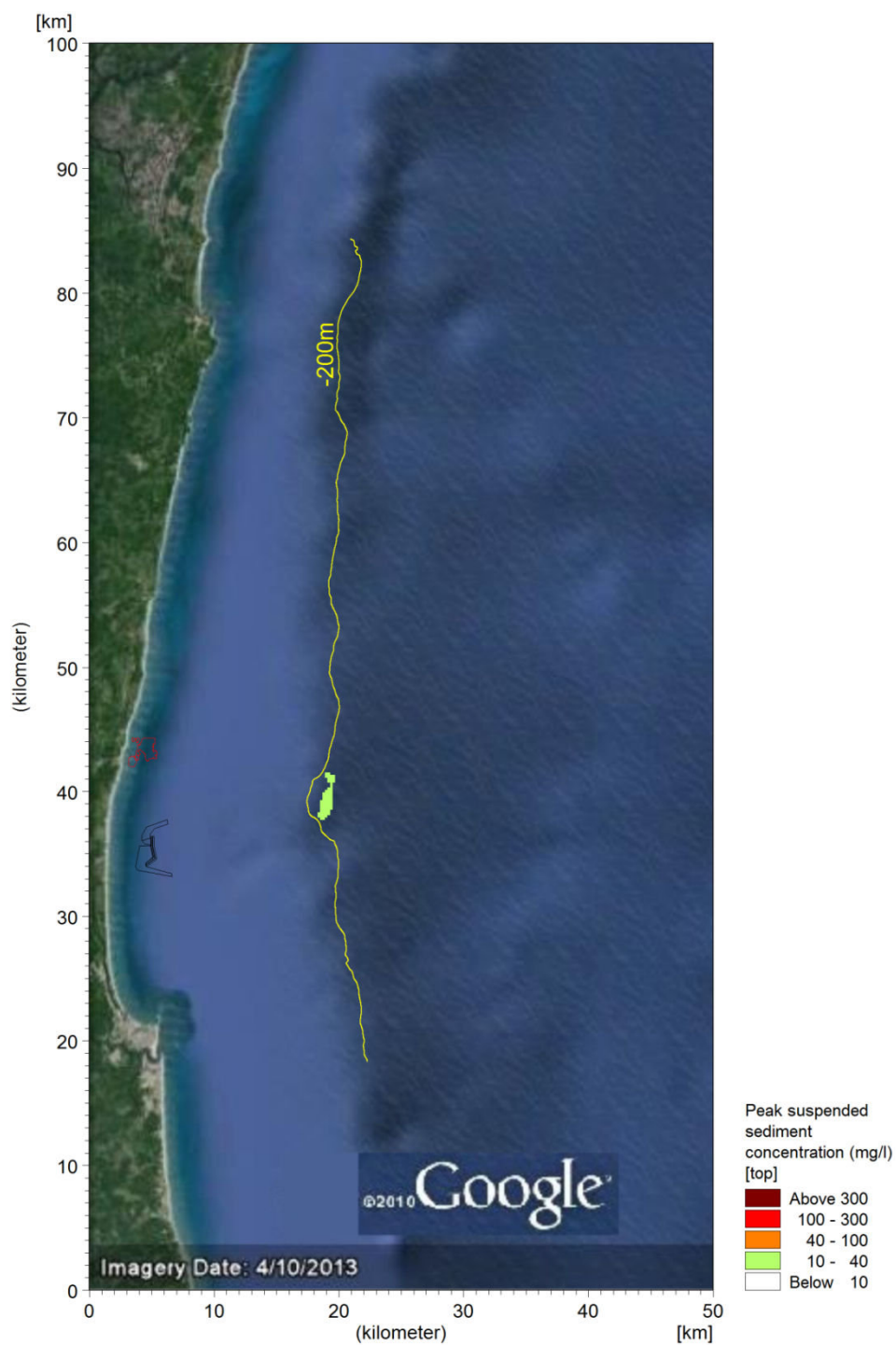


Figura 6-1 Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão - Superfície (Verão).

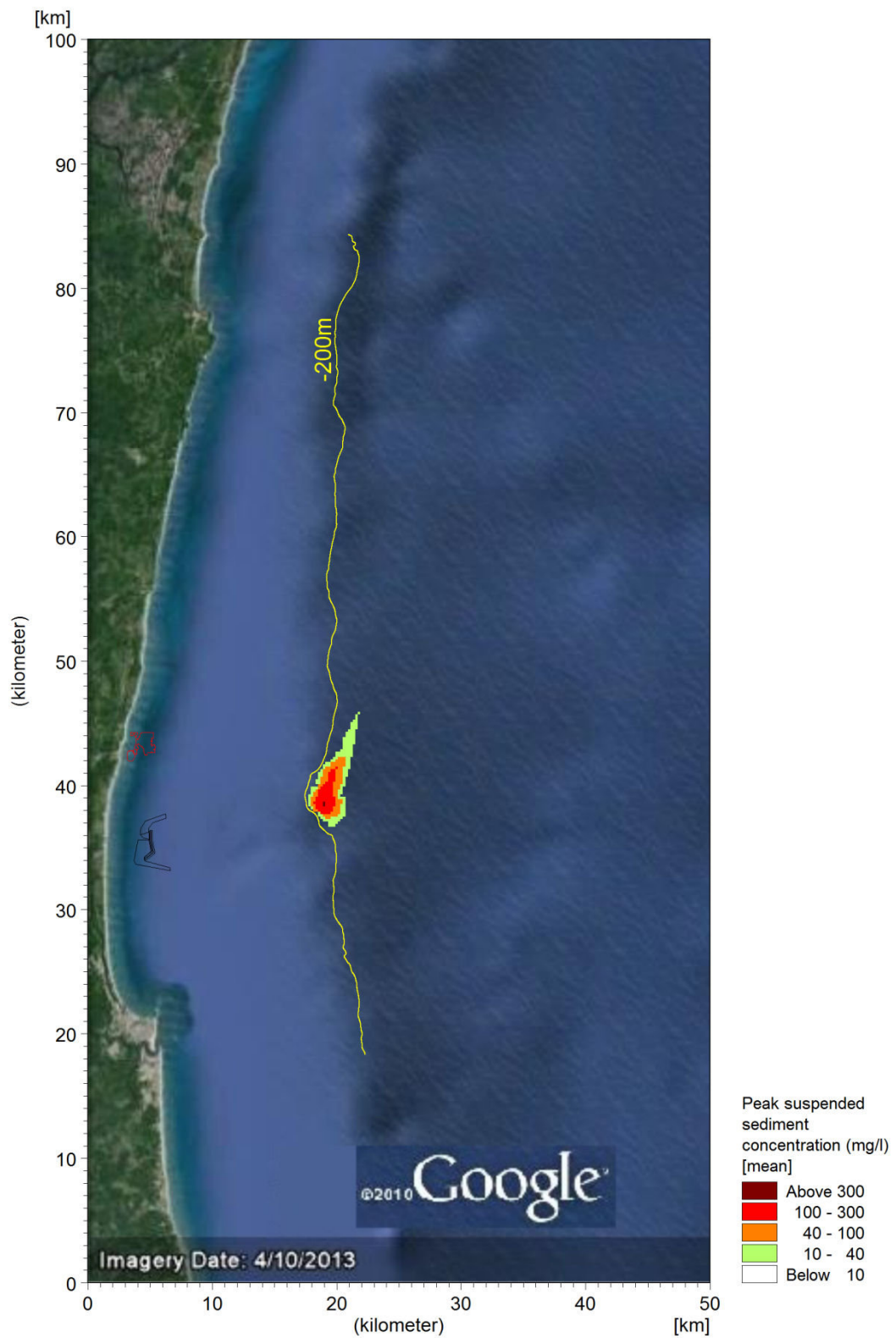


Figura 6-2: Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão - Média (Verão).

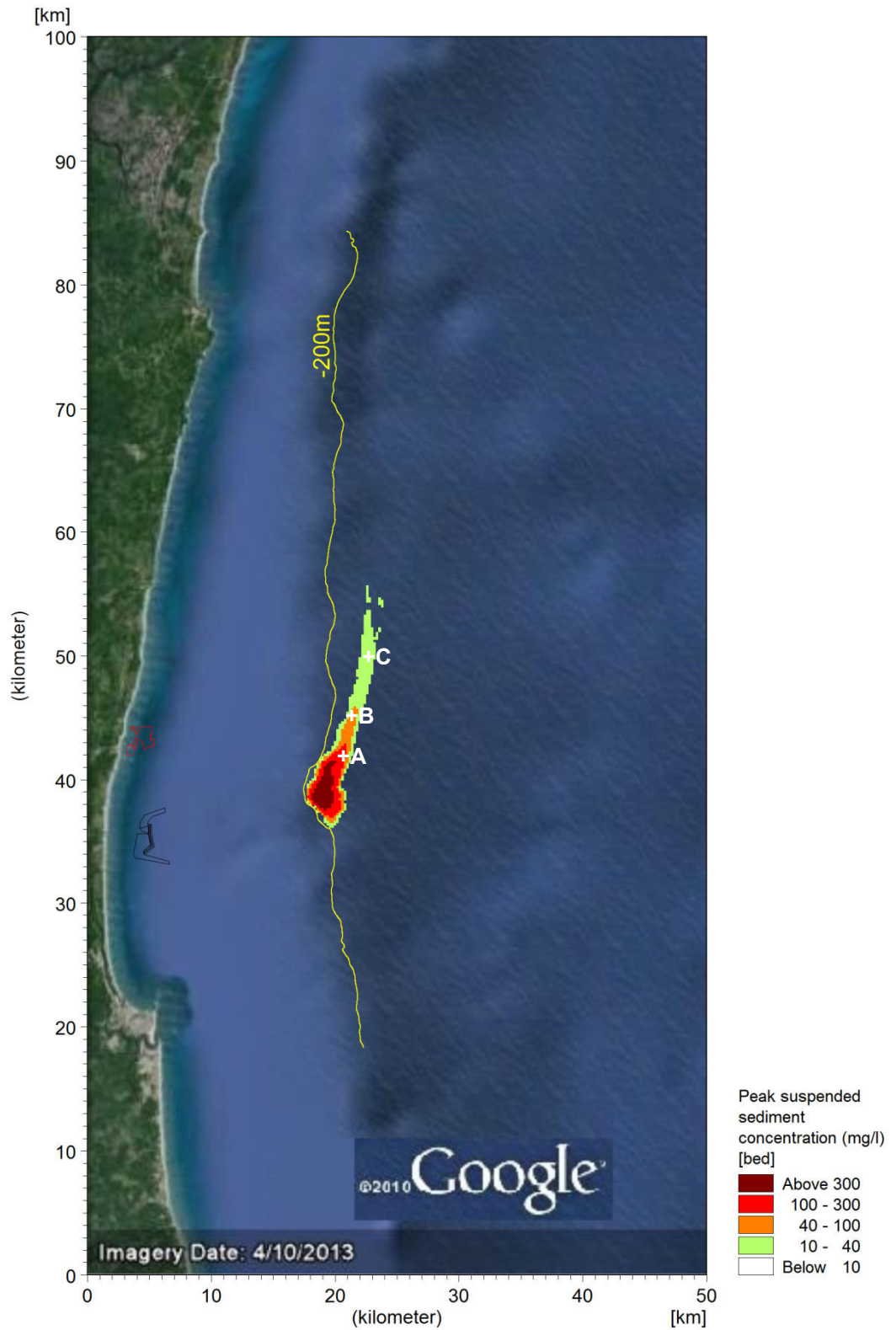


Figura 6-3: Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão - Fundo (Verão).

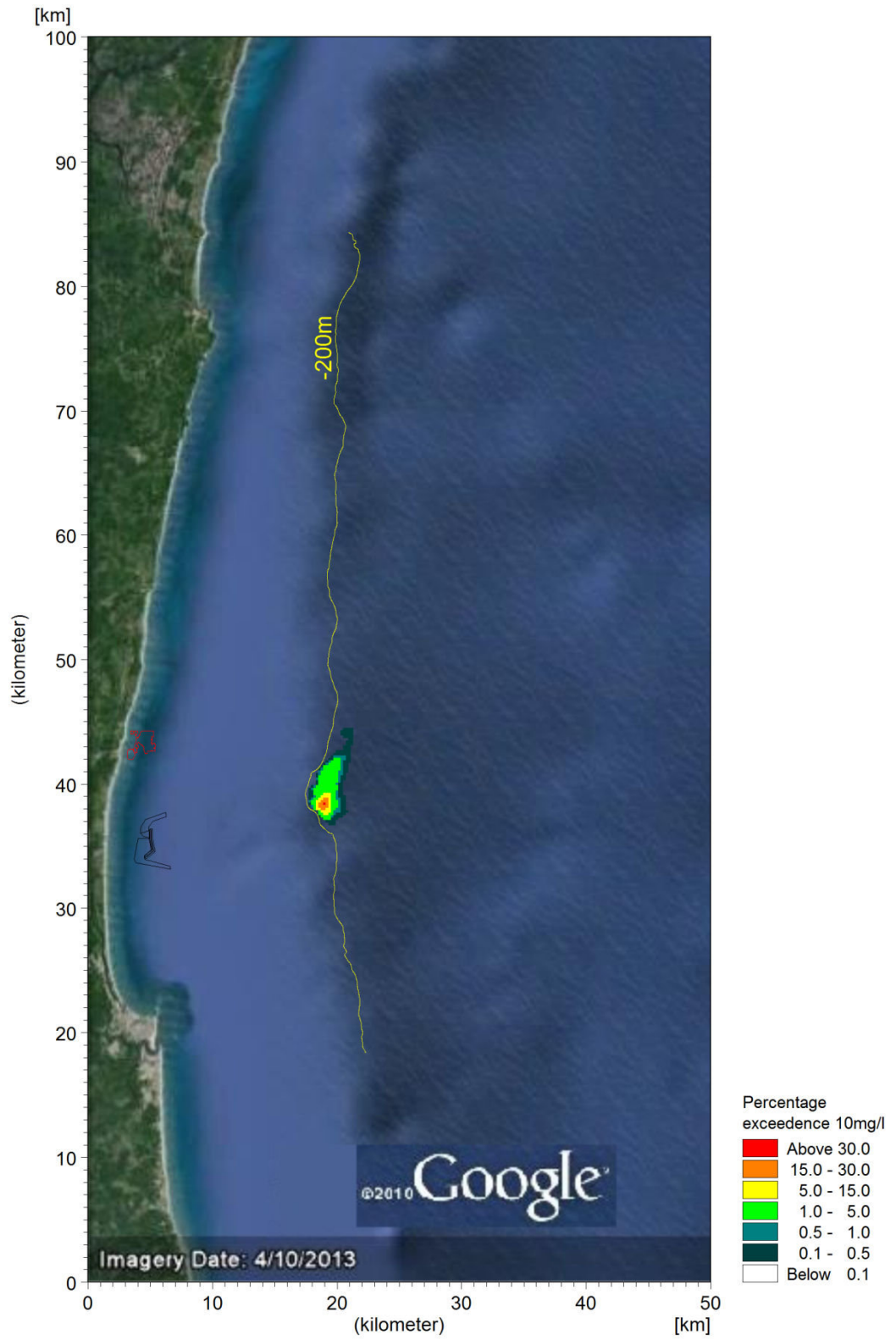


Figura 6-4: Percentagem de excedência de 10 mg/l (Verão).

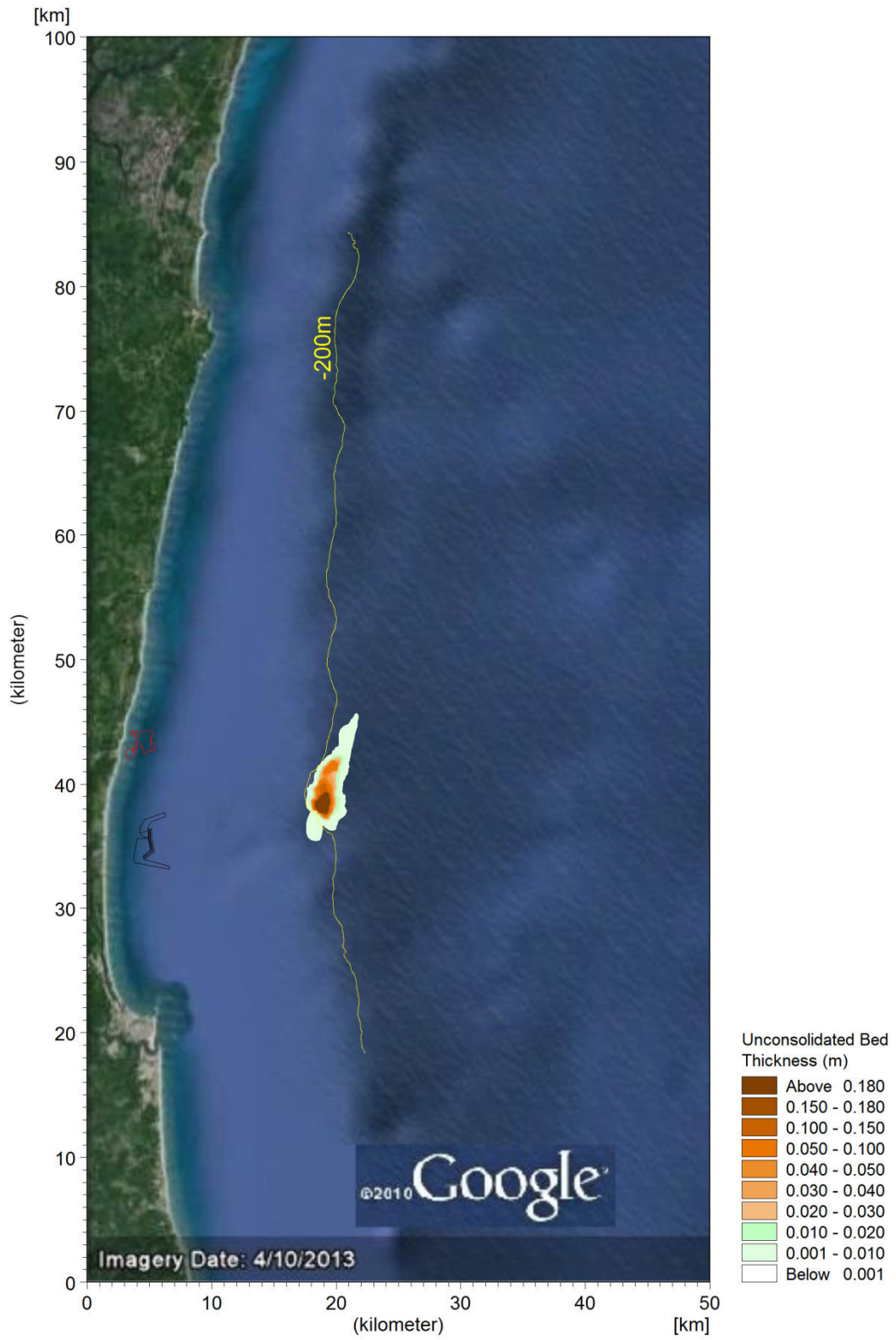


Figura 6-5: Depósito de sedimentos (Verão).

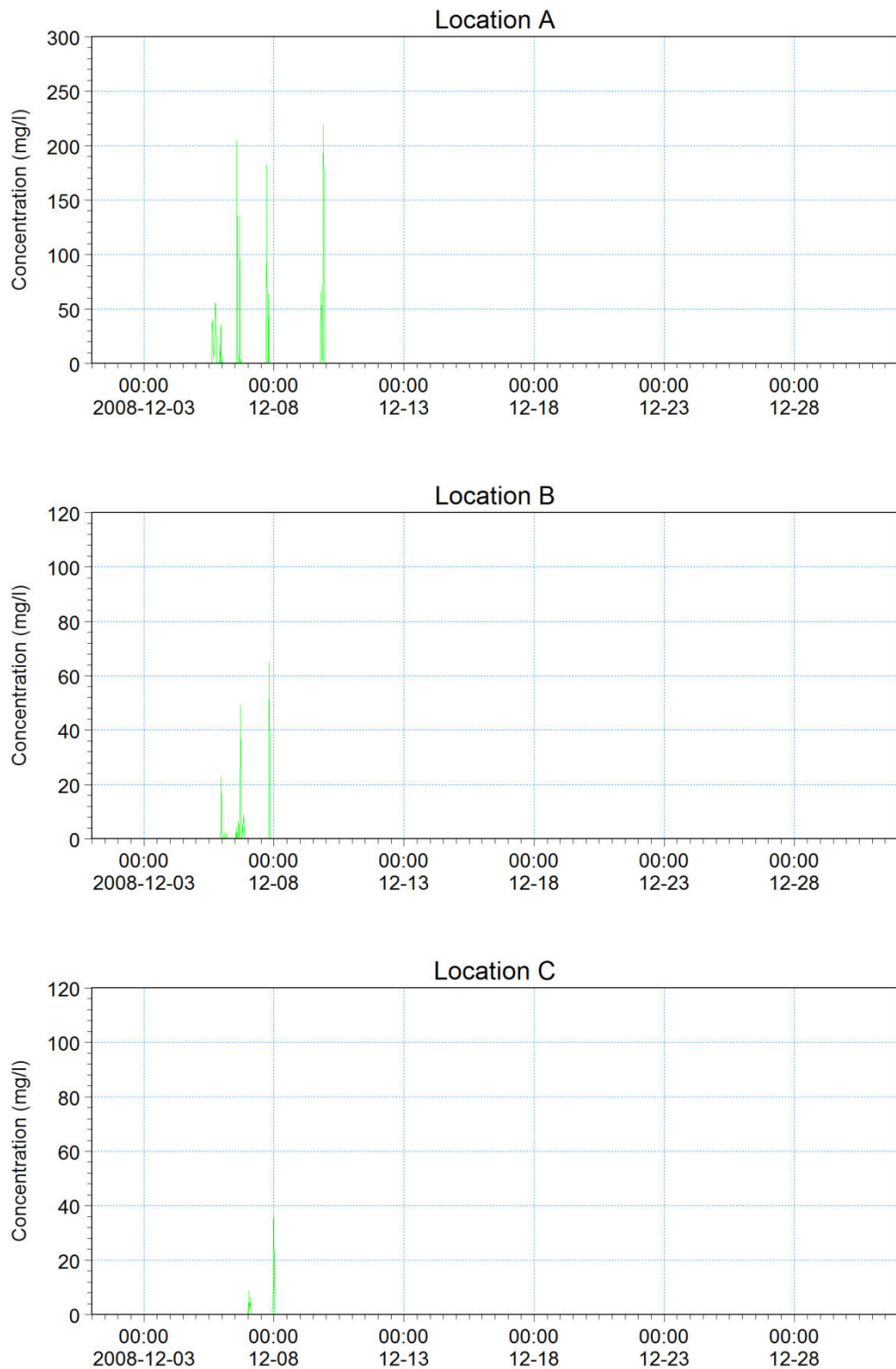


Figura 6-6: Série temporal de concentração de sedimentos (verão).

6.4.2 Inverno

A Figura 6-7 apresenta as envoltórias das concentrações de pico dos sedimentos em suspensão para a camada superficial (superfície até -20 m). A pluma se espalha por uma distância de 1 km.

Os resultados médios na profundidade para as concentrações de pico de sedimentos em suspensão (Figura 6-8) mostraram uma redução da área da pluma, que possui 6 km de

comprimento linear, em comparação com a extensão da pluma simulada no verão. Os valores de concentração de sedimentos em suspensão acima de 10 mg/l estiveram amplamente distribuídos dentro desta camada em comparação com a camada de superfície. A concentração média de sedimentos em suspensão em profundidade ultrapassa 10 mg/l em torno do ponto de escoamento em menos de 15% do período de simulação (Figura 6-10).

A concentração de sedimentos em suspensão na camada de fundo (10 m acima fundo do mar), Figura 6-9, apresenta uma pluma principal com forte assimetria, estendendo-se 6 km em direção ao norte e apenas 3 km para sul.

A Figura 6-11 apresenta a espessura máxima de deposição após um mês de simulação de inverno. Os sedimentos depositados com espessura acima de 1 milímetro estão confinados dentro de uma distância de cerca de 8 km do local de descarte.

A Figura 6-12 mostra os gráficos de séries temporais de concentração de sedimentos em suspensão para o cenário de inverno nos locais A, B e C, que estão evidenciados na Figura 6-9. As flutuações de concentração apresentaram uma magnitude semelhante aos resultados do cenário de verão.

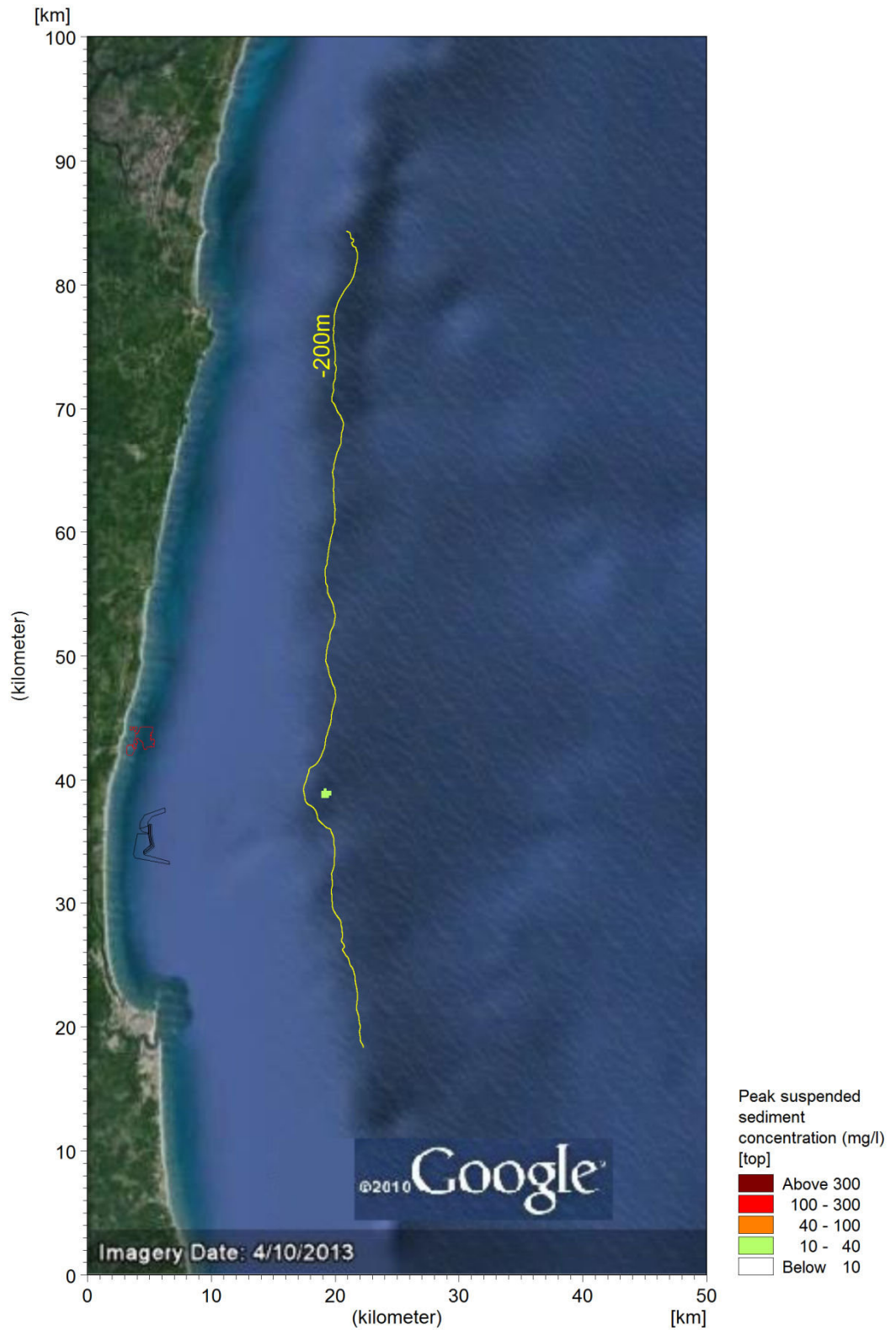


Figura 6-7: Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão - Superfície (Inverno).

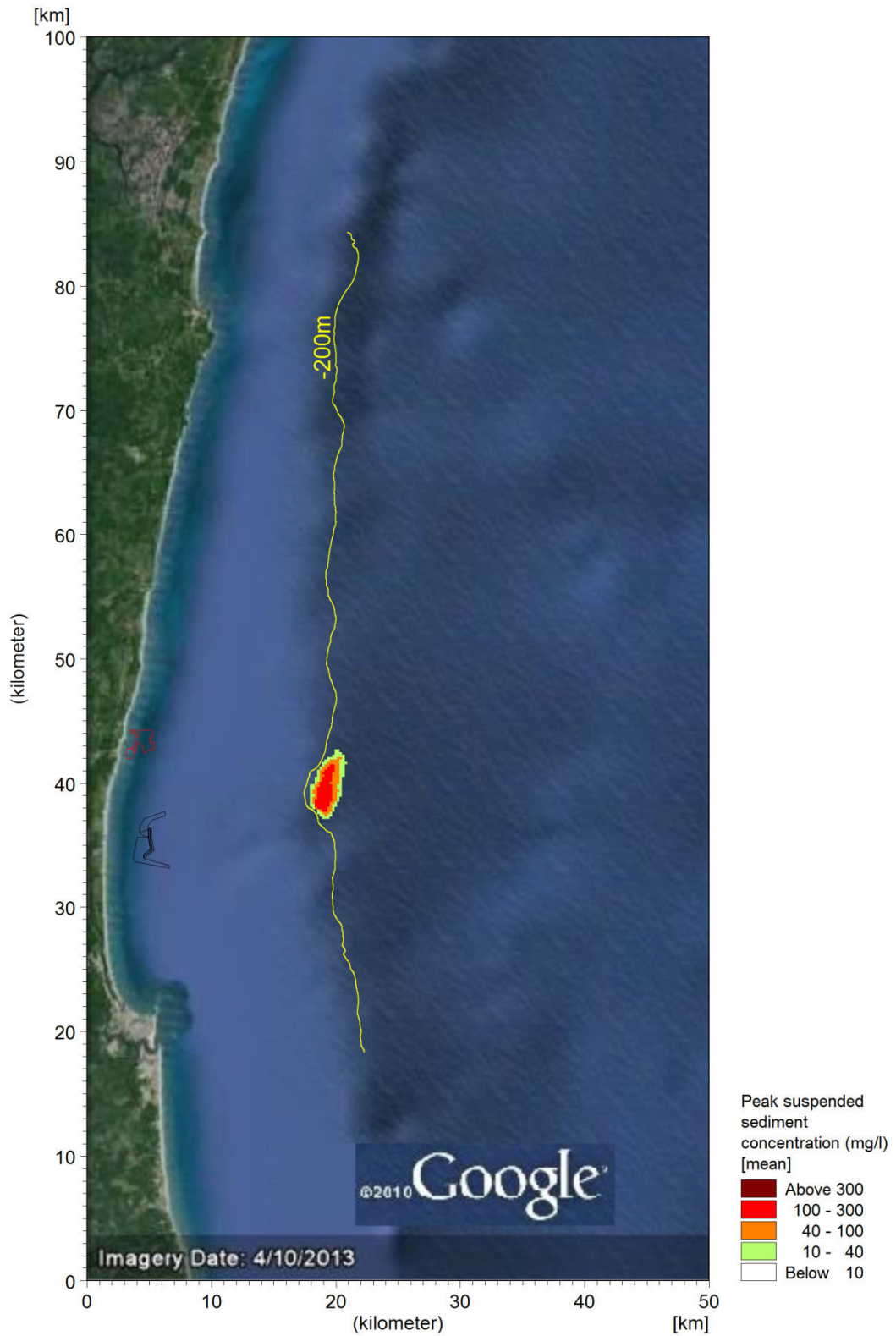


Figura 6-8: Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão – Média (Inverno).

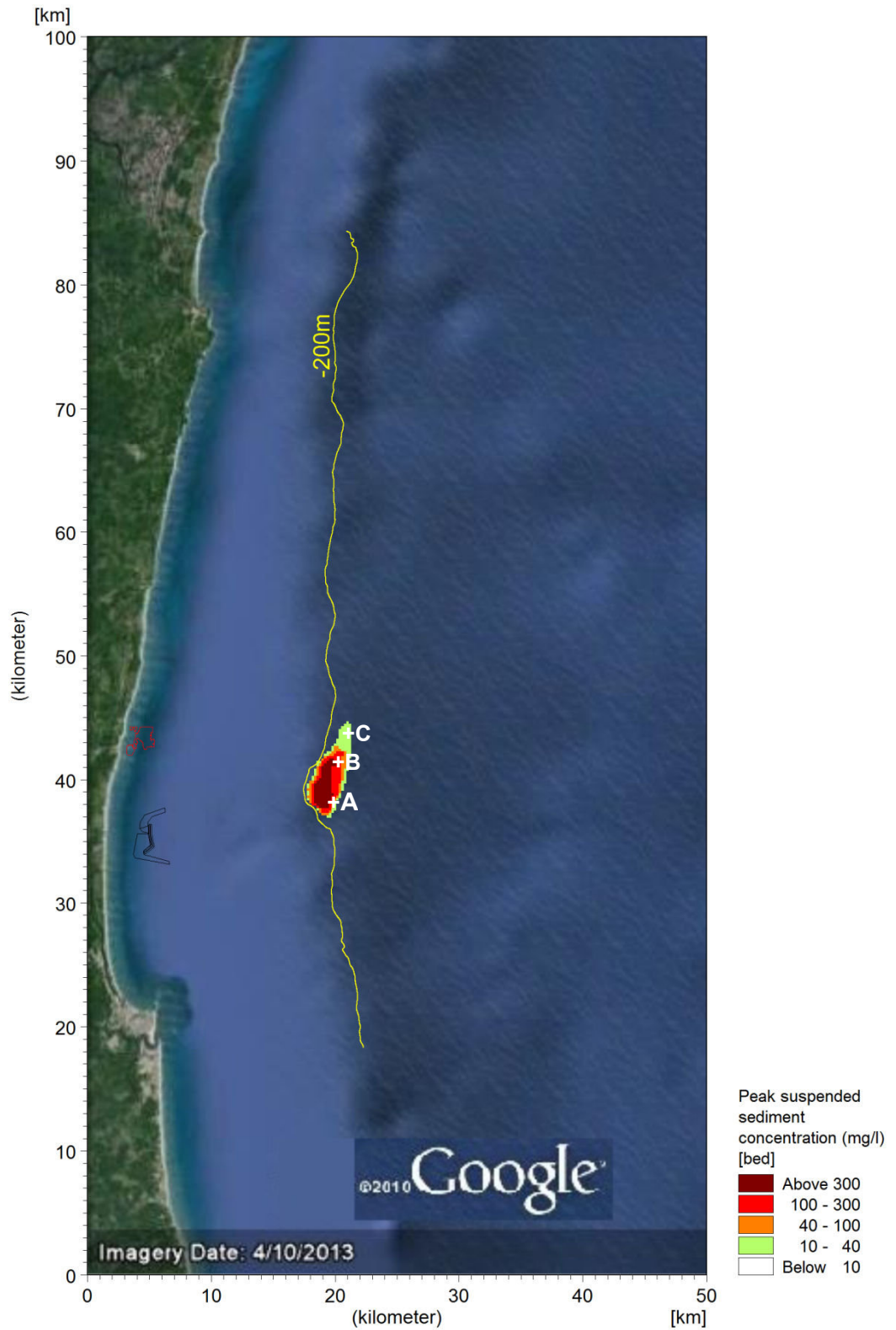


Figura 6-9: Envoltórias da concentração de pico dos sedimentos em suspensão – Fundo (Inverno).

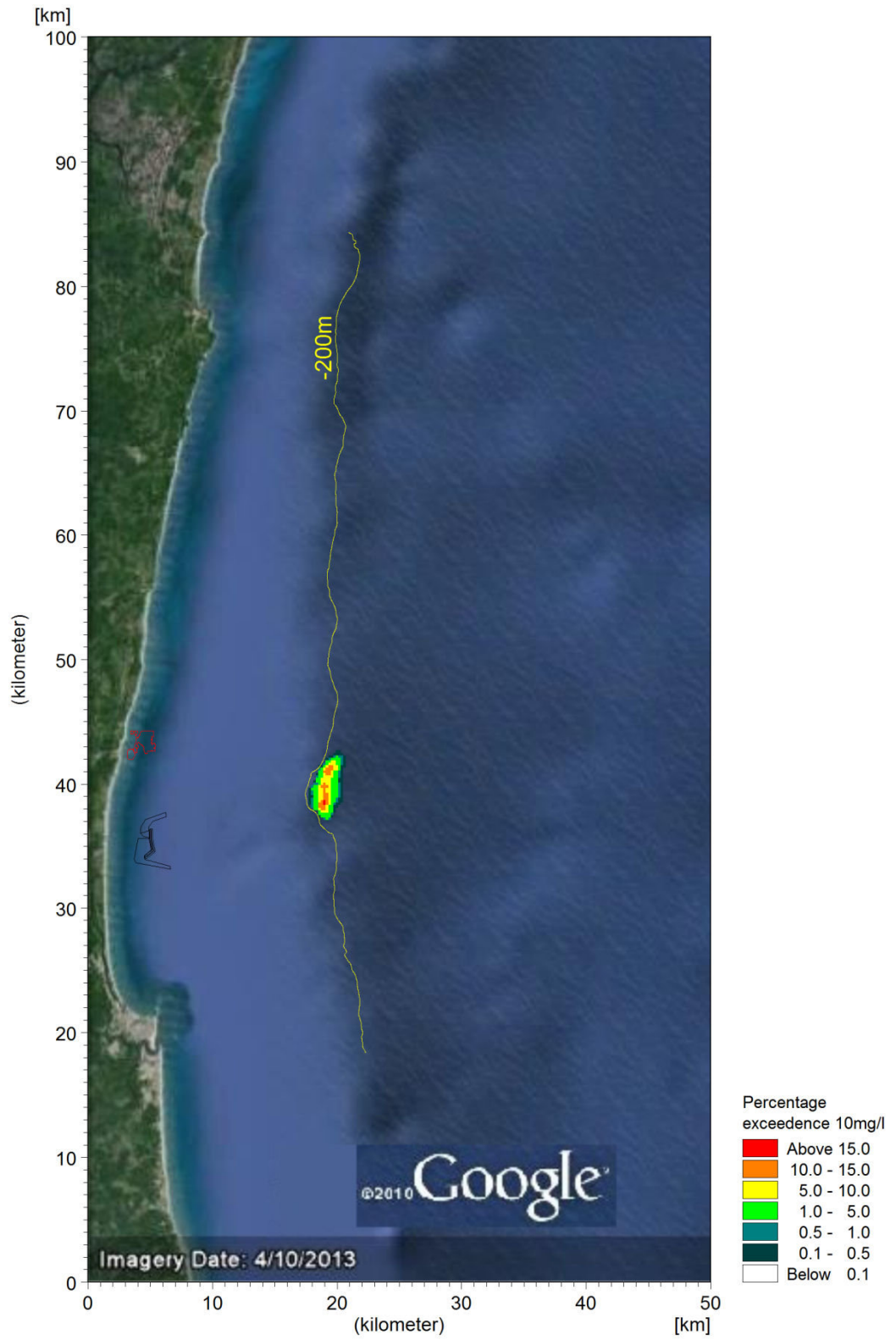


Figura 6-10: Percentagem de excedência de 10 mg/l (Inverno).

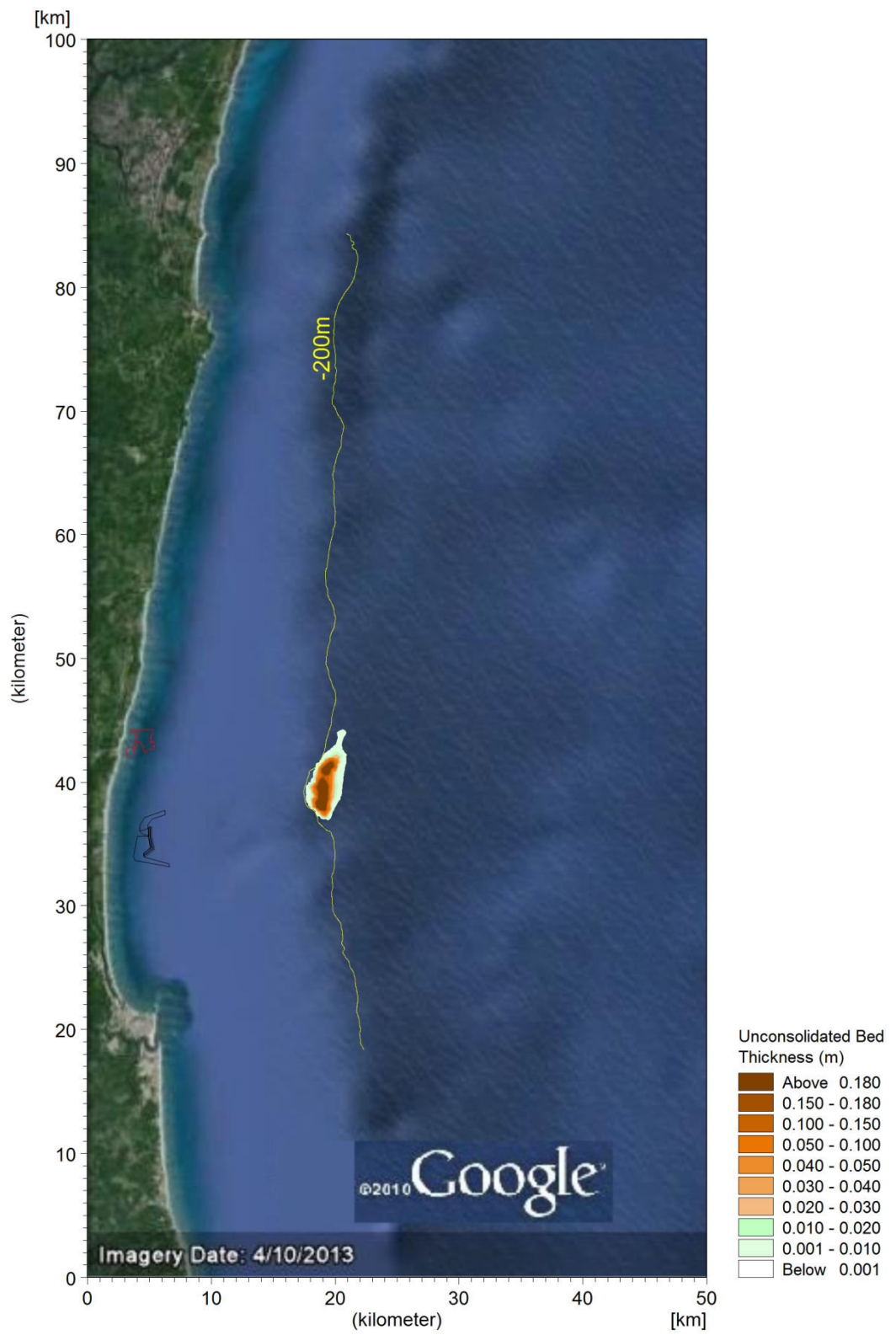


Figura 6-11: Depósito de sedimentos (Inverno).

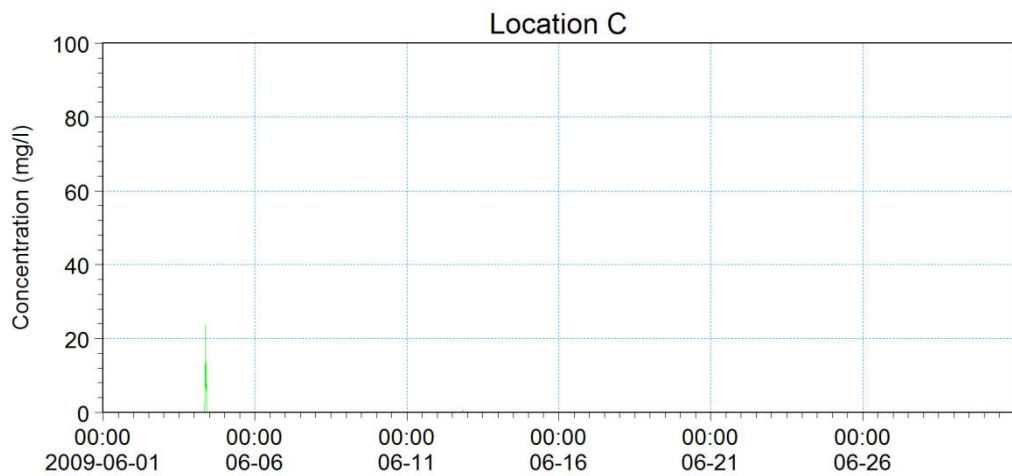
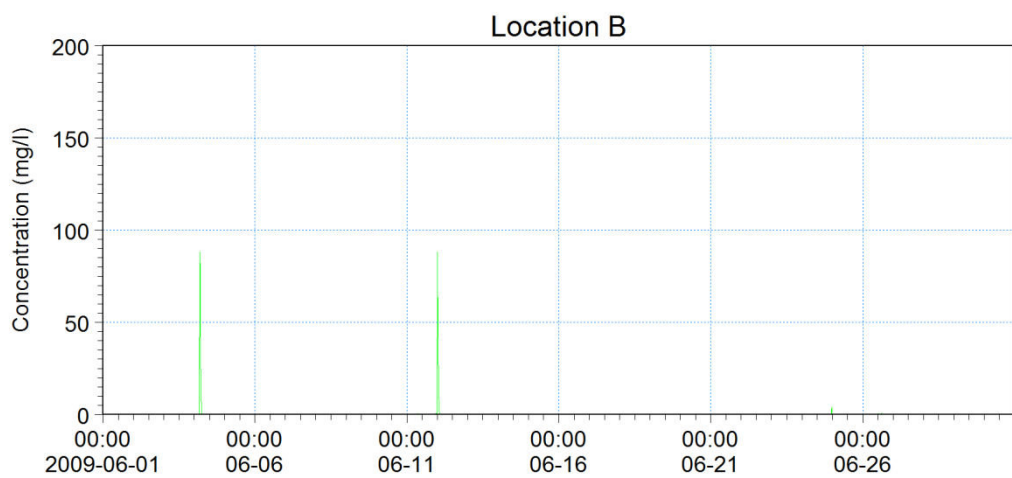
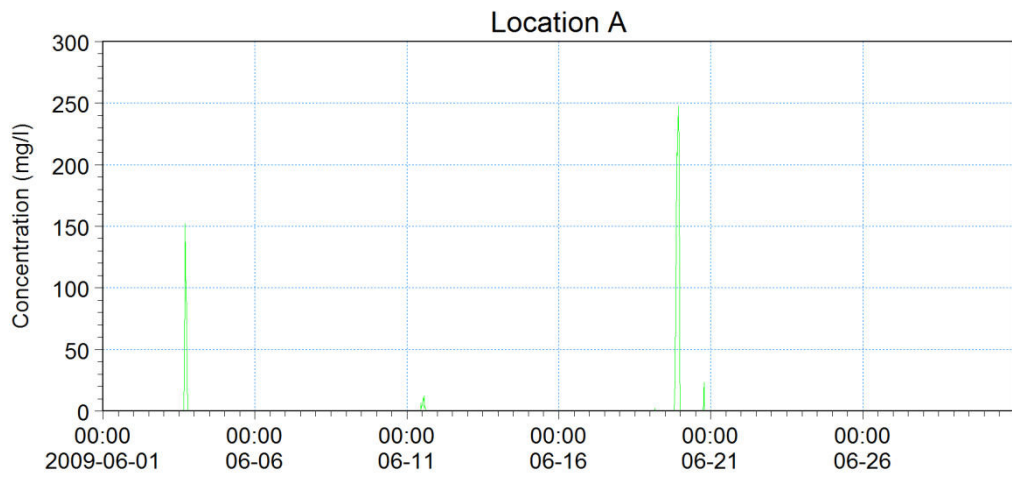


Figura 6-12: Série temporal de concentração de sedimentos (Inverno).

7.0 CONCLUSÕES

Os efeitos potenciais do descarte de sedimentos dragados num local com 500 m de profundidade para o projeto do Porto Sul foram avaliados em termos do excedente de concentração de sedimentos em suspensão (acima da concentração de *background* existente) e da deposição de sedimentos inconsolidados das plumas de descarte. Uma avaliação em separado deve ser realizada por especialistas em meio ambiente, de modo a determinar os efeitos potencialmente negativos sobre organismos sensíveis com base nas alterações previstas para o ambiente físico descritas neste relatório. O efeito geral da massa de sedimentos acumulados no fundo do mar também deverá ser considerado.

A dispersão de sedimentos finos foi realizada utilizando-se duas abordagens de modelagem. A primeira abordagem considerou o "descarte dinâmico" usando um modelo numérico 3D para simular os processos de campo próximo, associados ao descarte de material dragado numa pluma contendo um núcleo de alta densidade. A segunda abordagem considerou a dispersão dos sedimentos no campo afastado devida a processos costeiros utilizando uma abordagem de modelagem quasi-3D. As condições iniciais da modelagem no campo afastado foram extraídas dos resultados da modelagem de descarte dinâmico.

7.1 ESTUDO DE DESCARTE DINÂMICO

A URS, em conjunto com a HR Wallingford, conduziu estudos detalhados de modelagem para o núcleo de alta densidade gerado pelo material lançado pela draga Hopper. O estudo incluiu uma revisão técnica da configuração do modelo de dispersão passiva da pluma de sedimentos apresentado acima.

A modelagem considerou um lançamento rápido de sedimentos, a partir da draga autotransportadora (*hopper*), na forma de um núcleo de alta densidade de sedimentos no sentido de maximizar o volume de material que irá atingir o fundo do mar, que está situado a 500 m de profundidade. A HR Wallingford aplicou o SEDTRAIL-RW (3D) para simular o núcleo dinâmico de alta densidade gerado pelo lançamento de sedimentos a partir da draga no local de descarte.

Os resultados do modelo mostraram que, para uma draga com 10.000 m³ de capacidade, apenas 3% do material fino descartado atinge o fundo do mar, enquanto 96% do material fino restante mistura-se na parte inferior da coluna de água (145 m acima do fundo do mar). Esta pluma de sedimentos do campo próximo teve um raio previsto de 430 m sob condições típicas de correntes (velocidades máximas entre 0,2 e 0,4 m/s).

Com relação à deposição de sedimentos, a espessura do depósito inconsolidado resultante do descarte de 16,5 Mm³ é maior na vizinhança do local de descarte devido ao material que fica em suspensão e se deposita posteriormente no fundo do mar. A distribuição potencial de deposição no fundo do mar é semelhante ao padrão da pluma passiva. A espessura média do depósito inconsolidado no fundo do mar, acima de 2,0 m, deve ocorrer dentro de 2,0 km do local de descarte, embora este valor deva ser validado por meio de medições no local quando as operações de descarte se iniciarem. Além disso, não foram previstas acumulações significativas de sedimentos nos bancos de coral, ou nas praias, em virtude da atividade de dragagem e descarte.

7.2 ESTUDO DE DISPERSÃO (PASSIVA) DA PLUMA NO CAMPO AFASTADO

O modelo hidrodinâmico foi configurado para simular as correntes regionais e as elevações das marés. O modelo foi calibrado e validado em relação às medições de corrente obtidas

pelo ADCP e então, foi aplicado para simular as condições hidrodinâmicas que foram posteriormente utilizadas na modelagem das operações de descarte.

Uma abordagem de simulação quasi-3D foi considerada, na qual cada camada da coluna de água foi modelada separadamente e os resultados foram, então, reunidos para obter o resultado final do modelo. Esta abordagem foi necessária devido às diferentes profundidades de lançamento de sedimentos ao longo de toda a coluna de água. O modelo de batimetria também foi atualizado com novos dados batimétricos no local de descarte.

As simulações foram realizadas durante um período de 30 dias no local de descarte proposto, para proporcionar uma compreensão do transporte de sedimentos em suspensão, seu comportamento e a taxa de deposição.

O descarte de sedimentos realizado pelo fundo do casco da draga, numa profundidade de 500 m, gera acréscimos locais de concentração de sedimentos em suspensão ao longo do eixo das correntes dominantes. A extensão espacial da envoltória da pluma é mais sensível à velocidade e direção das correntes do que a encontrada nas atividades de dragagem *nearshore* apresentadas em URS Scott Wilson (2011). Os resultados para o inverno e verão mostraram algumas diferenças na orientação da pluma. A temporada de verão tende a gerar uma pluma orientada com a direção da corrente predominante, num eixo NE-SW associado a eventos de corrente rumo a norte. No inverno, as plumas ficaram predominantemente alinhadas paralelamente à linha de costa.

Durante os períodos de verão e inverno, as concentrações mais altas de sedimentos em suspensão na camada superficial estão abaixo de 40 mg/l. As concentrações elevadas (superiores a 100 mg/l) ocorrem nas camadas média e de fundo e são resultado de um período contínuo de descarte de sedimentos. Em geral, tanto as plumas de verão como as de inverno se estenderam por uma extensão espacial semelhante para sul (cerca de 4 km) devido às menores profundidades encontradas. Entretanto, as plumas de inverno percorrem uma distância maior, até 17 km ao norte, como resultado das correntes oceânicas fortes rumo ao norte no inverno e da maior profundidade nessa região.

Não há interação entre as plumas geradas pela atividade de dragagem no local previsto para o Porto Sul e o descarte *offshore*. Além disso, não houve efeito perceptível na região costeira.

7.3 COMPARAÇÕES ENTRE OS LOCAIS DE DESCARTE A 200 E 500 m

A URS Scott Wilson (2011) realizou uma simulação detalhada da dispersão da pluma de descarte numa lâmina de água de 200 m usando um modelo numérico com base numa abordagem 2D. Para o presente estudo, no qual o local de descarte foi deslocado para 500 m de profundidade, utilizou-se uma abordagem quase-3D. Os materiais foram lançados em quatro camadas da coluna de água de 500 m, sendo que três camadas estão localizadas na faixa de 145 m acima do fundo do mar. Cada camada foi configurada e modelada individualmente, e as contribuições de cada camada foram somadas para gerar uma pluma de descarte total. Quando são realizadas comparações entre os resultados dos descartes em 200 m e 500 m de lâmina de água, encontram-se as seguintes semelhanças e diferenças:

- O estudo do descarte em 200 m indicou que as envoltórias das plumas de sedimento estiveram alinhadas com o eixo das correntes dominantes na região, e as previsões de orientação da pluma são as mesmas. Durante o período de verão, a pluma principal apresentou orientação na direção de NE-SW, enquanto no inverno a pluma principal seguiu o eixo N-S. No presente estudo, no entanto, o alcance da pluma foi governado pela direção da corrente e pela batimetria (ver Figura 6-3).
- Os dois estudos sugerem que o comprimento da pluma norte é muito maior do que o comprimento da pluma sul como resultado de as correntes na direção norte serem predominantes e mais fortes.
- As dimensões das envoltórias das plumas máximas previstas no presente estudo, para o descarte em 500 m de profundidade, estão na mesma ordem de grandeza que os resultados para o descarte em 200 m de profundidade. A Tabela 7-1 apresenta uma comparação da extensão da pluma (10 mg/l) para os dois estudos.
- Embora as dimensões das plumas estejam na mesma ordem de grandeza dos locais de descarte em 200 m e 500 m, as concentrações em suspensão são consideravelmente maiores para o descarte de sedimentos a 500 m de profundidade. Por exemplo, a concentração de sedimentos em suspensão fica em torno de 10-40 mg/l cerca de 2 km a partir do local de descarte em 200 m, mas aumenta para 100-300 mg/l no local de descarte em 500 m.
- O efeito de deposição de sedimentos da pluma passiva não foi considerado no estudo anterior, dado que a maioria dos sedimentos se depositou no fundo do mar. No entanto, a pluma passiva foi a principal fonte de deposição no presente estudo, consistindo em 97% do volume total. O presente estudo mostrou que o grau de deposição seguiu o padrão da pluma passiva.

Tabela 7.1: Alcance máximo da envoltória de 10 mg/l da pluma (em km).

Estação		Camadas da Coluna de Água	
		Superfície	Fundo
URS Scott Wilson (2011)	Verão	6	21
	Inverno	10	15
Estudo Presente	Verão	4	21
	Inverno	1	9

Os níveis de concentração de sedimentos aumentaram na vizinhança do local de descarte quando o local de descarte foi transferido de 200 m a 500 m de profundidade. O descarte em águas mais profundas (em 500 m, em vez de 200 m do relatório anterior) causa uma mistura da pluma dinâmica significativamente maior, o que resulta numa proporção relativamente pequena da pluma (cerca de 3%) que chega ao fundo do mar. O restante se distribui principalmente na parte inferior da coluna de água, em 145 m acima do fundo. Este não foi o resultado do estudo anterior, no qual a maioria da pluma dinâmica (87%) atingiu o fundo do mar antes de se misturar e apenas 12% do material fino formou uma pluma passiva.

O presente estudo, realizado para o local de descarte a 500 m de profundidade, indicou um aumento significativo nos níveis de concentração na parte inferior da coluna de água, embora o tamanho da pluma definida pelo limite de 10 mg/l não tenha aumentado. O material lançado dentro dos 145 m acima do fundo do mar se deposita rapidamente e as dimensões espaciais das plumas são regidas tanto pela batimetria como pelas correntes locais. O estudo mostrou que as envoltórias principais da pluma estiveram confinadas a águas profundas ao largo (*offshore*), geralmente abaixo do contorno de 200 m, e não alcançaram o litoral. Nenhum efeito discernível em águas rasas foi identificado.

7.4 MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

É nosso entendimento que o local de descarte foi transferido de 200 m para 500 m com a finalidade de atender às preocupações dos pescadores sobre o impacto de plumas de descarte na atividade de pesca de espécies demersais e de peixes pelágicos, que se concentram em torno do contorno de profundidade de 200 m. Os resultados mostraram que apenas uma pequena proporção das plumas atingiu o contorno de 200 m de profundidade. Recomendamos que um plano de monitoramento e resposta seja cuidadosamente elaborado e implementado durante as operações de dragagem como medida de precaução.

São recomendadas as seguintes medidas:

- O acompanhamento contínuo da concentração local de sedimentos em suspensão deve ser continuado para se estabelecer o nível de *background* do ambiente a partir do qual se possa identificar rapidamente qualquer variação adversa derivada das atividades de dragagem.
- Antes do início das dragagens, um monitoramento e sistema de alerta deve ser implementado como parte do monitoramento ambiental.
- O monitoramento dos níveis de sedimentos em suspensão deve continuar durante todas as operações de dragagem. A metodologia de monitoramento ambiental poderá incluir boias automáticas, amostragem física, monitoramento remoto e observações visuais.

8.0

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bray, R.N., Bates, A.D., Land, J.M. (1997) Dredging a handbook for engineers- 2nd edition. Butterworth Heinemann, Oxford UK.
- Rogers, C.S. (1990) Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. Marine Ecology Progress Series Vol 62:185-202. April 5th.
- URS Scott Wilson (2011) EIA Technical Studies: Construction Effects (Siltation) - Dredge Dispersal (RL-4402-N-301).

APÊNDICES

A – Informações sobre os Modelos da DHI

B – Informações sobre os Modelos da HR Wallingford

APÊNDICE A – INFORMAÇÕES SOBRE OS MODELOS DA DHI

O Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3

O modelo hidrodinâmico Flow Model FM é um sistema completo de modelos, desenvolvido pela DHI, para realizar a modelagem de água em duas e três dimensões. Os modelos 2D e 3D trazem os mesmos nomes das clássicas versões de modelos da DHI MIKE 21 e MIKE 3, com um 'FM' adicionado referindo-se ao tipo de grade flexível do modelo (*Flexible Mesh*).

O sistema de modelagem foi desenvolvido para aplicações complexas em ambientes marinhos, costeiros e estuarinos. No entanto, sendo um sistema geral de modelagem de fluxos de superfície livre 2D e 3D, ele também pode ser aplicado em estudos de águas superficiais interiores, por exemplo, inundações, lagos ou reservatórios.

Figura 1. O Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 é um sistema geral de modelagem de fluxos hidrodinâmicos com base em um método de volumes finitos em uma grade não estruturada.

- Módulo Hidrodinâmico (*Hydrodynamic Module, HD*)
- Módulo de Transporte (*Transport Module, TR*)
- Módulo Ecologia (*Ecology Module, ECO Lab*)
- Módulo de Derramamento de Óleo (*Oil Spill Module, ELOS*)
- Módulo de Transporte de Areia (*Sand Transport Module, ST*)
- Módulo de Transporte de Lama (*Mud Transport Module, MT*)
- Módulo de Rastreamento de Partícula (*Particle Tracking Module, PT*)
- Módulo de Ondas (*Wave module, SW*)

A Série FM atende à crescente demanda por representações realistas da natureza, tanto no que diz respeito à "similaridade" como à sua capacidade de modelar processos acoplados, por exemplo, o acoplamento entre correntes, ondas e sedimentos. O acoplamento dos módulos é gerenciado no Modelo Acoplado FM.

Todos os módulos são auxiliados por interfaces avançadas, incluindo ferramentas eficientes e sofisticadas para a geração de grade, gerenciamento de dados, visualização 2D / 3D, etc. Em combinação com uma documentação completa e suporte técnico, a série FM forma uma incomparável ferramenta de software profissional para serviços de consultoria relacionados com as etapas de projeto, operação e manutenção dentro do ambiente marinho.

Uma grade não estruturada proporciona alto grau de flexibilidade na representação de geometrias complexas e permite a representação suave das fronteiras. Elementos pequenos podem ser utilizados em áreas onde é desejável mais detalhe, e elementos maiores utilizados onde é necessário menos detalhe, otimizando a informação para um determinado período de tempo computacional. A discretização espacial das equações governantes é realizada utilizando-se um método de volumes finitos centrados na célula. Utiliza-se uma grade não estruturada no plano horizontal enquanto uma grade estruturada é utilizada no domínio vertical (3D). Este documento fornece uma breve descrição do Módulo Hidrodinâmico incluído no Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3.

Figura 2. Exemplo de grade computacional para o Estuário de Tamar, UK.

Figura 3. O modelo Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 suporta coordenadas cartesianas e esféricas. As coordenadas esféricas são normalmente utilizadas em aplicações de circulação marinha regional e global. O gráfico mostra a grade computacional e a batimetria para o planeta Terra geradas pelo gerador de grade MIKE Zero.

Módulo Hidrodinâmico

O Módulo Hidrodinâmico fornece a base para os cálculos realizados em vários outros módulos, mas também pode ser utilizado isoladamente. Ele simula as variações do nível da água e as correntes em planícies de inundação, lagos, estuários e zonas costeiras em resposta a uma variedade de funções forçantes.

Áreas de Aplicação

O Módulo Hidrodinâmico Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 simula fluxos não estacionários tendo em consideração as variações de densidade, de batimetria e das forçantes externas.

A escolha entre a modelagem 2D e 3D depende de uma série de fatores. Por exemplo, em águas pouco profundas, os ventos e as correntes de maré são, muitas vezes, suficientes para manter a coluna de água bem misturada, ou seja, com salinidade e temperatura homogênea. Em tais casos, um modelo 2D pode ser utilizado. Em corpos de água com estratificação, seja por densidade ou por espécie (ecologia), um modelo 3D deve ser usado. Este é também o caso de corpos de água fechados ou semifechados, onde ocorre a circulação derivada do vento.

As áreas de aplicação típicas são:

- Avaliação das condições hidrográficas para o projeto, construção e operação de estruturas em águas estratificadas e não estratificadas
- Estudos de avaliação de impacto ambiental
- Estudos de circulação marinha e costeira
- Otimização de infraestruturas de portos e proteção costeira
- Hidrodinâmica de lagos e reservatórios
- Resfriamento de água, recirculação e dessalinização
- Inundações costeiras e tempestades
- Inundações interiores e modelagem de escoamento superficial
- Sistemas de previsão e alerta.

Figura 4. Exemplo de aplicação da maré global do Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3. Os resultados deste modelo podem ser usados como condições de contorno para modelos de previsão ou de hindcast de escala regional.

O Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 também suporta coordenadas esféricas, o que torna ambos os modelos apropriados para aplicações em mar numa escala global ou regional.

Figura 5. Exemplo de campo de correntes na baía de Tampa, Flórida, simuladas pelo MIKE 21 Flow Model FM.

Figura 6. Estudo de recirculação termal.

Figura 7. Aplicações típicas do Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 incluem recirculação de água de resfriamento e a análise de impactos ecológicos (eutrofização).

O Módulo Hidrodinâmico é utilizado em conjunto com o Módulo de Transporte (TR) para simular o espalhamento e o comportamento de substâncias dissolvidas e em suspensão. Esta combinação de módulos é aplicada nas simulações de traçadores, descargas e estudos simplificados de qualidade da água.

Figura 8. Simulação de traçadores com um único componente no Adriático usando o Flow Model FM HD+TR do MIKE 21.

O Módulo Hidrodinâmico pode ser acoplado ao módulo ecológico (ECO Lab) para formar a base de estudos ambientais de qualidade da água que compreendem vários componentes.

Além disso, o Módulo Hidrodinâmico pode ser acoplado a modelos sedimentares para o cálculo de transporte de sedimentos. O Módulo de Transporte de Areia e o de Transporte de Lama podem ser aplicados para simular o transporte de sedimentos coesivos e não coesivos, respectivamente.

Na região costeira, o transporte é determinado principalmente pelas condições de ondas e pelas correntes derivadas das ondas. As correntes derivadas das ondas são geradas por gradientes de tensão de radiação que ocorrem na zona de surfe. O Módulo Espectral de Ondas pode ser usado para calcular as condições de ondas e as tensões de radiação associadas.

Figura 9. Previsão do comportamento de ecossistema usando o Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 em conjunto com o ECO Lab.

Figura 10. Batimetria do modelo para a baía de Taravao, Taiti.

Figura 11. Aplicação costeira (morfologia) utilizando os modelos acoplados HD, SW e ST do MIKE 21 no Porto de Torsminde, Dinamarca.

Figura 12: Exemplo de correntes transversais ao recife na baía de Taravao, Taiti, simuladas com o Flow Model FM do MIKE 3. A circulação e a renovação de água dentro do recife dependem das marés, das condições meteorológicas e das correntes transversais ao recife e, portanto, o modelo de circulação inclui efeitos de correntes induzidas pelas ondas no recife.

Características Computacionais

As principais características e efeitos considerados nas simulações com o Módulo Hidrodinâmico Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 são os seguintes:

- Dispersão de momentum
- Tensão de cisalhamento do fundo
- Força de Coriolis
- Tensão de cisalhamento do vento
- Gradientes de pressão barométrica
- Cobertura de gelo
- Alagamento e secagem
- Potencial de maré
- Precipitação/evaporação

- Tensão de radiação de ondas
- Fontes e sumidouros.

Equações do Modelo

O sistema de modelagem é baseado na solução numérica das equações de Navier-Stokes em duas/três dimensões para fluidos incompressíveis de Reynolds, sujeitas aos pressupostos de Boussinesq e da pressão hidrostática. Assim, o modelo consiste nas equações da continuidade, quantidade de movimento, temperatura, salinidade e densidade e é fechado por um esquema turbulento. A densidade não depende da pressão, mas somente da temperatura e da salinidade.

Para o modelo 3D, considera-se a superfície livre através de uma aproximação de transformação da coordenada sigma ou se utiliza uma combinação do sistema de coordenadas de nível 'z' e sigma.

Abaixo, as equações governantes são apresentadas usando coordenadas cartesianas.

A equação de continuidade local é escrita como:

Equação 1

E as duas equações de momentum horizontal para as componentes x e y são, respectivamente:

Equações 2

No Módulo Hidrodinâmico, os cálculos de transporte de temperatura 'T' e salinidade 's' seguem as equações gerais de transporte de difusão como:

Equações 3

Figura 13. A técnica de grade não estruturada dá o máximo grau de flexibilidade, por exemplo: 1) O controle da distribuição dos nós permite uma utilização ótima desses nós 2) A adoção de resolução da grade para as escalas físicas relevantes 3) A grade adapta-se à profundidade e se ajusta às fronteiras. Abaixo é mostrado um exemplo da baía de Ho, Dinamarca, com o canal de aproximação do Porto de Esbjerg.

Os termos de difusão horizontal são definidos por

Equação 4

As equações para o fluxo bidimensional são obtidas pela integração das equações ao longo da profundidade.

A troca de calor com a atmosfera também é incluída.

Tabela de Símbolos

Técnica de Solução

A discretização espacial das equações primitivas é realizada utilizando um método de volume finito centrado na célula. O domínio espacial é discretizado por subdivisão do *continuum* em elementos/células não sobrepostos.

Figura 14. Princípio da grade 3D

No plano horizontal utiliza-se uma grade não estruturada, enquanto uma grade estruturada é utilizada no domínio vertical do modelo 3D. No modelo 2D, os elementos podem ser triângulos ou elementos quadriláteros. No modelo 3D, os elementos podem ser prismas ou tijolos, com faces horizontais triangulares ou quadrilaterais, respectivamente.

Entradas do Modelo

Os dados de entrada podem ser divididos nos seguintes grupos:

Parâmetros de tempo e domínio:

- Grade computacional (o tipo de coordenadas é definido no arquivo da grade computacional) e batimetria
- Duração da simulação e passo de tempo global

Fatores de calibração

- Resistência do fundo
- Coeficientes de dispersão
- Fatores de atrito do vento

Condições iniciais

- Nível da superfície da água
- Componentes de velocidade

Condições de contorno

- Fechadas
- Nível de água
- Descarga

Outras forças motrizes

- Velocidade e direção do vento
- Maré
- Fontes /Sumidouros
- Tensões de radiação de onda

Figura 15. Visão dos botões das GUIs no FMHD do MIKE 21 e MIKE 3 para visualização gráfica dos arquivos de entrada e de saída.

Figura 16. O gerador de grade é uma ferramenta eficiente do MIKE Zero para a produção e manipulação de grades não estruturadas, incluindo a definição e edição de fronteiras.

Provisionar o Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 com uma grade adequada é essencial para a obtenção de resultados confiáveis a partir dos modelos. Configurar a grade inclui a seleção adequada da área a ser modelada, a resolução adequada da batimetria, correntes, ventos e campos de onda e a definição das fronteiras.

Figura 17. Visualização 2D de uma malha computacional (estuário do Odense).

Valores batimétricos para a geração de grade podem, por exemplo, ser obtidos para o MIKE a partir do MIKE C-Map da DHI. O MIKE C-Map é uma ferramenta eficiente para extrair dados de profundidade e de elevação das marés a partir da *Electronic Chart Database CM-93 Edition 3.0* da *Jeppesen Norway*.

Figura 18. Visualização 3D de uma grade computacional.

Se os dados de vento não estão disponíveis a partir de um modelo meteorológico da atmosfera, os campos de vento (por exemplo, ciclones) podem ser determinados usando os programas de geração de vento disponíveis no MIKE 21 Toolbox.

Ventos globais (pressão e dados de vento) podem ser baixados para uso imediato na sua simulação. A fonte de dados é o GFS, cortesia do NCEP, NOAA. Ao especificar a localização, orientação e dimensões da grade, os dados são enviados ao cliente no formato correto como séries de grades espaciais ou séries temporais. O link é:

www.mikebydhi.com/Download/DocumentsAndTools/Tools/AvailableData.aspx

Figura 19. O gráfico mostra um campo de ventos de hindcast no Mar do Norte e Mar Báltico com velocidade e direção de vento.

Saídas do modelo

Os resultados de saída (*output*) calculados em cada elemento da grade e para cada passo de tempo consistem em:

Variáveis básicas

- Profundidade da água e superfície de elevação
- Densidades de fluxo nas direções principais
- Velocidades nas direções principais
- Densidades, temperaturas e salinidades

Variáveis adicionais

- Velocidade e direção das correntes
- Velocidades do vento
- Pressão do ar
- Coeficiente de arrasto
- Precipitação/evaporação
- Número de Courant/CFL
- Viscosidade dinâmica
- Área/volume do elemento.

Os resultados de saída podem ser salvos em pontos definidos, linhas e áreas. No caso de cálculos 3D, os resultados podem ser salvos em camadas selecionadas.

A saída do Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 é pós-processada tipicamente usando o *Data Viewer* (Visualizador de Dados), disponível nas janelas do MIKE Zero. O Data Viewer é uma ferramenta para análise e visualização de dados não estruturados, como, por exemplo, para ver as grades, espectros, batimetrias, arquivos de resultados de formato diferente com extração

gráfica de séries temporais e séries em linha vista em planta e importação de sobreposições gráficas.

Figura 20. O Data Viewer do MIKE Zero - uma ferramenta eficiente para análise e visualização de dados não estruturados, incluindo o processamento de animações. A resultado na tela acima mostra elevações da superfície a partir da configuração do modelo para Porto de Copenhagen.

Figura 21. Gráfico dos vetores e contornos da velocidade de corrente num perfil vertical definido ao longo de uma linha no Data Viewer do MIKE Zero.

Validação

Antes da primeira versão do Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3, o modelo já tinha sido aplicado com sucesso a uma série de situações idealizadas básicas cujos resultados puderam ser comparados a soluções analíticas ou a informações provenientes da literatura.

Figura 22. O domínio é um canal contendo um ressalto na forma de parábola situada no meio do canal. A fronteira de montante (oeste) é um fluxo constante e a fronteira a jusante (leste) é uma elevação constante. Abaixo: Elevação da superfície para o salto hidráulico estacionário na convergência. Linha vermelha: configuração 2D; linha verde: configuração 3D; linha preta: solução analítica.

Figura 23. Fluxo de rompimento de barragem num canal com formato em L (a, b, c):

- a) Configuração do modelo mostrando os pontos de medição*
- b) Comparação entre os níveis de água simulados e medidos nos 6 pontos. Azul = grade grosseira, preto = grade fina, vermelho = medições.*
- c) Mapa de contornos da elevação da superfície em $T=1,6$ s (em cima) e $T=4,8$ s (em baixo).*

O modelo tem sido aplicado e testado em várias condições geofísicas naturais, escala oceânica, plataformas internas, lagos e corpos terrestres que são mais realistas e complicados que os testes acadêmicos ou de laboratório.

Figura 24. Exemplo da baía de Ho, um estuário dominado pelas marés (costa de ilha-barreira) no sudoeste da Dinamarca com acesso ao Porto de Esbjerg. Abaixo: Comparação entre os níveis de água medidos e simulados.

Figura 25. Interface do Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 (Módulo Hidrodinâmico), incluindo um exemplo do extenso sistema de ajuda online.

Interface de Gráfica (GUI)

O Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 é operacionalizado através de uma interface gráfica completamente integrada no Windows. O suporte técnico é fornecido em cada etapa por um sistema de ajuda online.

A interface MIKE Zero permite a entrada dos tipos mais comuns de arquivos de dados e possui facilidades gráficas e outras utilidades, tal como o Mesh Generator (gerador de grade) e o Data Viewer (visualizador de dados).

Figura 26. Visão global das utilidades do MIKE Zero.

Paralelização

Os motores computacionais das séries do MIKE 21/3 FM estão disponíveis em versões que têm sido paralelizadas usando tanto a memória compartilhada (OpenMP) como a arquitetura de memória distribuída (MPI). O resultado são simulações bem mais rápidas em sistemas com vários cores.

Figura 27. Aumento de velocidade usando PCs multicore com arquitetura de memória distribuída (azul) e o MIKE 21/3 versão 2011, e com a arquitetura de memória compartilhada (verde) e o MIKE 21/3 versão 2009.

Hardware e Sistema Operacional

O Módulo Hidrodinâmico Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 suporta Microsoft Windows XP, Vista, 7 e 8, em 32 ou 64 bits. O Microsoft Internet Explorer 6 ou superior é necessário para o gerenciamento da licença assim como o acesso da ajuda online.

Os requisitos mínimos de hardware recomendados para a execução de Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 são:

Processador	3 GHz PC (ou superior)
Memória (RAM)	4 GB (ou superior)
Disco Rígido	160GB (ou superior)
Monitor	SVGA, resolução 1024x768
Placa Gráfica	32 MB RAM (ou superior), 32 bit true colour
Mídia	Unidade de CD/DVD, com velocidade de 20x ou maior

Suporte

Notícias sobre novos recursos, aplicativos, documentos, atualizações, etc. estão disponíveis em: www.mikebydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx

Para mais informações sobre o Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3, entre em contato com o escritório DHI local ou o Centro de Suporte de Software:

MIKE por DHI

DHI
Agern Allé 5
DK - 2970 Hørsholm
Dinamarca

Tel: +45 4516 9333
Fax: +45 4516 9292
www.mikebydhi.com
mikebydhi@dhigroup.com

Documentação

O Flow Model FM do MIKE 21 e MIKE 3 é fornecido com manuais detalhados de usuário, ajuda on-line, documentação científica, exemplos de aplicações e exemplos de treinamento passo a passo.

Referências

Petersen, N.H., Rasch, P. "Modelling of the Asian Tsunami off the Coast of Northern Sumatra", presented at the 3rd Asia-Pacific DHI Software Conference in Kuala Lumpur, Malaysia, 21-22 February, 2005.

French, B. and Kerper, D. Salinity Control as a Mitigation Strategy for Habitat Improvement of Impacted Estuaries. 7th Annual EPA Wetlands Workshop, NJ, USA 2004. DHI Note, "Flood Plain Modelling using unstructured Finite Volume Technique" January 2004 – download de www.mikebydhi.com/Download/DocumentsAndTools/PapersAndDocs/Hydrodynamics.aspx

DHI Note, "Flood Plain Modelling using unstructured Finite Volume Technique" January 2004 – download from:

www.mikebydhi.com/Download/DocumentsAndTools/PapersAndDocs/Hydrodynamics.aspx

APÊNDICE B – INFORMAÇÕES SOBRE OS MODELOS DA HR WALLINGFORD



Consultoria Técnica

**ESTUDOS TÉCNICOS PARA O EIA: EFEITOS
CONSTRUTIVOS (SILTAÇÃO) E DISPERSÃO
DE DRAGAGEM**

Cliente:

Bahia Mineração

OceanoDigital

1. Escopo

O serviço de consultoria abrangeu a tradução formal e técnica do relatório de modelagem numérica “EIA TECHNICAL STUDIES: CONSTRUCTION EFFECTS (SILTATION) - DREDGE DISPERSAL”, produzido pela URS para a Bahia Mineração. A tradução da língua inglesa para a língua portuguesa foi realizada por profissionais da área de modelagem numérica e o texto foi para revisão final por uma especialista em língua portuguesa.

O relatório traduzido e revisado, no seu formato original, segue anexo a este documento de apresentação da equipe técnica.

2. Equipe Técnica

RESPONSÁVEIS PELA TRADUÇÃO TÉCNICA

Alexandre Braga Coli
[Oceanógrafo, PhD em Engenharia Costeira]

Sandra Fachin
[Oceanógrafa, MSc em Geologia Marinha]

REVISÃO DE LÍNGUA PORTUGUESA

Iolanda Melo Brasil Aguiar
[Licenciada em Letras, Especialista em Língua Portuguesa]

3. Contato

Alexandre Braga Coli
E-mail: alexandre.braga@oceanodigital.com.br

Oceano Digital
Rua Misael Pedreira da Silva, 70, Sala 610, Edifício Medical Center
CEP 29.056-230, Santa Lúcia, Vitória, ES
Telefone: (27) 3034-8485
E-mail: contato@oceanodigital.com.br