


**MODELAGEM DA CIRCULAÇÃO E  
AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE  
POTENCIAL DE SEDIMENTOS NO  
CANAL DE SÃO SEBASTIÃO, SP**

**- RELATÓRIO nº 3 -**

**Versão 0.0**

**Setembro 2009**

 <b>FUNDESPA</b> Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas	<b>RELATÓRIO nº 3</b>
	<b>Versão 0.0</b>
	<b>MODELAGEM DA CIRCULAÇÃO E DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO CANAL DE SÃO SEBASTIÃO, SP</b>
	<b>Nº de páginas: 41</b>
	<b>Pessoa para contato</b>
<b>Elcio Patti Junior</b>	<b>e-mail</b> <a href="mailto:elcio@fundespa.org.br">elcio@fundespa.org.br</a>
	<b>telefone</b> <b>(11) 38162737</b>

Revisão	Status de revisões
0	Original
1	Consideração apenas da situação hidrodinâmica atual, sem efeito do aterramento do Araçá.

	ORIGINAL	Rev. A	Rev. B	Rev. C	Rev. D	Rev. E	Rev. F	Rev. G
DATA	JUN2009	RCF						
EXECUÇÃO	RCF							
VERIFICAÇÃO	AFP/BMC							
APROVAÇÃO	AFP							

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	4
2. Circulação no Canal de São Sebastião .....	5
3. Modelagem Numérica .....	8
3.1. Modelos Numéricos.....	8
3.2. Grade Numérica.....	9
4. Cenários Simulados e Dados Utilizados .....	13
5. Resultados do Modelo Hidrodinâmico .....	14
6. Avaliação do Transporte Potencial de Sedimentos .....	20
7. Sumário Executivo .....	24
Referências Bibliográficas .....	25
A N E X O.....	28

## 1. Introdução

O Canal de São Sebastião (CSS) está situado na Plataforma Continental Norte de São Paulo, entre o município de São Sebastião e a Ilha de São Sebastião (Figura 1.1). Tem quase 22 km de comprimento e uma configuração encurvada, com o eixo orientado para NE na parte sul e para N na outra extremidade. A largura do canal é maior nas duas entradas (7,2 km e 5,6 km no norte e no sul, respectivamente) e menor na parte central (1,9 km). Dentro do canal, há um conduto com profundidades maiores do que 20 m (profundidade máxima igual a 45 m), denominado canal de navegação, deslocado para o lado insular (Castro *et al.*, 2008). As profundidades neste canal são sempre maiores do que 20 m. Entretanto, a isóbata de 20 m fecha-se na parte norte do CSS, indicando que a plataforma continental imediatamente adjacente às entradas do CSS é mais rasa ao norte do que ao sul. Taludes topográficos abruptos, transversais ao canal, marcam a transição entre as regiões mais rasas nas margens e o canal de navegação.

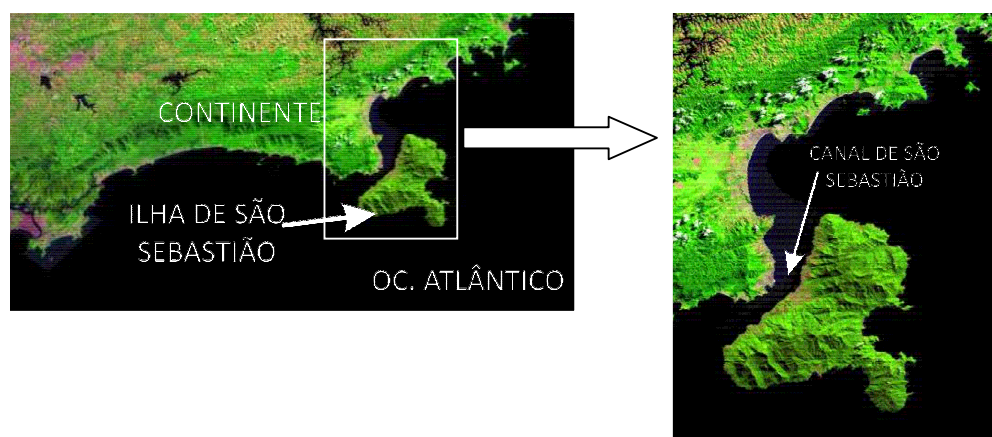


Figura 1.1: Localização do Canal de São Sebastião. Fonte: Miranda & Coutinho (2004).

No CSS, estão instalados o Porto DERSA-São Sebastião e o Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR), sendo este último especializado na carga e descarga de granéis líquidos (petróleo e derivados), de propriedade da PETROBRÁS e por ela operado. Com o objetivo de redirecionar o uso do Porto de São Sebastião, potencializando suas facilidades e atendendo uma importante parcela da demanda regional de cargas, o Governo do Estado de São Paulo iniciou em 2003 o projeto de ampliação e de melhoria das instalações. Dentre as obras a serem ainda realizadas

estão: a construção de um novo píer, a construção de uma nova ponte de acesso em "L", com estrutura para receber mais dois berços para atracação de navios, aterramento da Enseada do Araçá para extensão das instalações portuárias e dragagem do canal com aumento do calado, que passará de 8,5 metros para 14 metros.

Este trabalho faz parte dos estudos necessários para obtenção da Licença Ambiental para que as obras acima citadas possam ser executadas. Os objetivos principais são:

- ① simular as correntes no CSS, considerando a linha de costa e batimetria atuais do canal;
- ② avaliar as condições atuais do transporte de sedimentos;
- ③ preparar o modelo numérico para os próximos estudos de transporte de sedimentos, necessários tanto para operações de dragagem no CSS quanto para a definição do local apropriado para disposição dos sedimentos dragados.

Assim, o presente relatório está organizado da seguinte forma: na Seção 2, uma descrição da circulação no CSS é feita baseada na literatura; na Seção 3, o modelo matemático numérico utilizado nos experimentos hidrodinâmicos é descrito, bem como as grades numéricas empregadas neste estudo. Os dados utilizados para inicialização, forçamento e condições de contorno dos modelos são apresentados na Seção 4, assim como os cenários modelados. Os resultados das simulações hidrodinâmicas são descritos na Seção 5. A Seção 6 apresenta os resultados da avaliação do transporte potencial de sedimentos. Finalmente, na Seção 7, um sumário executivo dos principais resultados obtidos é apresentado.

## 2. Circulação no Canal de São Sebastião

As correntes no CSS se devem fundamentalmente ao vento, sendo as correntes de maré comparativamente desprezíveis em termos energéticos (Kvinge, 1967; Castro 1990; Miranda & Castro, 1995; Fontes, 1995; Silva 1995; Pereira *et al.*, 2007). A baixa amplitude das correntes de maré ( $O(1 \text{ cm s}^{-1})$ ) deve-se ao fato da onda semi-diurna de

maré, propagando-se de E-SE, atingir ambas extremidades do canal quase ao mesmo tempo, resultando num transporte de maré insignificante (Emilsson, 1962; Fontes, 1995; Pereira *et al.*, 2007). Apesar da intensidade das correntes de maré ser desprezível no CSS, o nível do mar é dominado pela oscilação da maré (Castro, 1990).

Os ventos dominantes na região, provenientes de NE, impulsionam correntes longitudinais ao canal com sentido SW. Os ventos oriundos de SW, geralmente associados à passagem dos sistemas meteorológicos frontais, forçam correntes longitudinais com sentido NE. Durante a maior parte do ano, as correntes no CSS apresentam pequeno cisalhamento vertical, sendo essencialmente barotrópicas. Apenas durante o final da primavera e o verão são observados eventos em que as correntes comportam-se como o primeiro modo baroclínico. Nessa situação, as correntes apresentam-se fluindo num sentido na camada superficial e no sentido oposto na camada inferior (Miranda & Castro, 1995; Fontes, 1995; Coelho, 1997).

A análise de dados correntográficos de três fundeios simultâneos no CSS (Figura 2.1) indicou que as correntes apresentam variações sazonais marcantes, embora em determinadas épocas do ano as correntes possam apresentar características bimodais (Fontes, 1995). Durante o verão, as correntes na camada situada acima da pycnoclina fluem predominantemente para SW, sob influência direta do vento: no ponto C2, 46% do tempo as correntes fluíram para SW, com intensidade média de  $0,30 \text{ m s}^{-1}$ , e em 39% do período amostrado, as correntes fluíram para NE, tendo intensidade média de  $0,24 \text{ m s}^{-1}$ . Já durante o inverno, os eventos com sentido NE ocorreram em 76% do tempo, tendo velocidade média de  $0,40 \text{ m s}^{-1}$ , enquanto que aqueles com sentido SW ocuparam 12% do tempo e tiveram velocidade média de  $0,24 \text{ m s}^{-1}$ . Assim, durante o inverno os eventos que apresentam correntes fluindo para NE são mais freqüentes e mais intensos do que no verão; os eventos com correntes fluindo para SW, por outro lado, são mais freqüentes e mais intensos durante o verão. A liderança do vento sobre as correntes varia entre 10 e 20 h (Castro *et al.*, 2008).

Durante o verão e a primavera, uma circulação típica do primeiro modo baroclínico foi observada com freqüência na parte sul do CSS. Nessa situação, o alto cisalhamento vertical das correntes é caracterizado por correntes superficiais para SW, com intensidades atingindo até  $1,00 \text{ m s}^{-1}$ , e correntes profundas para NE forçadas baroclinicamente pelas intrusões da Água Central do Atlântico Sul a partir da extremidade sul do CSS.

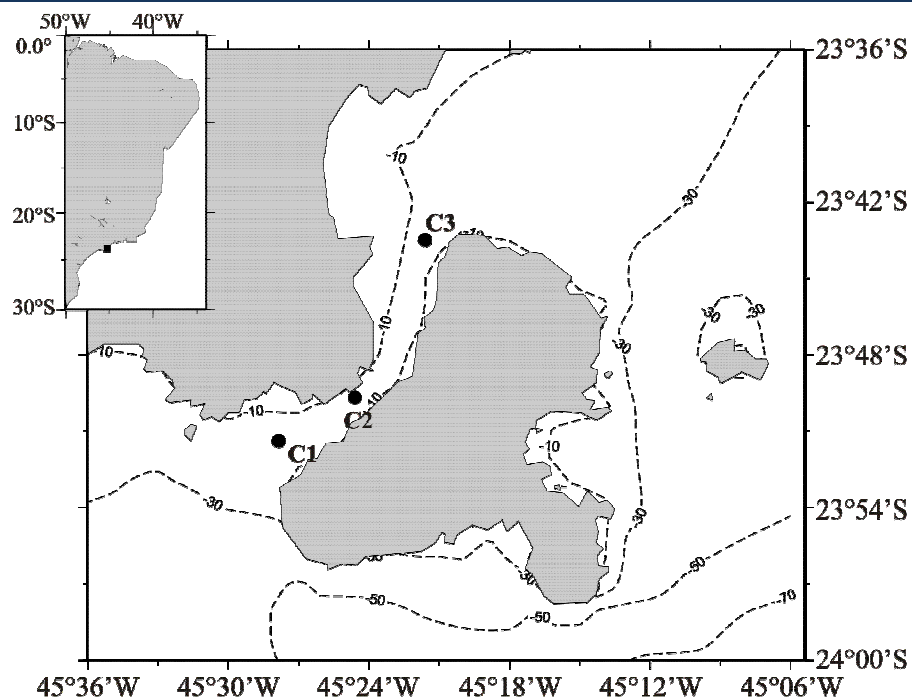


Figura 2.1 – Localização dos pontos C1, C2 e C3.

### 3. Modelagem Numérica

#### 3.1. Modelos Numéricos

Os modelos empregados nesse estudo são o *Estuarine and Coastal Ocean Model* (ECOM, HydroQual Inc. (2002)) e o TRANPOR2004 (Walstra *et al.*, 2004; Rijn, 2006). Enquanto ECOM é um modelo tridimensional hidrodinâmico para aplicação em ambientes marinhos, estuarinos e de água doce, sendo derivado do consagrado *Princeton Ocean Model* (POM, Blumberg & Mellor, 1987), TRANPOR2004 é um modelo que simula o transporte total de sedimentos.

ECOM é um modelo de simulação multidimensional que calcula escoamentos e transportes não-estacionários forçados por descargas fluviais, marés e processos meteorológicos em regiões oceânicas, costeiras, estuarinas e rios. Emprega uma grade horizontal curvilínea, facilmente ajustada aos contornos sólidos da região modelada, facilitando o ajuste a margens de rios, por exemplo. Suporta, como coordenadas verticais, a transformação conhecida na literatura por *sigma*, resultando numa representação suave da topografia de fundo. Utiliza o esquema de fechamento turbulento Mellor-Yamada Nível 2.5 (Mellor & Yamada, 1982) e é totalmente não linear, inclusive, nas parametrizações dos atritos superficiais e de fundo. No modelo estão discretizadas as equações de conservação de massa e de momentum, bem como de condução de calor e de difusão de sal. O sistema de equações é fechado por uma versão da equação de estado que é função da temperatura, da salinidade e da pressão.

O modelo de transporte de sedimentos utiliza as condições hidrodinâmicas (velocidades, elevação da superfície livre, densidade, salinidade, quando aplicável, temperatura, viscosidade e difusividade turbulentas) calculadas pelo modelo hidrodinâmico na mesma grade de diferenças finitas. TRANSPOR2004 integra as equações do movimento para as partículas de sedimento em suspensão e de fundo, considerando sua classe e distribuição granulométrica.

Os modelos ECOM e TRANSPOR2004 têm sido utilizados em vários estudos de transporte de sedimentos, incluindo:

- ④ Rio Pawtuxet em Rhode Island, EUA (Ziegler & Nisbet, 1994);
- ④ Reservatório Watts Bar, em Tennessee, EUA (Ziegler & Nisbet, 1995);
- ④ Costa holandesa, Mar do Norte (Tonnon *et al.*, 2007);
- ④ Lavaca Bay, em Texas (HydroQual, Inc., 1998), e
- ④ Green Bay, em Wisconsin, EUA (Shrestha *et al.*, 2000).

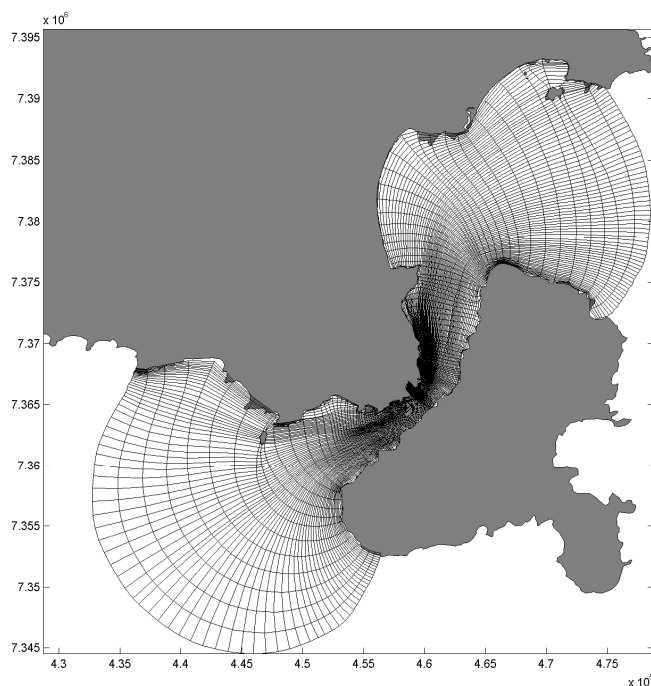


No Brasil, a FUNDESPA e seus parceiros já empregaram esses modelos em vários estudos e projetos, dentre eles:

- ④ Simulação de operações de dragagem, considerando lançamentos sistemáticos de material dragado no Canal de Piaçaguera (SP);
- ④ Avaliação das alterações das condições hidrodinâmicas e erosivas do canal de acesso ao Porto de Santos, provocadas pela instalação do terminal portuário da Embraport;
- ④ Simulação dos efeitos de espigões para recomposição das margens do Rio São Francisco;
- ④ Estudo da dispersão de sedimentos contaminados no trecho de Rio São Francisco entre Três Maria e Abaeté (MG).

### **3.2. Grade Numérica**

A área modelada abrange todo CSS (Figura 3.1). Para esta área, uma grade numérica foi desenvolvida para emprego no modelo numérico, contendo 110 e 185 pontos nas direções transversal e normal ao canal, respectivamente. Esta grade será denominada Grade I neste relatório. A grade computacional é curvilínea, aumentando a eficiência computacional, pois com um número reduzido de elementos consegue-se representar as reentrâncias da linha de costa de maneira adequada.

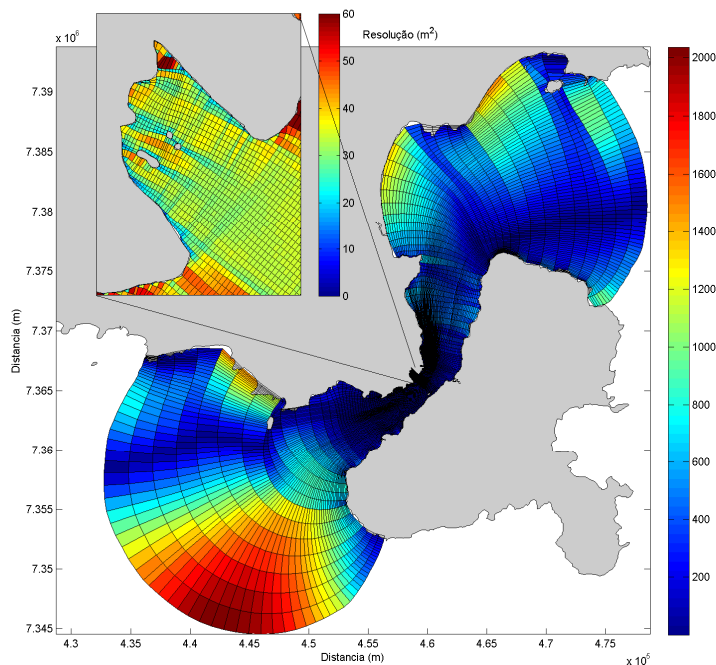


**Figura 3.1 – Grade computacional (Grade I) empregada pelo modelo numérico. As coordenadas geográficas estão em UTM (m), zona 23S.**

A resolução horizontal da grade está ilustrada na Figura 3.2, variando entre 20 m<sup>2</sup> na Enseada do Araçá e 2000 m<sup>2</sup> próximo à borda sul do domínio. Como a grade é tridimensional, especifica-se também a resolução vertical em cada célula, utilizando o conceito de coordenada  $\sigma$ , como visto na tabela abaixo:

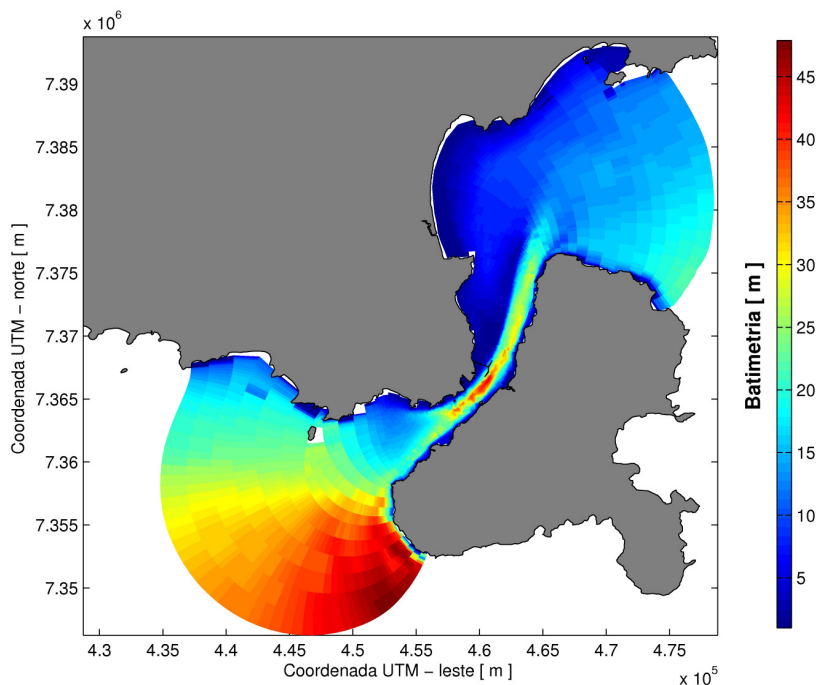
Nível	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prof. ( $\sigma$ )	-0.02	-0.06	-0.14	-0.28	-0.50	-0.72	-0.86	-0.94	-0.98	-1.0

A transformação da coordenada vertical cartesiana ( $z$ , em metros) para a coordenada  $\sigma$  (adimensional) é feita dividindo os valores de  $z$  pela profundidade local, em cada elemento da grade. Desse modo, e pelas mesmas razões para o uso da grade curvilínea, consegue-se obter uma boa resolução vertical, principalmente no interior das camadas-limite superficial e de fundo.

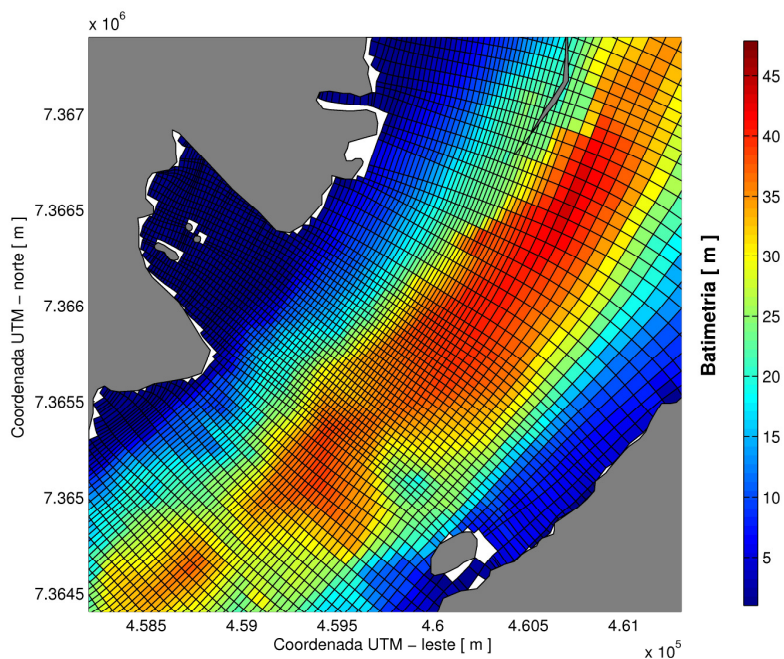


**Figura 3.2 - Resolução horizontal ( $m^2$ ) dos elementos da Grade I. No detalhe, a resolução ( $m^2$ ) dentro da Enseada do Araçá. As coordenadas geográficas estão em UTM (m), zona 23S.**

As Figuras 3.3 e 3.4 mostram a batimetria do trecho estudado, interpolada na grade de diferenças finitas. As menores profundidades (mínima de 1,5 m) estão localizadas próximo às margens do CSS, enquanto que as maiores (máxima de 45 m) estão localizadas no centro do CSS e, também, a sudoeste da Ilha de São Sebastião, já na Plataforma Continental.



**Figura 3.3 - Batimetria interpolada à Grade I para uso no modelo numérico. As coordenadas geográficas estão em UTM (m), zona 23S.**



**Figura 3.4 – Detalhamento da batimetria na região onde as obras serão realizadas. As coordenadas geográficas estão em UTM (m), zona 23S.**

#### 4. Cenários Simulados e Dados Utilizados

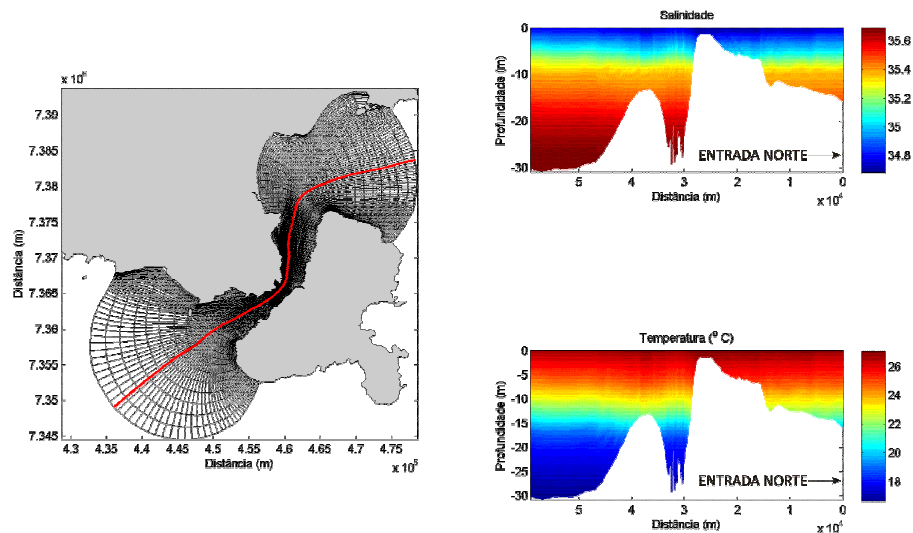
Como descrito na Seção 2, a circulação no CSS é forçada fundamentalmente pelo vento e desta forma, as correntes têm direção SW (NE) quando impulsionadas por ventos provenientes de NE (SW). Além disso, as correntes são essencialmente barotrópicas (i.e., apresentam pouco cisalhamento vertical), exceto durante eventos que ocorrem no final da primavera e no verão, quando as correntes podem comportam-se como o primeiro modo baroclínico (i.e., fluindo em um sentido na camada superficial e no sentido oposto na camada inferior).

Para simular as diferentes situações de intensidade e direção de corrente acima mencionadas, foram considerados os cenários descritos na Tabela 4.1.

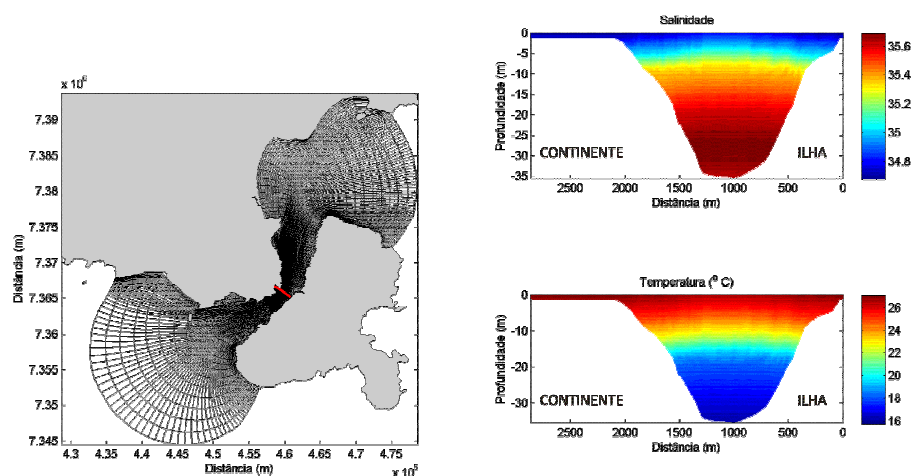
**Tabela 4.1 - Cenários considerados para os experimentos numéricos realizados.**

Cenário	Grade Computacional	Estratificação	Vento Típico
S1	Grade I	Verão	NE
S2	Grade I	Verão	SW

Para imposição do campo de temperatura e salinidade típicos de verão no modelo numérico, uma climatologia foi utilizada (Rezende, 2003). As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam seções longitudinais ao canal dos valores de temperatura e salinidade prescritos no modelo numérico, respectivamente.



**Figura 4.1 – Distribuição vertical da temperatura (°C) e da salinidade numa seção longitudinal ao canal, utilizada nos cenários simulados.**



**Figura 4.2 – Distribuição vertical da temperatura (°C) e da salinidade numa seção transversal ao canal, utilizada nos cenários simulados.**

A intensidade média dos ventos médios e máximos provenientes de NE e SW utilizada para forçar o modelo numérico foi definida a partir de Fontes (1995) e Castro *et al.* (2008).

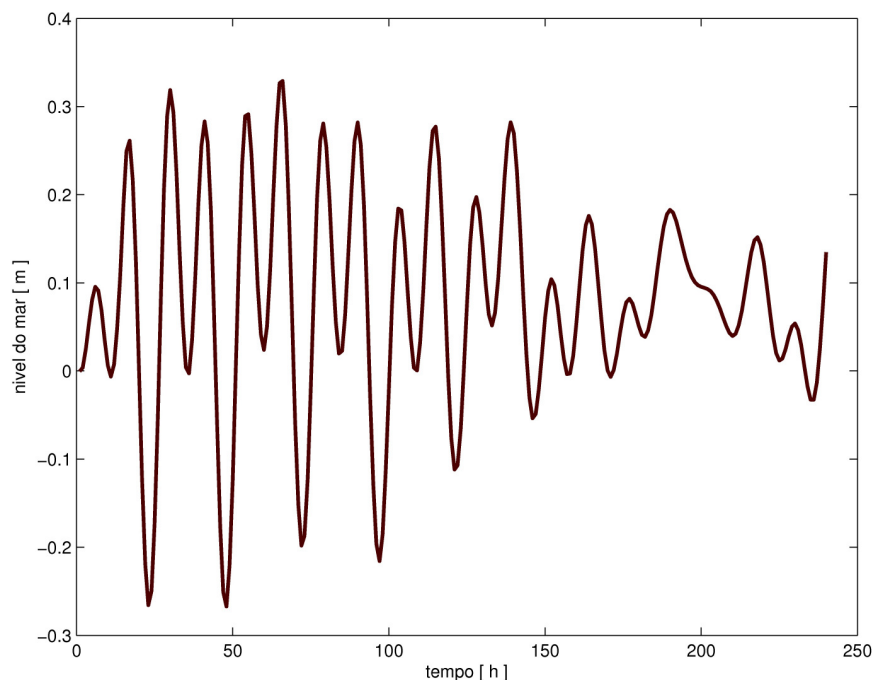
Como mencionado na Seção 2, apesar da baixa intensidade das correntes de maré no CSS, o nível do mar é dominado pela oscilação da maré (Castro, 1990). Por isso, o modelo hidrodinâmico foi forçado nos contornos abertos da grade computacional (i.e., entradas norte e sul do CSS) com elevações da superfície do mar provocadas pelas marés. As amplitudes e fases das constituintes de maré utilizadas correspondem àquelas do Porto de São Sebastião (FEMAR, 2000). A análise de mapas cotidianos do CSS e entorno, obtidos através da aplicação de modelos numéricos (Pereira *et al.*, 2007), indicou que as mesmas amplitudes e fases das constituintes consideradas poderiam ser aplicadas em ambas entradas do CSS, pois a variação espacial destas variáveis é desprezível na região em questão. Na Tabela 4.1, as constituintes e respectivas amplitudes e fases aplicadas encontram-se listadas.

**Tabela 4.1 – Constituintes de maré e respectivas amplitudes e fases aplicadas no cálculo da elevação da superfície do mar nos contornos abertos da grade numérica.**

Constituinte	Amplitude (m)	Fase Local
$M_2$	0,20	75°
$S_2$	0,17	89°
$K_1$	0,06	135°
$O_1$	0,11	79°

## 5. Resultados do Modelo Hidrodinâmico

A Figura 5.1 mostra a variação maregráfica do nível do mar ao longo de aproximadamente 10 dias no CSS, simulada para o cenário S1 e válida para os demais cenários considerados. A amplitude máxima (0,3 m) ocorre em períodos de sizígia, enquanto que a mínima (< 0,1 m) em períodos de quadratura.



**Figura 5.1 – Oscilação do nível do mar no domínio computacional, forçado pelas componentes harmônicas do porto local.**

A Figura 5.2 mostra um perfil vertical da intensidade das correntes ao longo de uma secção longitudinal ao CSS no cenário S1, forçado por vento máximo. A região com maiores intensidades ( $1,0 \text{ m s}^{-1}$ ) localiza-se no interior do CSS, aproximadamente em frente à Enseada do Araçá. Tal intensificação ocorre devido à constrição imposta ao escoamento pelo estreitamento do canal, conforme trabalhos anteriores (Fontes, 1995; Miranda & Castro, 1995; Silva, 1995; Coelho, 1997). As correntes mais intensas são simuladas na camada superficial, diminuindo com o aumento da profundidade. Próximo ao fundo, as correntes são mais fracas devido ao efeito do atrito na camada limite de fundo.

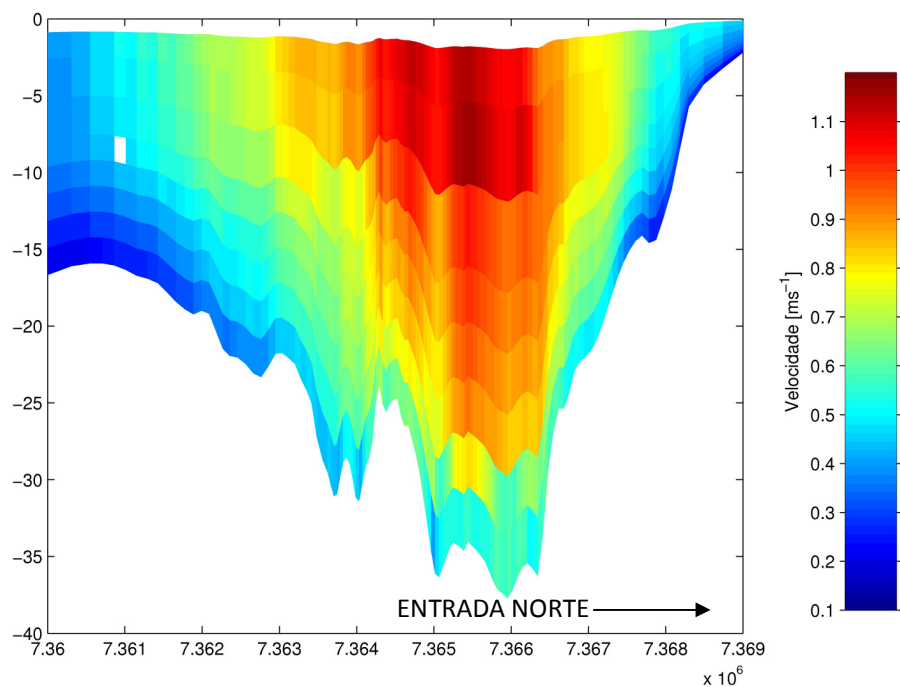


Figura 5.2 - Perfil vertical da intensidade das correntes ao longo de uma seção longitudinal do CSS.

A Figura 5.3 mostra os vetores de velocidade simulados no interior do CSS (painel superior) e na área próxima à Enseada do Araçá (painel inferior) para o cenário S1 na camada superficial, forçado por vento máximo. As correntes mais intensas ocorrem no interior do CSS onde as maiores profundidades são encontradas. A intensidade das correntes diminui significativamente em direção às margens do canal. Nas condições consideradas, o fluxo tem direção sudoeste. Na Enseada do Araçá, as correntes são muito fracas.



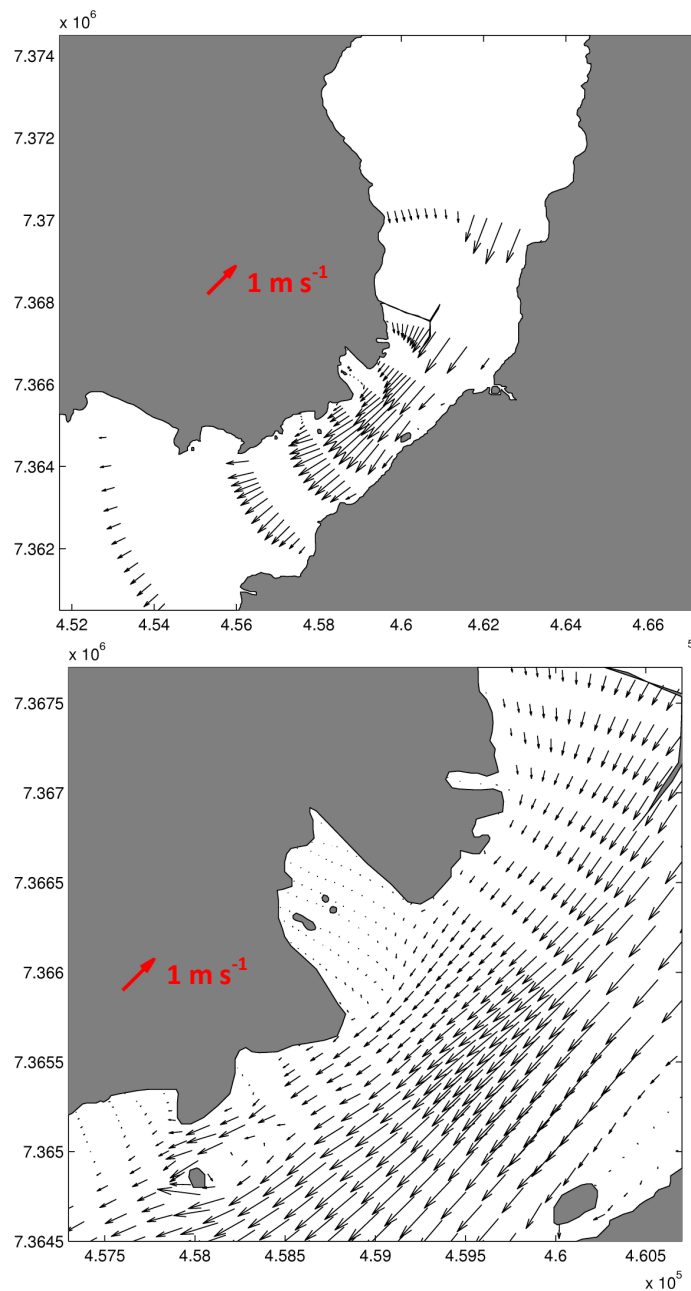
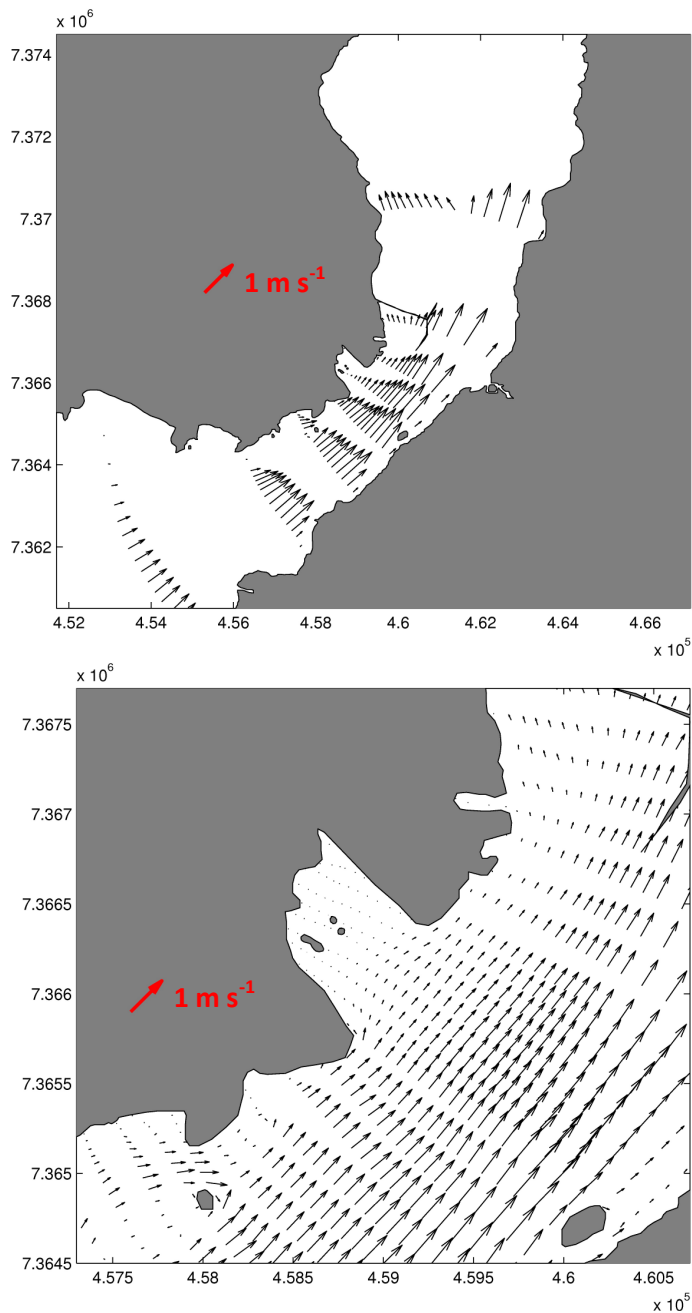


Figura 5.3 - Correntes superficiais no CSS, considerando uma resposta da Plataforma Continental na indução de uma circulação para Sudoeste. O painel inferior mostra os resultados em maior detalhe para a área próximo à Enseada do Araçá. Em ambos os gráficos, os vetores foram sub-amostrados para melhor visualização.

A Figura 5.4 mostra os vetores de velocidade simulados no interior do CSS (painel superior) e na área próxima à Enseada do Araçá (painel inferior) para o cenário S2 na camada superficial, forçado por vento máximo. Assim como obtido para o cenário S1 (Figura 5.2), as correntes mais intensas ocorrem no interior do CSS onde as maiores profundidades são encontradas e a intensidade das correntes diminui significativamente em direção às margens do canal. Entretanto, comparado às correntes simuladas no cenário S1 (Figura 5.3), além das correntes fluírem para NE, correntes um pouco menos intensas foram simuladas sob as condições impostas neste cenário. Como descrito na Seção 2, durante o verão, os eventos com correntes fluindo para SW, são mais intensos durante o verão.

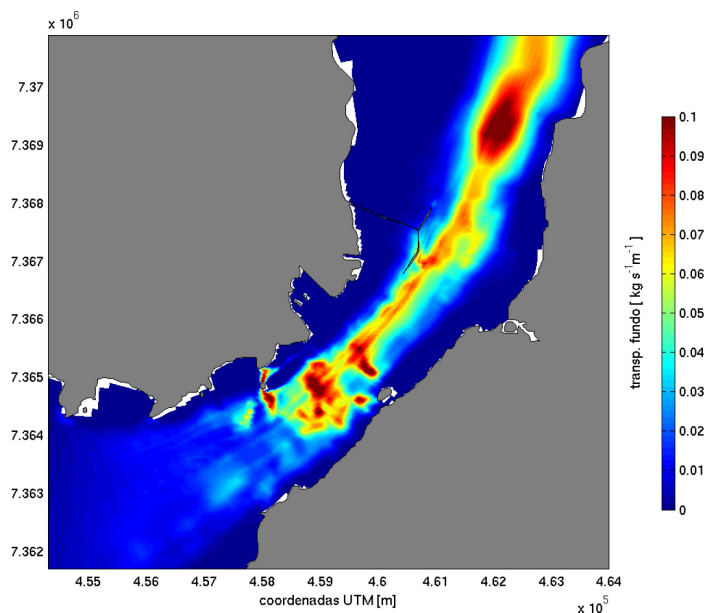


**Figura 5.4 - Correntes superficiais no CSS, considerando uma resposta da Plataforma Continental na indução de uma circulação para Nordeste. O painel inferior mostra os resultados em maior detalhe para a área próxima à Enseada do Araçá. Em ambos os gráficos, os vetores foram sub-amostrados para melhor visualização.**

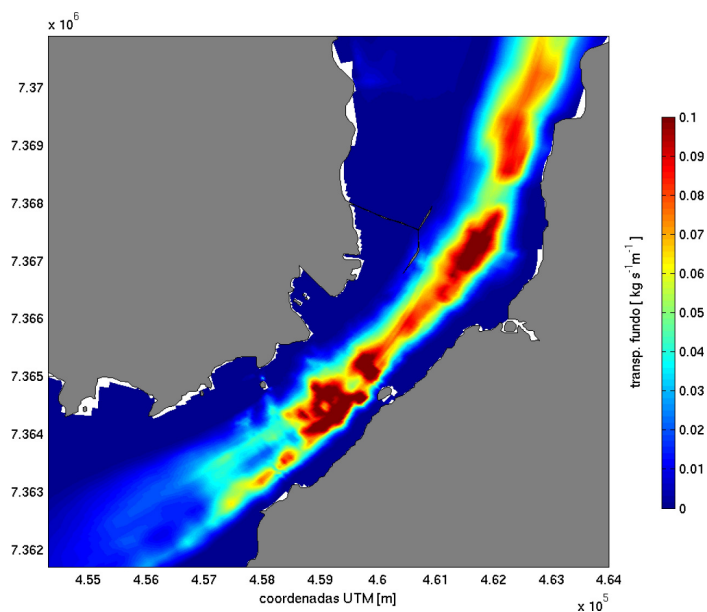
## 6. Avaliação do Transporte Potencial de Sedimentos

O transporte de sedimentos no CSS foi avaliado para a condição atual, ou seja, sem alteração alguma de projeto na enseada do Araçá. O propósito da aplicação deste modelo é fornecer um quadro detalhado da questão cinemática do transporte de sedimentos na região da Ponta do Araçá, para estudos posteriores a serem realizados diante modificações ambientais a serem propostas. Assim, os resultados simulados indicarão a capacidade de transporte dos sedimentos pelo fundo (*bed load transport*) e, também, em suspensão. Essa capacidade é potencial, ou seja, é uma resposta do modelo às condições impostas e ocorrerá de acordo com a disponibilidade de sedimentos no local. Sua unidade, representada por  $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$ , significa que potencialmente o ambiente pode transportar a quantidade anotada, em quilograma por segundo, através de uma seção transversal de 1 m do canal.

As Figuras 6.1 a 6.4 mostram os resultados para os transportes potenciais de sedimentos do Canal de São Sebastião, respectivamente. A capacidade de transporte de sedimentos pelo fundo (*bed load transport*) e do transporte em suspensão consideraram a corrente barotrópica média, integrada no tempo, ao longo de 36 ciclos da maré semidiurna (aproximadamente 18 dias). Assim como nas simulações hidrodinâmicas, duas situações foram avaliadas: transporte de sedimentos devido a correntes fluindo, predominantemente, para nordeste (cenário S2) e devido a correntes com direção sudoeste (cenário S1).



**Figura 6.1 - Capacidade de transporte de sedimentos pelo fundo, de acordo com a configuração atual do CSS e com correntes com direção predominante para nordeste (cenário S2).**



**Figura 6.2 - Capacidade de transporte de sedimentos pelo fundo, de acordo com a configuração atual do CSS e com correntes com direção predominante para sudoeste (cenário S1).**

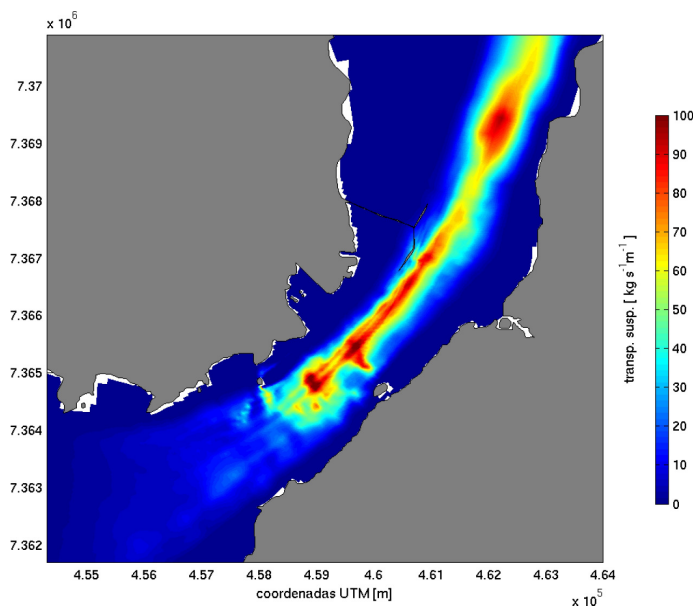


Figura 6.3 - Capacidade de transporte de sedimentos em suspensão, de acordo com a configuração atual do CSS e com correntes com direção predominante para nordeste (cenário S2).

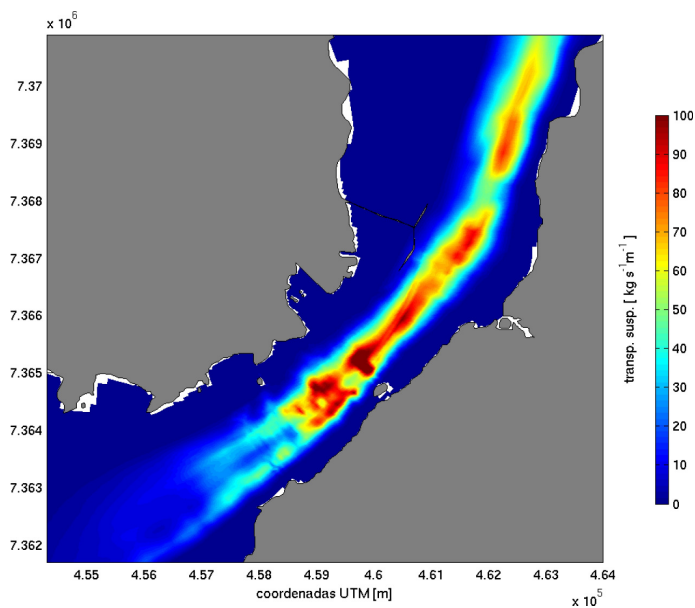
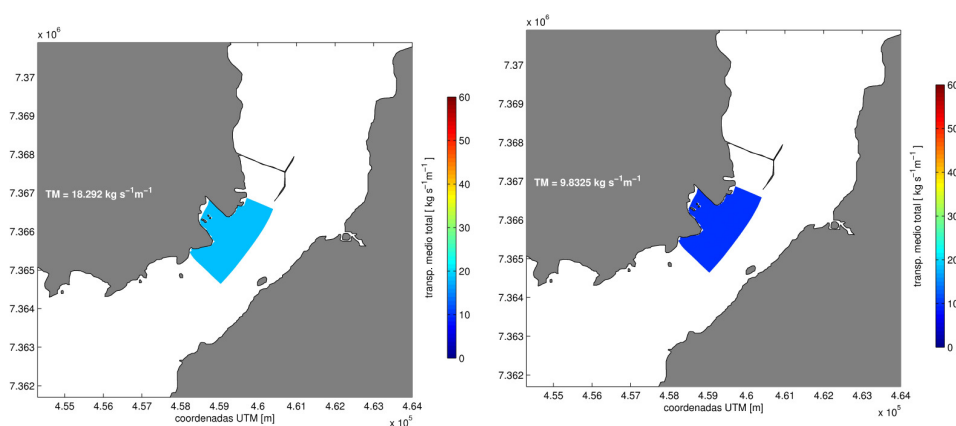


Figura 6.4 - Capacidade de transporte de sedimentos em suspensão, de acordo com a configuração atual do CSS e com correntes com direção predominante para sudoeste (cenário S1).

Os resultados apresentados para a capacidade potencial de transporte de sedimentos no canal, avaliados globalmente para o domínio estudado, indicam que o transporte de sedimentos pelo fundo é muito menor do que o transporte em suspensão (pelo menos duas ordens de grandeza).

O potencial médio do transporte total (em suspensão + pelo fundo) para uma área restrita do canal, próximo à Enseada do Araçá. Os resultados são apresentados na Figura 6.9 e na Tabela 6.1.



**Figura 6.9 – Transporte potencial médio dos sedimentos pelo fundo e em suspensão em área restrita para a configuração atual da linha de costa e da batimetria. O painel a esquerda representa os resultados obtidos com correntes predominantes para nordeste e o painel da direita, os resultados obtidos com correntes predominantes para sudoeste.**

**Tabela 6.1 – Transporte potencial médio de sedimentos em região próxima do empreendimento proposto.**

Direção da corrente	Caso atual $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$
NE	18,30
SO	9,80

## 7. Sumário Executivo

O Canal de São Sebastião está localizado na parte nordeste do Estado de São Paulo, entre a Planície Costeira e a Ilha de São Sebastião. Tem extensão aproximada de 22 km e eixo longitudinal orientado para NE e para N nas partes sul e norte, respectivamente. O canal é mais largo em suas entradas norte (7,2 km) e sul (5,6 km) e mais estreito na sua parte central (1,9 km). Sua batimetria é caracterizada por acentuadas inclinações laterais entre as margens e seu interior. Dentro do canal, há um conduto com profundidades maiores do que 20 m, deslocado para o lado insular. A maior profundidade é igual a 45 m e localiza-se próximo à Enseada do Araçá. Devido a sua configuração natural, o CSS é considerado como a 3<sup>a</sup> melhor região portuária do mundo.

O vento é a principal forçante das correntes no CSS, sendo as correntes de maré desprezíveis (Kvinge, 1967; Castro 1990; Miranda & Castro, 1995; Fontes, 1995; Silva 1995; Pereira *et al.*, 2007). Desta forma, os ventos dominantes na região, provenientes de NE, impulsionam correntes longitudinais ao canal com sentido SW. Os ventos oriundos de SW, geralmente associados à passagem dos sistemas meteorológicos frontais, forçam correntes longitudinais com sentido NE.

A Enseada do Araçá apresenta, atualmente, circulação horizontal bastante restrita, devido suas baixas profundidades. As variações do nível do mar no interior da Enseada têm mesma ordem de grandeza da profundidade local. Isso significa que, não obstante a referida restrição da circulação horizontal, a renovação das águas nesse pequeno corpo de água é efetivamente realizada pela maré. Os potenciais efeitos baroclínicos (devido às diferenças de salinidade e temperatura das águas no canal) são desprezíveis nessa porção do canal, devido especificamente à baixa profundidade local, inferior a 2 m.



## Referências Bibliográficas

- Blumberg, A. F., e G. L. Mellor (1987) A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. Em: Three-Dimensional Coastal Ocean Models, N. S. Heaps (Ed.), 1-16, American Geophysical Union, Washington, DC.
- Castro, B. M. (1990) Wind driven currents in the Channel of São Sebastião: winter, 1979. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 38(2): 111-132.
- Castro, B. M., L. B. Miranda, L. S. Silva, R. F. C. Fontes, A. F. Pereira, e A. L. Coelho (2008) Processos físicos: hidrografia, circulação e transporte. Em: Oceanografia de um Ecossistema Subtropical – Plataforma de São Sebastião, SP. Pires-Vanin, A. M. S. (org.). Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 59-121.
- Coelho, A. L. (1997) Massas de água e circulação no Canal de São Sebastião. *Dissertação de Mestrado*, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 244 p.
- Emilsson, I. (1962) As correntes marítimas no Canal de São Sebastião. *Ciênc. Cult.*, 14, 269-270.
- FEMAR – Fundação de Estudos do Mar (2000) Catálogo de estações maregráficas brasileiras. F. J. P. Salles, F. C. M. Bentes e J. A. dos Santos (org.). 1ª ed, Rio de Janeiro, RJ. 280 pp.
- Fontes, R. F. C. (1995) As correntes no Canal de São Sebastião. *Dissertação de Mestrado*, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 159 p.
- HydroQual, Inc. (1998) Development and Application of a Modeling Framework to Evaluate Hurricane Impacts on Surficial Mercury Concentrations in Lavaca Bay. Mahwah, Nova Jersey.
- HydroQual, Inc. (2002) *A Primer for ECOMSED version 1.3*. Computer program manual. HydroQual, Inc., Mahwah, Nova Jersey.
- Kvinge, T. (1967) On the special current and water level variations in the Channel of São Sebastião. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 16: 23-38.
- Leandro, R. P. (1999) Climatologia das águas do Canal de São Sebastião (SP). *Dissertação de Mestrado*, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 162 p.

- Mellor, G. L., e T. Yamada (1982) Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **20**, 851-875.
- Miranda, E. E. de, e A. C. Coutinho (2004) **Brasil Visto do Espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>.
- Miranda, L. B., e B. M. Castro (1995) Variabilidade da circulação e do transporte de volume no Canal de São Sebastião (SP): outono de 1980. *Publicação. esp. Inst. oceanogr.*, **11**: 1-9.
- Pereira, A. F., B. M. Castro, L. Calado, e I. C. A. Silveira (2007) Numerical simulation of  $M_2$  internal tides in the South Brazil Bight and their interaction with the Brazil Current. *J. Geophys. Res.*, **112**, C04009, doi:10.1029/2006JC003673.
- Rijn, L. C. van (2006) Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Acqua Publications. Holanda.
- Shrestha, P. L., A. F. Blumberg, D. M. Di Toro, e F. Hellweger (2000) A three-dimensional model for cohesive sediment transport in shallow bays. Em *Building Partnerships—2000 Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning & Management*, pp. 278.
- Silva, L. S. (1995) Condições oceanográficas no Canal de São Sebastião: fevereiro de 1994 a março de 1995. *Dissertação de Mestrado*, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 114 p.
- Tonnon, P. K., L. C. van Rijn e D. J. R. Walstra (2007) The morphodynamic modeling of tidal sand waves on the shoreface. *J. Coastal Eng.*, **54** (4), 279-296.
- Walstra, D.J., L. C. van Rijn e A. Klein (2004) Validation of a New Transport Formula (TRANSPOR2004) in a Three Dimensional Morphological Model. Coastal Engineering Conference. American Society of Civil Engineers. Conf 29; Vol 3, p. 2703-15.
- Ziegler, C. K., e B. Nisbet (1994) Fine-grained sediment transport in Pawtuxet River, Rhode Island. *J. Hydr. Eng.*, **120**(5), 561-576.
- Ziegler, C. K., e B. Nisbet (1995) Long-Term Simulation of Fine-Grained Sediment Transport in Large Reservoir. *J. Hydr. Eng.* **121**(11), 773-781.



## ANEXO

Informações do reaquecimento da linha de costa (aterramento) e formação do talude por dragagem do leito nas áreas de atracadouros e manobras. As informações aqui listadas foram comparadas com planta detalhada, fornecida em formato AutoCAD (.dxf) pela CONTRATANTE.

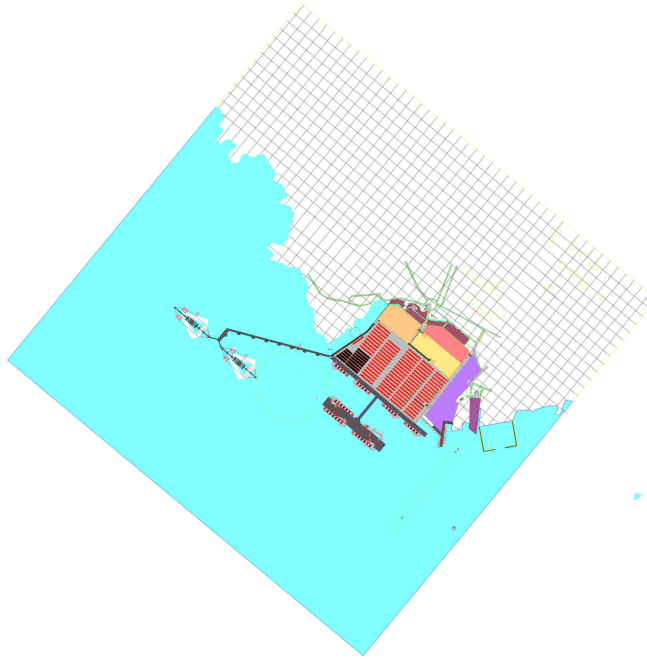
**Tabela A.1 – Informações do reaquecimento da linha de costa e formação do talude próximo à Enseada do Araçá.**

ÁREA	SUB-ÁREA	DESCRIÇÃO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAPACIDADE DE ESTOCAGEM	NAVIO DE PROJETO (TPB ou TEU's)	CALADO MÁX. (m)	LÂMINA D'ÁGUA MÍNIMA (m)
TGL- TERMINAL DE GRANÉIS LÍQUIDOS	PIER 1 - BERÇOS DE ATRACAÇÃO	Os berços do Pier 1 se situam a sudoeste da ponte de acesso ao TGL.	-	-	300.000 TPB	21,0	25,0
	PIER 2 - BERÇOS DE ATRACAÇÃO	Os berços do Pier 2 se situam a nordeste da ponte de acesso ao TGL.	-	-	150.000 TPB	16,9	25,0
	PONTE DE ACESSO AOS PIERES 1 e 2	A Ponte de Acesso aos Pieres 1 e 2 terá aproximadamente 1300 metros de extensão, 10 metros de largura, estando prevista no "deck" inferior pista de rolamento com 7 (sete) metros de largura, pista para pedestres e serviço, enquanto que o "deck" elevado será reservado para tubulação, cablagem elétrica e de instrumentação/contrôle.	18.000 m <sup>2</sup>	-	-	-	(var.)
	CASA DE BOMBAS DE INCÊNDIO	Uma Casa de Bombas de Incêndio localizada aproximadamente no meio da Ponte de Acesso.	-	-	-	-	-
	ÁREA DE TANCAGEM	A Área de Tancagem será dimensionada para estocar "ETANOL" em 8 tanque de Ø58mx16,8m de altura (cap. unitária de 47.500 m <sup>3</sup> ).	95.000 m <sup>2</sup>	~300.000 ton.	-	-	-
TECONVE	BERÇOS DE ATRACAÇÃO (B5, B6, B7 e B8)	O Pier do Terminal de Containers e de Veículos (TECONVE) será composto de 4 (quatro) berços de atracação, sendo dois externos e dois internos. Os dois berços	66.050 m <sup>2</sup>	-	≤9.000 TEU's (Berços 7 e 8, externos)	15,0	16,0

	externos (B7 e B8) serão disponibilizados para atracação prioritária de navios Porta Containeres com capacidade de até 9.000 TEU's, enquanto que os dois berços internos (B5 e B6) serão disponibilizados para atracação de navios Porta Containeres, RO-RO e carga geral. A plataforma do pier terá 725 (setecentos e vinte e cinco) metros de extensão por 100,81 (cem metros e oitenta e um centímetros) metros de largura total. Os berços externos e internos serão contemplados com dois Portaineres por face de atracação, totalizando quatro equipamentos.			≤70.000 TPB (Berços 5 e 6, internos)	13,5	14,0
PONTE DE ACESSO	A Ponte de Acesso do TECONVE terá aproximadamente 300 metros de extensão, 25 metros de largura, com pista de rolamento com 15 metros de largura livre, passeio para pedestres e serviço.	7.500 m <sup>2</sup>	-	-	-	(var.)
RETROÁREA	Área destina-se a estocagem de Containeres de 20' (TEU's) com até cinco unidades sobrepostas e veículos leves. Foi prevista a operação dos TEU's com auxílio de "Reach Staker". Serão disponibilizadas 300 tomadas para REEFERS de 20'.	516.000 m <sup>2</sup>	53.460 TEU's, 300 REEFERS de 20' e 2.712 veículos leves.	-	-	-

**Tabela A.2 – Informações do reafeiçoamento da linha de costa e formação do talude próximo à Enseada do Araçá.**

<b>CAIS DE MÚLTIPLO USO</b>	<b>BERÇOS DE ATRACAÇÃO (B1, B2, B3, B4)</b>	O Porto de São Sebastião será dotado de Cais de Múltiplo Uso com 1.194 metros de paramento, subdividido em dois segmentos, ambos com 597 metros de extensão, com possibilidade de atracar até 4 (quatro) navios de até 70.000 TPB. O cais será constituído de plataforma em concreto armado com 40 metros de largura total, assente sobre estacas. Na retaguarda da plataforma será construído enrocamento de modo a conter o aterro da retroárea do porto. O berço de a nordeste será disponibilizado também para recebimento de navios Cruzeiro de rotas nacional e internacional.	62.800 m <sup>2</sup>	-	≤70.000 TPB	11,5	12,0
<b>TGS-TERMINAL DE GRANÉIS SÓLIDOS</b>	<b>RETROÁREA</b>	Área destinada a estocagem de granéis sólidos.	70.000 m <sup>2</sup>	-	-	-	-
<b>SUPPLY BASE (OFFSHORE)</b>	<b>BERÇOS DE ATRACAÇÃO</b>	As embarcações de apoio às áreas de "Supply Base" terão cais e pier exclusivos, com extensão total de 696 metros.	-	-	tipo "SUPPLY BOAT"	7,0	8,0
	<b>RETROÁREA</b>	Área destinada a estocagem e manuseio de diversos tipos de carga necessárias à operação "Off Shore".	133.000 m <sup>2</sup>	-	-	-	-
<b>SERVIÇOS DE LOGÍSTICA</b>	<b>RETROÁREA</b>	Área destinada as atividades de logística do(s) operador(es) portuário(s).	83.000 m <sup>2</sup>	-	-	-	-
<b>ÁREA OPERACIONAL</b>	<b>RETROÁREA</b>	Área destinada as atividades administrativas/operacionais.	65.000 m <sup>2</sup>	-	-	-	-



**Figura A.1 - Planta dos berços de atracadouros e da bacia de evolução tal como especificada nas Tabelas A.1 e A2.**