

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

MODELAGEM HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DE SANTOS PARA AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA DRAGAGEM DE APROFUNDAMENTO DO PORTO DE SANTOS – SP

José Carlos C. Amorim¹; Carlos A. B. de Vasconcellos²; Klavs Bundgaard³; Berry Elfrink⁴

Resumo – Um modelo hidrodinâmico 3D foi aplicado para o Estuário de Santos. A área modelada incluiu toda a bacia de drenagem, inclusive as áreas de manguezais e a zona litorânea. O modelo baseou-se numa malha flexível. A batimetria do modelo foi criada com base no levantamento de campo executado em 2006 e nas áreas que não cobertas pelo levantamento foi estimada com a partir dos padrões de vegetação obtidos de fotos aéreas. As vazões para a calibração do modelo foram medidas para vários intervalos de tempo durante um ciclo de maré. Elas foram coletados nas junções entre o canal principal do estuário e os subsistemas, incluindo as áreas de manguezais. A comparação com os dados medidos mostra que o modelo está apto para resolver o escoamento no estuário de maneira suficientemente precisa. Os resultados mostram que a troca de água entre o canal principal e as áreas de manguezais está reproduzida corretamente. O modelo calibrado foi atualizado com um total de 65 contribuições fluviais. Com o modelo calibrado foram simulados oito diferentes cenários. A duração de cada simulação foi de um ciclo completo de marés de quadratura e sizígia (14 dias) para determinar o efeito sobre a hidrodinâmica e a salinidade da dragagem do canal de navegação do Porto de Santos.

Abstract – A 3D hydrodynamic model was applied to the Santos Estuary. The modeled area included the entire drainage basin, including the areas of mangroves and coastal zone. The model was based on a flexible mesh. The bathymetry of the model was created based on field survey performed in 2006 and, in areas not covered by the survey, was estimated from the patterns of vegetation obtained from aerial photos. The flow rates for calibrating the model were measured for various time intervals during a tidal cycle. They were collected in the junctions between the main channel of the estuary and subsystems, including mangrove areas. The comparison with the measured data shows that the model is able to represent the flow in the estuary accurately sufficiently precisely. The results show that the exchange of water between the main channel and mangrove areas are correctly reproduced. The calibrated model was updated with a total of 65 contributions river. With the calibrated model were simulated eight different scenarios. The duration of each simulation was a complete tidal period (14 days) to determine the effect on the hydrodynamics and salinity of the dredging of the navigation channel of the Port of Santos.

Palavras-Chave – modelagem hidrodinâmica; estuário; dragagem.

¹ IME – Instituto Militar de Engenharia, Pr. Gen. Tibúrcio, 80, 22290-270 – Rio de Janeiro – RJ, tel: 21-2546-7026, e-mail: jcamorim@ime.eb.br

² IME – Instituto Militar de Engenharia, Pr. Gen. Tibúrcio, 80, 22290-270 – Rio de Janeiro – RJ, tel: 21-2546-7028, e-mail: vasconcellos@ime.eb.br

³ DHI, Agern allé 5, DK-2970, Hørsholm, Denmark, tel: 45-4516-9225, e-mail: klb@dhigroup.com

⁴ DHI, Agern allé 5, DK-2970, Hørsholm, Denmark, tel: 45-4516-9225, e-mail: bre@dhigroup.com

INTRODUÇÃO

O Porto de Santos está situado em um sistema estuarino e lagunar que pode ser caracterizado como um estuário parcialmente estratificado. A amplitude da maré é da ordem de 1,5m. A Figura 1 apresenta a área do modelo hidrodinâmico e as condições batimétricas existentes no estuário de Santos. O canal será dragado até uma profundidade de 15m (referenciado ao Nível Médio do Mar – NMM).

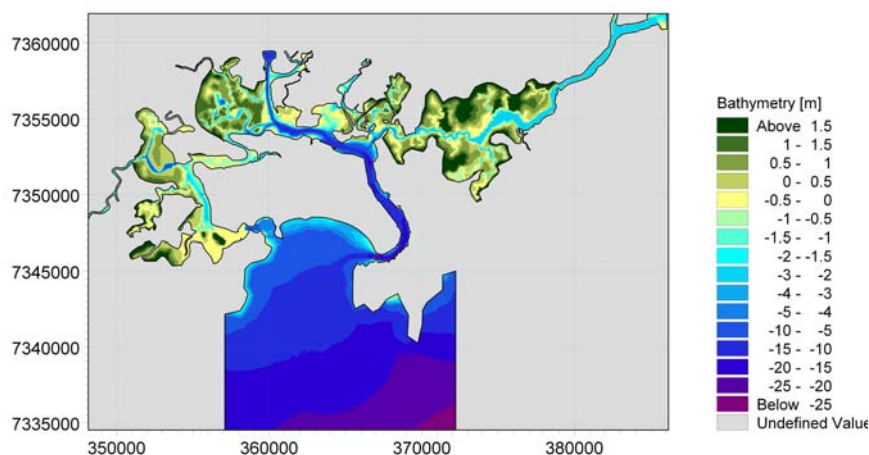


Figura 1 – Área do modelo hidrodinâmico e as condições batimétricas existentes

Em geral, o aprofundamento de canais de navegação e o aterro de terraços de marés mudam as condições hidráulicas. A resposta é específica para cada local, mas frequentemente causa um aumento na amplitude das marés e nas velocidades das correntes. Em estuários parcialmente estratificados, por exemplo, a cunha salina pode se mover mais para o interior do estuário, aumentando a intrusão salina. Isto induz mudanças nas condições de transporte de sedimento. Velocidades mais altas induzem mais erosão e advecção dos sedimentos em suspensão. O aumento da intrusão salina também pode aumentar o aporte de sedimentos marinhos finos. Como resultado, a localização da turbidez máxima, por exemplo, pode se deslocar e a capacidade do estuário em auto-depurar sedimentos finos pode ser reduzida. Essas características em combinação com a realização de um aterro, para a expansão de empreendimentos industriais, por exemplo, pode aumentar ainda a sedimentação no estuário de Santos, através da redução do espaço de sedimentação dos terraços de marés.

A resposta do sistema estuarino às mudanças pode ser bem representada através da aplicação de um modelo numérico. O modelo é aplicado do seguinte modo: primeiramente as condições existentes são simuladas e o modelo é calibrado para reproduzir as medições de campo; em seguida, o futuro arranjo do estuário é introduzido no modelo. As mudanças relativas à situação atual podem, então, ser quantificadas.

No presente estudo foi implementado um modelo tridimensional (3D) que é capaz de descrever detalhadamente os processos ao longo da estrutura da coluna d'água do estuário.

MODELO HIDRODINÂMICO

O modelo hidrodinâmico cobre uma área de aproximadamente 40 km por 25 km. O domínio espacial do modelo numérico e os contornos batimétricos podem ser na Figura 1. A batimetria do modelo foi gerada com base em cartas náuticas e levantamentos batimétricos do INPH. Os contornos em terra foram obtidos de fotos aéreas. Os dados batimétricos não cobrem as áreas inteiras de manguezais. As lâminas de água nessas áreas foram estimadas dos padrões de vegetação.

Foi aplicado um modelo em malha flexível. A malha flexível oferece a possibilidade de ser usada uma resolução mais fina nas áreas críticas, onde são necessários resultados detalhados. Em áreas mais afastadas é escolhida uma resolução mais grosseira, para diminuir o esforço computacional. As características da grade computacional estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades da malha

Número total de elementos	38439
Tamanho min da célula	2500 m ²
Largura min da célula	Aprox. 50-60m

O modelo hidrodinâmico 3D MIKE 3 foi montado em 5 camadas. A rugosidade de fundo, definida pela rugosidade de Nikuradse da areia, foi tomada como $K_N = 0,05m$. A viscosidade turbulenta foi calculada da formulação de Smagorinsky usando um fator de viscosidade turbulenta de 0,28.

Condições de Contorno, Níveis de Água.

Na condição de contorno aberta do modelo, situada ao largo, foram impostos os níveis de água fornecidos pelo INPH. A resolução no tempo é de 0,5 horas. Exemplos das elevações da superfície livre são mostrados na Figura 2.

Calibração do modelo

Para calibrar o modelo hidrodinâmico foram realizadas medições de descarga em 11 seções transversais selecionadas ao longo do estuário. A localização das seções transversais está mostrada na Figura 3. As medições foram realizadas usando-se um ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) fixado em uma embarcação. Os dados de descarga foram coletados durante um período de 2 semanas.

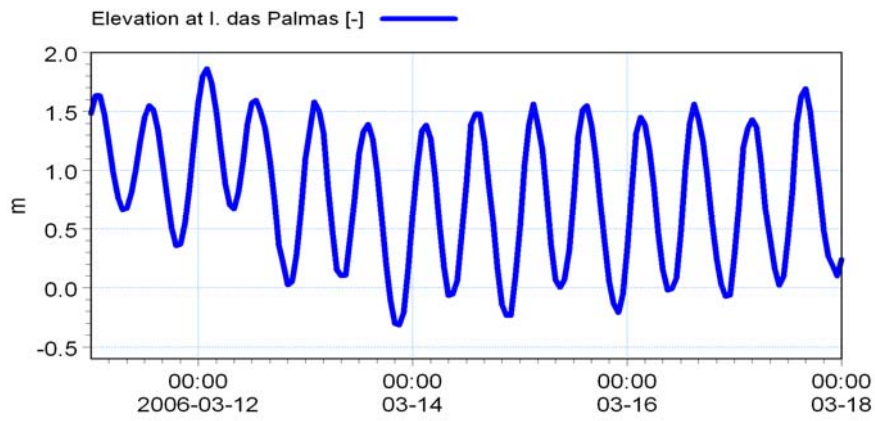


Figura 2 – Exemplo de condições de contorno.

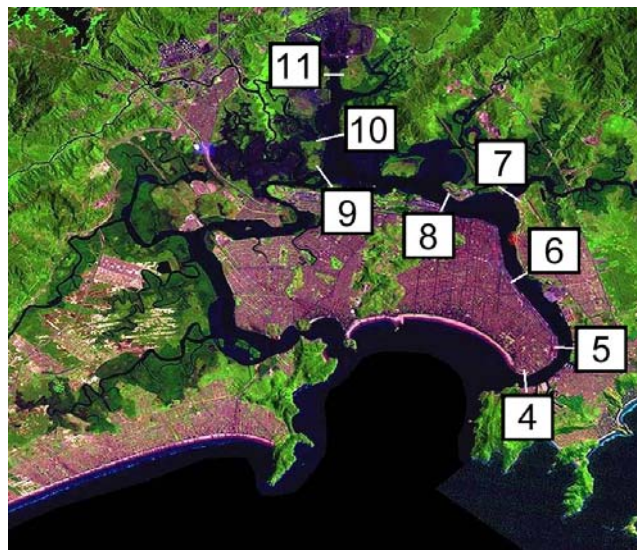


Figura 3 – Visão geral das seções transversais de medições.

As comparações entre as descargas simuladas e medidas estão mostradas nas Figuras 4 a 6. Os pontos representam os dados medidos. A linha azul indica o resultado das simulações em modelo, usando 5 camadas na coluna de água.

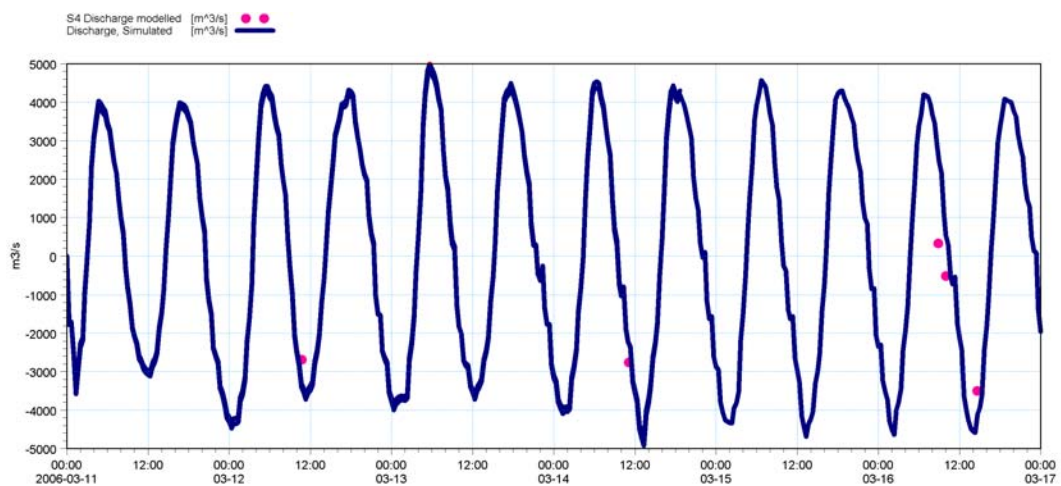


Figura 4 – Comparação das descargas na linha S4. Linha azul é a simulação, pontos são as medições.

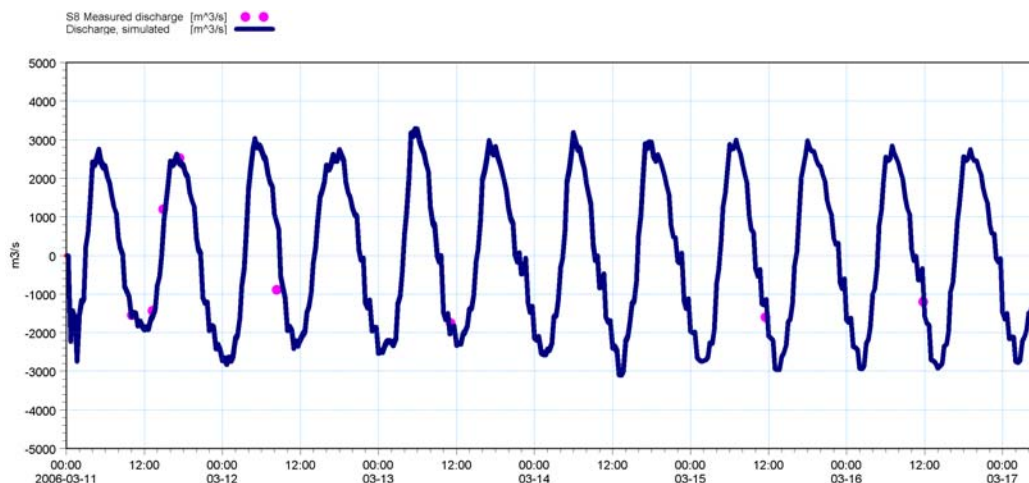


Figura 5 – Comparação das descargas na linha S8. Linha azul é a simulação, pontos são as medições

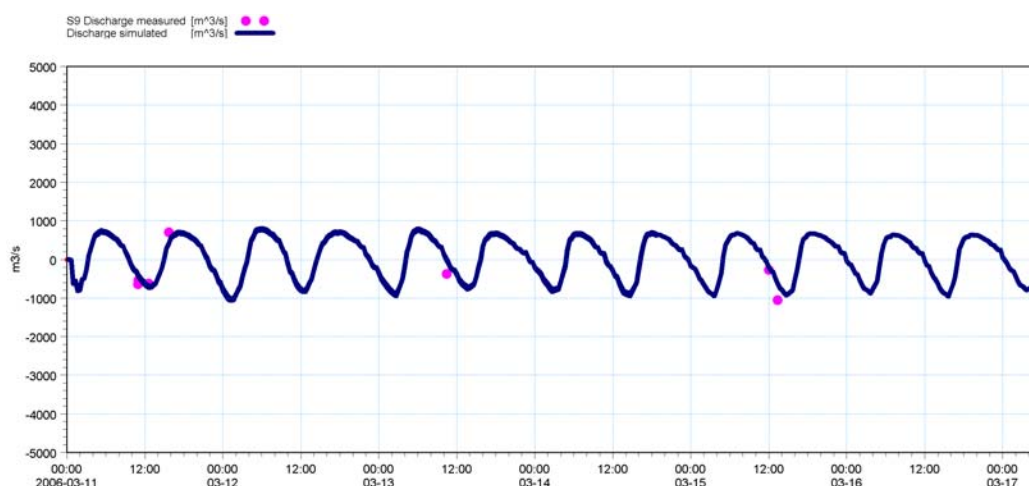


Figura 6 – Comparação das descargas na linha S9. Linha azul é a simulação, pontos são as medições

Os resultados mostram uma comparação excelente para as descargas em todas as seções, indicando que o fluxo está descrito com precisão em todas as partes do modelo. Eles também indicam que a troca de água entre o estuário e as áreas de manguezais está correta. Deve-se notar que nenhum dado batimétrico detalhado está disponível nas áreas de manguezais e que as lâminas de água foram estimadas dos padrões de vegetação obtidos de fotografias aéreas.

ABORDAGEM E ESCOLHA DE CENÁRIOS

O objetivo do estudo é determinar o impacto do esquema planejado para aprofundar o canal de navegação do Porto de Santos até uma profundidade de 15m NMM, e dessa maneira permitir a entrada de navios com maior calado. A batimetria para o novo canal de acesso está mostrada na Figura 7.

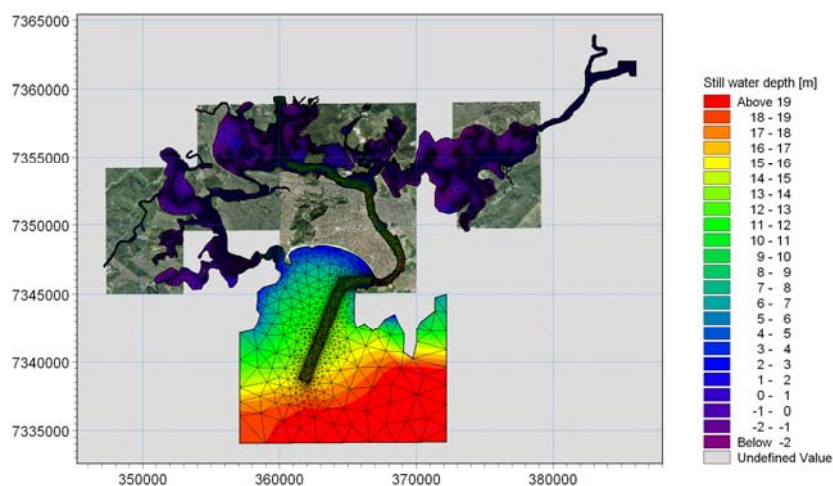


Figura 7 – Batimetria para o novo canal de acesso.

Para identificar os cenários pertinentes para as simulações de avaliação do impacto é necessário discutir as condições hidrodinâmicas no estuário. Os fluxos são governados pela maré, pelo vento, pelas flutuações no nível de água oceânico (ressacas) e pela descarga fluvial. Em um estuário parcialmente ou até bem misturado pode se desenvolver uma estratificação, com a água mais densa (alta salinidade) fluindo do oceano para dentro do estuário e a água menos densa (baixa salinidade) correndo para o mar. Os dois corpos de água irão se encontrar nos canais de entrada e no estuário interno, como mostrado esquematicamente na Figura 8.

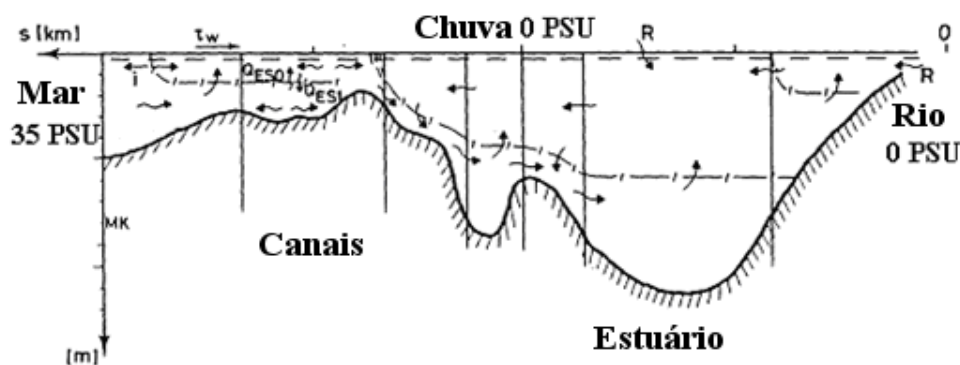


Figura 8 – Desenho conceitual da física no estuário

Se um suprimento de água doce constante estiver presente, uma estratificação estável irá se formar entre a cunha salina no fundo e a água doce na superfície. A localização da cunha e a localização exata da interface serão governadas pela topografia, a maré, a descarga fluvial e a diferença de densidade (a salinidade). Este caso está esboçado na Figura 8. Ao longo da coluna d'água ocorre a entrada da cunha salina, conduzindo a uma mistura contínua na coluna de água ao longo de uma seção. A cunha se move para frente e para trás no estuário em função da maré e da vazão fluvial. Para o Porto de Santos o sistema de escoamento fica ainda mais complicado, pela

presença de dois canais de acesso quase simétricos. A distribuição de água entre os dois canais é governada pela rugosidade hidráulica do sistema e as forças motrizes. Na situação original, a parcela principal de água entra pelo canal mais profundo ao Norte e uma parcela secundária entra pelo canal mais raso ao Sul. Porém, mudando as profundidades no canal ao norte este padrão pode mudar, devido à mudança na rugosidade hidráulica.

Baseado na informação acima se pode concluir que é pertinente examinar diferentes situações de contribuição fluvial, diferentes topografias e diferentes condições de fluxo, conduzindo a um número relativamente grande de cenários.

Como explicado anteriormente, um dos elementos fundamentais neste sistema é a contribuição fluvial. Para assegurar que ela esteja correta foi adicionado um total de 65 rios. As suas localizações e vazões médias estão mostrados na Figura 9.

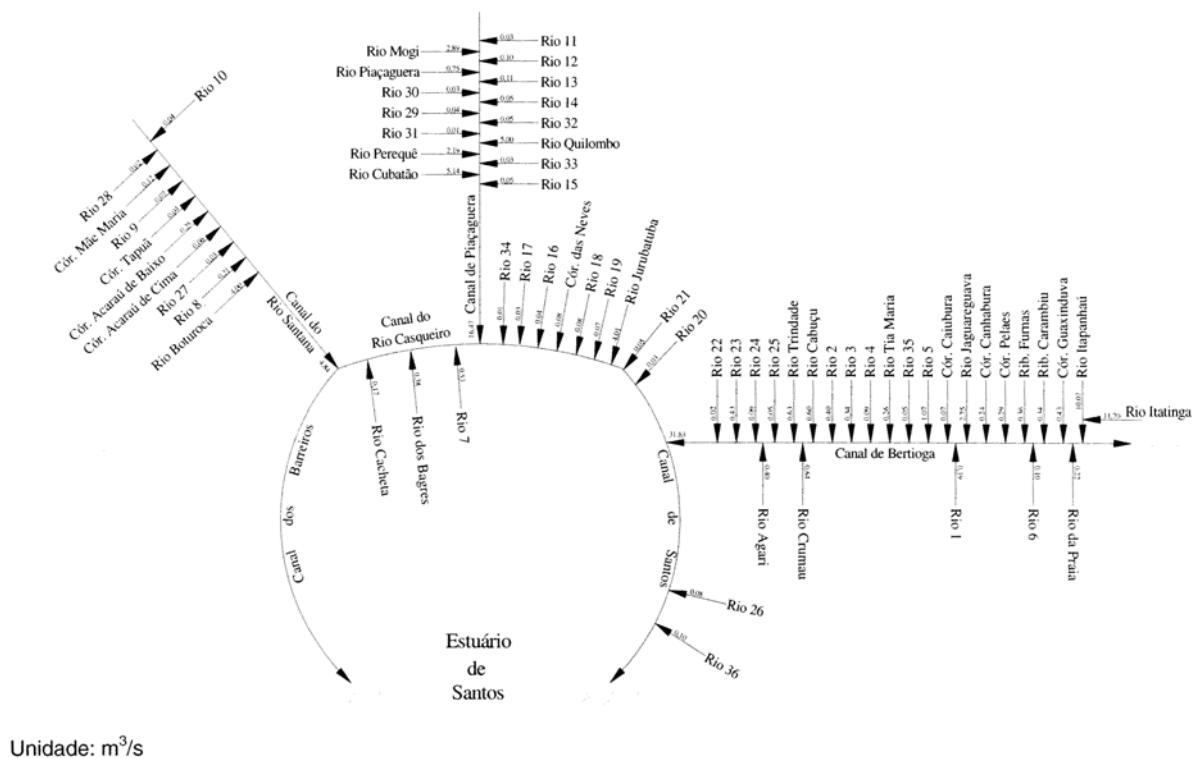


Figura 9 – Localização e vazões médias dos rios no estuário de Santos

Rios e pontos de descarga no estuário são fontes, caracterizadas por uma descarga com magnitude, salinidade e temperatura conhecidas. Para cobrir todas as combinações de forças externas e contribuições fluviais decidiu-se usar dois períodos de marés, um sobreposto com uma pequena ressaca e um com uma grande ressaca, em combinação com contribuição fluvial média e máxima.

O evento de ressaca é importante, pois ele induzirá um período mais longo de fluxo entrando e saindo do estuário, em acréscimo aos fluxos relativos à maré astronômica. O evento de ressaca

escolhido baseou-se nos registros de marés do período 2003-2005. São consideradas duas situações de contribuição fluvial, uma com contribuição média e uma com contribuição máxima.

Para avaliar o impacto do aprofundamento, as simulações foram feitas para a situação atual e para a nova forma do canal. No total, isto resulta em oito simulações, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Cenários que definem combinações de contribuição fluvial e ressaca marítima externa.

Nome	Contribuição	Ressaca Marítima	Arranjo
Cenário 1	Máx	Pequena	Arranjo original
Cenário 2	Médio	Pequena	Arranjo original
Cenário 3	Máx	Pequena	Arranjo dragado
Cenário 4	Médio	Pequena	Arranjo dragado
Cenário 5	Máx	Máx	Arranjo original
Cenário 6	Médio	Máx	Arranjo original
Cenário 7	Máx	Máx	Arranjo dragado
Cenário 8	Médio	Máx	Arranjo dragado

Os períodos selecionados têm 14 dias, para incluir uma variação de marés de quadratura-sizígia. Nesses períodos verifica-se que a maré meteorológica máxima tem cerca de 80 cm, aproximadamente a mesma amplitude de maré astronômica.

ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES NO MODELO

Impactos na troca de água com o oceano

O objetivo desse item é identificar as mudanças na descarga no canal, para quantificar o impacto na troca de água com o oceano.

A descarga, utilizando-se as simulações no modelo, foi calculada nas seções transversais 6, 7 e 9, que também foram utilizadas na calibração do modelo (ver Tabelas 3 e 4). As descargas máxima e mínima foram calculadas para ilustrar o impacto do aprofundamento do canal.

O influxo está aumentando na seção 6 em até 10%. Isto está consistente com o aumento da profundidade, permitindo que maiores quantidades de água entrem no estuário. O efeito é observado tanto para a água entrando no estuário quanto para a água saindo do estuário.

O mesmo comportamento é observado, menos pronunciado, porém nas seções 7 e 9.

De maneira geral os efeitos descritos terão algum efeito nos padrões hidrodinâmicos da região. No sistema lagunar ocidental as velocidades máximas aumentarão devido às maiores quantidades de água passando através do sistema.

No sistema do canal oriental as velocidades aumentarão devido aos maiores volumes de água passando pelo sistema e os níveis máximos de água tenderão a subir.

Tabela 3 – Valores máximos e mínimos de descargas em m^3/s (Influxo é negativo).

	Parâmetro	Seção 6	Seção 7	Seção 9
Cenário 1	Max	6104	1748	1152
	Min	-6655	-1808	-1375
Cenário 2	Max	6058	1774	1134
	Min	-6495	-1737	-1364
Cenário 3	Max	6701	1820	1181
	Min	-6838	-1762	-1396
Cenário 4	Max	6218	1805	1188
	Min	-6779	-1769	-1431
Cenário 5	Max	5624	1881	1076
	Min	-6223	-1824	-1181
Cenário 6	Max	5487	1860	1061
	Min	-6068	-1810	-1170
Cenário 7	Max	5803	1917	1131
	Min	-6468	-1864	-1222
Cenário 8	Max	5668	1898	1114
	Min	-6332	-1832	-1209

Tabela 4 – Variação nas descargas entre os cenários selecionados e nas seções selecionadas em %.

	Seção 6	Seção 7	Seção 9
Cenário 3 – 1 máx	9,8	4,1	2,5
Cenário 3 – 1 mín	-2,7	2,5	-1,5
Cenário 4 – 2 máx	2,6	1,7	4,8
Cenário 4 – 2 mín	-4,4	-1,8	-4,9
Cenário 7 – 5 máx	3,2	1,9	5,1
Cenário 7 – 5 mín	-3,9	-2,2	-3,5
Cenário 8 – 6 máx	3,3	2,0	5,0
Cenário 8 – 6 mín	-4,4	-1,2	-3,3

Na laguna central, na direção da bacia de evolução, as velocidades diminuirão nas áreas aprofundadas, enquanto tenderão a aumentar nas áreas circunvizinhas, devido ao maior volume de água circulando. Similarmente, se espera que nível d'água alcance níveis ligeiramente mais altos durante o ciclo de maré. A montante da bacia de evolução espera-se velocidades mais altas, devido à maior quantidade de água que entrará no sistema. O maior volume de água disponível também tenderá a aumentar as correntes nos canais que conectam as partes oriental e ocidental do estuário. Também se deve notar que o tempo de propagação de uma ressaca no oceano aumentará ligeiramente, devido aos canais mais fundos. Os impactos na salinidade serão analisados nos próximos capítulos.

A Figura 10 abaixo resume as observações.



Figura 10 – Visão geral do impacto na troca de fluxo em relação à situação atual

Impacto na salinidade

A Figura 11 apresenta a localização das estações para avaliação do impacto na salinidade. Para essa avaliação foram realizadas análises estatísticas dos resultados. Elas são fornecidas em função da salinidade mínima, máxima e média. As diferenças entre antes e depois do aprofundamento estão apresentadas.

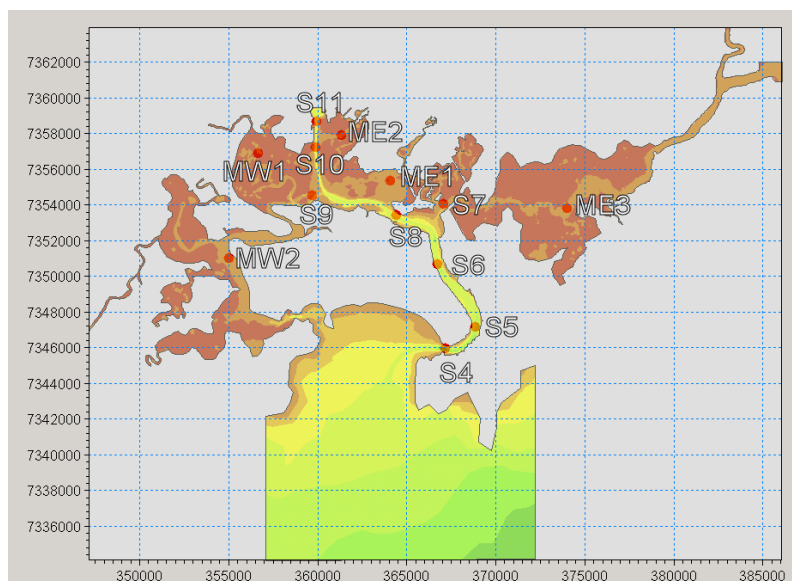


Figura 11 – Localização das estações para análise do impacto na salinidade

Nas Tabelas 5 e 6 são fornecidas as salinidades na estação 4 para os oito cenários. A estação 4 é a estação mais próxima do mar. Então, não era esperado que as salinidades mudassem significativamente devido ao aprofundamento. As profundidades nas redondezas da estação foram praticamente constantes. Os resultados mostram que a salinidade muda ligeiramente na superfície, como resultado da movimentação da cunha salina à montante do estuário. Um aumento maior é visto no fundo, onde o efeito do aumento da intrusão salina é maior. As maiores diferenças são

observadas quando se compara os casos com contribuição fluvial máxima e sem ressaca, onde a estratificação é a maior de todas. Em geral os resultados mostram um aumento médio no nível de salinidade de até 0,75 EPS (Escala Prática de Salinidade) para os níveis mínimos e de até 0,29 EPS para os níveis médios. Os efeitos esperados são pequenos, já que este local é dominado pelo prisma de maré.

Tabela 5 – Salinidade na superfície na estação S4

		Mín (EPS)	Máx (EPS)	Médio (EPS)	Variação Mín (EPS)	Variação Máx (EPS)	Variação Média (EPS)
Cenário	1	25,43	34,23	31,07	0,68	-0,04	0,05
	3	26,11	34,19	31,13			
	2	32,38	34,93	34,25	0,13	0,02	0,01
	4	32,51	34,94	34,26			
	5	25,13	34,06	31,08	0,75	0,00	0,11
	7	25,88	34,06	31,19			
	6	32,19	34,92	34,13	0,18	0,00	0,03
	8	32,38	34,93	34,16			

Tabela 6 – Salinidade no fundo na estação S4

		Mín (EPS)	Máx (EPS)	Médio (EPS)	Variação Mín (EPS)	Variação Máx (EPS)	Variação Média (EPS)
Cenário	1	29,37	34,86	33,95	1,61	0,01	0,29
	3	30,97	34,87	34,24			
	2	32,87	34,96	34,50	0,08	0,01	0,01
	4	32,95	34,97	34,51			
	5	29,50	34,85	34,03	0,21	0,04	0,05
	7	29,72	34,89	34,08			
	6	32,68	34,96	34,47	0,23	0,01	0,03
	8	32,91	34,97	34,49			

A estação S6 é a última estação antes de entrar no estuário interno. Neste local o efeito da cunha salina deveria ser mais forte e o efeito do movimento da maré mais fraco. Os resultados mostram um aumento maior na salinidade média tanto na camada inferior quanto na superior. Os aumentos chegam a até 1,15 EPS, ocorrendo quando as descargas são máximas e não há ressaca. Este valor é observado no fundo, consistente com o processo de aumento da intrusão salina. A dragagem do fundo diminuiu os obstáculos naturais que impediam a cunha salina de viajar dentro do estuário. Consequentemente se espera que o nível de salinidade no fundo aumente.

Tabela 7 – Salinidade na superfície na estação S6.

		Mín (EPS)	Máx (EPS)	Médio (EPS)	Variação Mín (EPS)	Variação Máx (EPS)	Variação Média (EPS)
Cenários	1	21,71	33,31	26,38	1,60	0,68	0,54
	3	23,31	33,99	26,91			
	2	30,73	34,86	32,85	0,33	0,02	0,07
	4	31,06	34,89	32,91			
	5	21,53	33,41	26,45	1,32	-0,02	0,33
	7	22,85	33,39	26,78			
	6	30,44	34,87	32,65	0,48	-0,01	0,10
	8	30,92	34,86	32,75			

Tabela 8 – Salinidade no fundo na estação S6

		Mín (EPS)	Máx (EPS)	Médio (EPS)	Variação Mín (EPS)	Variação Máx (EPS)	Variação Média (EPS)
Cenários	1	24,95	33,86	30,32	2,30	0,29	1,15
	3	27,25	34,15	31,46			
	2	31,23	34,86	33,17	0,28	0,02	0,11
	4	31,51	34,88	33,28			
	5	24,71	34,07	30,42	0,95	-0,02	0,29
	7	25,66	34,06	30,71			
	6	30,99	34,86	33,08	0,36	-0,02	0,12
	8	31,35	34,85	33,20			

A estação S10 fica situada dentro do estuário, perto da bacia de evolução. Os resultados mostram um aumento geral no nível médio de salinidade entre 0,53 EPS e 1,69 EPS. Novamente os resultados mostram que o impacto sobre a estratificação é mais forte com uma grande contribuição fluvial e sem ressaca, justamente a condição onde a cunha salina tem maior dificuldade de adentrar o estuário. Com o aprofundamento do canal a entrada da cunha salina é facilitada.

Tabela 9 - Salinidade na superfície na estação S10

		Mín (EPS)	Máx (EPS)	Médio (EPS)	Variação Mín (EPS)	Variação Máx (EPS)	Variação Média (EPS)
Cenários	1	11,32	18,03	15,06	0,88	1,50	1,22
	3	12,21	19,53	16,29			
	2	23,76	29,82	26,91	0,68	0,30	0,53
	4	24,44	30,11	27,44			
	5	11,49	20,17	15,82	0,74	0,73	0,75
	7	12,23	20,90	16,57			
	6	23,99	29,61	27,04	0,65	0,49	0,54
	8	24,64	30,10	27,58			

Tabela 10 – Salinidade no fundo na estação S10

		Mín (EPS)	Máx (EPS)	Médio (EPS)	Variação Mín (EPS)	Variação Máx (EPS)	Variação Média (EPS)
Cenários	1	16,81	23,77	21,18	0,80	1,63	1,69
	3	17,60	25,40	22,87			
	2	26,28	31,01	28,94	0,53	0,36	0,58
	4	26,81	31,38	29,53			
	5	16,87	25,01	21,73	1,15	0,70	0,89
	7	18,02	25,71	22,62			
	6	26,59	31,15	29,05	0,56	0,30	0,58
	8	27,15	31,45	29,63			

Para avaliar o possível impacto causado nos manguezais pelas mudanças de salinidade foram utilizadas as estações MW1 e MW2. Para MW1 os resultados estão fornecidos na Tabela 11 e 12. Os resultados mostram um aumento de salinidade na área dos manguezais da ordem de 1,52 a 1,87 EPS. O mecanismo é o aumento da água no canal de navegação e isto influencia a salinidade nos manguezais.

Tabela 11 – Salinidade na superfície na Estação MW1

		Mín (EPS)	Máx (EPS)	Médio (EPS)	Variação Mín (EPS)	Variação Máx (EPS)	Variação Média (EPS)
Cenários	1	3,02	11,57	6,94	0,40	1,67	1,07
	3	3,42	13,24	8,01			
	2	18,91	26,55	22,30	0,21	0,31	0,65
	4	19,12	26,86	22,94			
	5	2,67	12,04	7,17	0,44	0,87	0,71
	7	3,11	12,91	7,88			
	6	17,21	24,96	21,71	2,20	0,93	0,97
	8	19,41	25,88	22,69			

Tabela 12 – Salinidade no fundo na Estação MW1

		Mín (EPS)	Máx (EPS)	Médio (EPS)	Variação Mín (EPS)	Variação Máx (EPS)	Variação Média (EPS)
Cenários	1	8,96	15,89	12,72	0,96	1,87	1,52
	3	9,92	17,75	14,25			
	2	22,53	27,83	24,71	0,48	0,34	0,70
	4	23,01	28,17	25,41			
	5	9,84	17,01	13,40	0,93	0,89	1,06
	7	10,76	17,90	14,46			
	6	22,36	26,90	24,47	0,96	0,64	0,91
	8	23,33	27,54	25,38			

A estação MW2, localizada na parte ocidental da laguna, não está no sistema lagunar que é inundado pelo canal de navegação. Os resultados para MW2 são apresentados nas Tabelas 13 e 14.

Os resultados mostram que os impactos são muito pequenos nesta parte do sistema. As mudanças são inferiores a 0,17 EPS. Estas mudanças são devidas às mudanças no padrão de fluxo e aos maiores volumes entrando e saindo, permitindo que a água do mar penetre mais longe nesta região do que sem o aprofundamento.

Tabela 13 Salinidade na superfície na Estação MW2

		Mín (EPS)	Máx (EPS)	Médio (EPS)	Varição Mín (EPS)	Varição Máx (EPS)	Varição Média (EPS)
Cenários	1	11,35	31,86	19,69	-0,13	-0,17	0,04
	3	11,22	31,68	19,73			
	2	27,53	34,60	31,28	-0,01	0,00	0,05
	4	27,52	34,60	31,33			
	5	12,86	31,04	20,40	0,04	0,05	0,17
	7	12,90	31,09	20,57			
	6	28,49	34,55	31,72	0,04	0,00	0,07
	8	28,53	34,55	31,79			

Tabela 14 Salinidade no fundo na Estação MW2

		Mín (EPS)	Máx (EPS)	Médio (EPS)	Varição Mín (EPS)	Varição Máx (EPS)	Varição Média (EPS)
Cenários	1	15,08	31,71	23,64	0,10	-0,11	0,17
	3	15,18	31,60	23,81			
	2	27,55	34,59	31,47	-0,01	0,00	0,02
	4	27,53	34,59	31,49			
	5	18,00	31,71	24,76	0,03	-0,02	0,06
	7	18,03	31,70	24,82			
	6	28,51	34,55	31,93	0,04	0,00	0,04
	8	28,55	34,55	31,97			

Nas Tabelas 5 a 14 são fornecidas as variações nas salinidades médias na superfície e no fundo. O resultado mostra que em geral as diferenças são relativamente pequenas. As maiores diferenças aparecem nas redondezas da bacia de evolução, no fundo, onde a profundidade aumentou significativamente. Isto fica mais pronunciado nos casos onde o fluxo fluvial de saída é pequeno e a cunha salina pode penetrar mais no estuário. As distribuições espaciais também mostram que o canal ocidental e os manguezais circundantes não são afetados pela dragagem do canal de acesso oriental. Uma visão geral das mudanças de salinidade está apresentada na Figura 12.

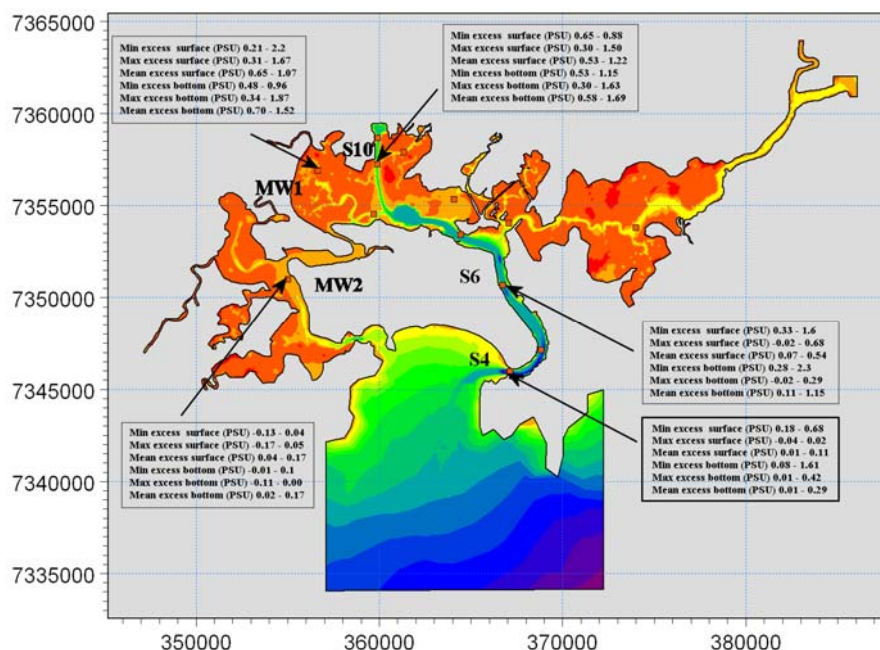


Figura 12: Propriedades da salinidade em vários pontos

CONCLUSÕES

O efeito da dragagem de aprofundamento do canal de navegação foi testado para diferentes condições de ressacas marítimas e contribuições fluviais. As principais conclusões do estudo são:

- A dragagem do canal de entrada ocidental irá conduzir a um aumento no prisma de maré em torno de 5% a 10%, dependendo de qual canal seja considerado.
- O aprofundamento irá causar um aumento geral nos níveis de salinidade na laguna de até 2%. O efeito é maior na parte interna da laguna. No fundo da bacia de evolução podem ocorrer salinidades mais altas. O aumento é menor nos manguezais a leste.
- Uma análise do tempo de residência na laguna mostrou em geral pequenas mudanças na capacidade de troca d'água do sistema.
- O ponto nodal (tombo de maré), localizado na parte interna do canal ocidental, não mostrou sinais de mudança de localização após o aprofundamento. A localização do ponto nodal se move ligeiramente com a contribuição fluvial.

BIBLIOGRAFIA

CODESP (2008). *Estudo de Impacto Ambiental da Dragagem de Aprofundamento do Canal de Navegação do Porto de Santos – SP*. EIA – RIMA.

DHI (2008). *MIKE 3 – 3D Modelling of Coast and Sea*. Manual.

INPH (2006). *Batimetria e Medições Hidráulicas no Estuário de Santos*. Relatório.