

**ESTIMATIVA DA TAXA DE DRAGAGEM ANUAL DE
MANUTENÇÃO DO CANAL DE ACESSO E BACIAS DE EVOLUÇÃO
DO PORTO DE SANTOS APÓS A OBRA DE DRAGAGEM DE
APROFUNDAMENTO PARA COTA – 15,00 m (DHN) E
ALARGAMENTO**



**ESTIMATIVA DA TAXA DE
DRAGAGEM ANUAL DE MANUTENÇÃO
DO CANAL DE ACESSO E BACIAS DE EVOLUÇÃO
DO PORTO DE SANTOS APÓS A OBRA DE
DRAGAGEM DE APROFUNDAMENTO
PARA COTA -15,00 m (DHN) E
ALARGAMENTO**

Relatório Final

Rev. 1

Interessada: Companhia Docas do Estado de São Paulo

Porto de Santos – Autoridade Portuária

Superintendência de Infraestrutura e Utilidades

São Paulo
Julho de 2013

I. INTRODUÇÃO

A Companhia Docas do Estado de São Paulo – CODESP – Autoridade Portuária de Santos, através da Superintendência de infraestrutura e Utilidades, tem a necessidade de dispor de uma estimativa da taxa de dragagem anual de manutenção do Canal de Acesso e Bacias de Evolução do Porto de Santos após a obra de dragagem de aprofundamento efetuada para a cota – 15,00 m (DHN) e alargamento, que foi iniciada na segunda quinzena do mês de fevereiro de 2010, tendo em vista caracterizar para a SEP – Secretaria de Portos, como as dinâmicas hidrossedimentológicas litorânea e estuarina afetam os serviços de dragagem.

A estimativa da taxa de dragagem anual de manutenção do Canal de Acesso e Bacias de Evolução do Porto de Santos após a obra de dragagem de aprofundamento efetuada para a cota – 15,00 m (DHN) e alargamento dependem das variabilidades climáticas ondulatórias e maregráficas na Baía de Santos, quanto ao Canal da Barra (Área 1), e hidrológicas das bacias hidrográficas contribuintes ao Estuário do Canal do Porto, principalmente do Rio Cubatão e secundariamente dos rios Quilombo, Jurubatuba, Diana-Sandi e Canal de Bertioga, quanto ao canal estuarino (Áreas 2, 3 e 4). De fato, a partir do conhecimento pretérito disponível sobre a dinâmica hidrossedimentológica em questão, em associação com os dados de dragagens, ondas, marés e precipitações pluviométricas nas vertentes das bacias hidrográficas, torna-se possível estabelecer um quadro do balanço de sedimentos, como proposto por ALFREDINI (2004).

O estudo da evolução dos fundos do sistema é fundamental para a compreensão do processo de assoreamento, podendo-se obter conclusões relevantes sobre as questões hidrossedimentológicas vigentes, tendo em vista as pretensões de ulterior aprofundamento do canal de acesso num futuro próximo para – 17,00 m (DHN).

O presente relatório de consultoria técnica tem por objetivo principal a estimativa de como as condições hidrossedimentológicas do Canal de Acesso e Bacias de Evolução do Porto de Santos, influenciam a estimativa da taxa de dragagem anual de manutenção na cota – 15,00 m (DHN) e com alargamento.

Como premissa, este relatório considera a operação dos equipamentos de dragagem como típicos de futuras operações de manutenção.

II. METODOLOGIA

Tendo em vista atender o objetivo estabelecido, foi seguida a seguinte metodologia:

- Levantamento e triagem da documentação técnica pretérita (Referências Bibliográficas).
- Levantamento e triagem da documentação técnica de sondagens batimétricas com arquivo digital de 1997 a 2003 e do alargamento e aprofundamento com manutenção para a cota – 15,0 m (DHN).
- Levantamento dos períodos e volumes de dragagem. Não foi possível dispor dos dados de 2010 a 2013, mas tão somente da localização das dragas por quinzena.
- Levantamento das informações maregráficas fornecidas pela Santos Pilots.
- Estudo do clima ondulatório de 1980 a 2012.
- Estudo hidrológico dos dados pluviométricos das bacias hidrográficas contribuintes ao Estuário do Canal do Porto.
- Estimativa dos volumes de contribuição sedimentar das bacias hidrográficas ao estuário.
- Cálculo das taxas de sedimentação referente ao gabarito do projeto geométrico do canal de acesso entre períodos de dragagem.

III. CONHECIMENTO SOBRE A EVOLUÇÃO DOS FUNDOS

III.1 Considerações gerais

Neste trabalho os trechos do Canal da Barra (Área 1), externo (exposto à agitação das ondas), e estuarino (Áreas 2, 3 e 4), interno (ao abrigo da agitação das ondas), foram considerados separadamente, uma vez que correspondem a distintos comportamentos hidrossedimentológicos (ALFREDINI, 2004).

Os citados trechos apresentam uma região extensa de interface na qual os fundos são mais estáveis, que pode situar-se do final de Conceiçãozinha ao início da Curva do Canal da Barra,

No trecho do Canal da Barra a fração granulométrica arenosa é mais significativa, não havendo confinamento pelas margens, com estratificação de densidade das águas não significativa para o transporte de sedimentos e apresentando ação dominante da agitação das ondas na baía, principalmente nos períodos de “storm surges”, ou ressacas. De fato, o transporte litorâneo longitudinal de W para E ao longo das praias da Baía de Santos reconhecidamente entulha os canais de drenagem e, conseqüentemente, o grande canal de acesso na Barra. É importante relevar que o transporte de sedimentos litorâneo longitudinal global na zona de arrebentação que interessa o Canal da Barra é proporcional ao quadrado da altura média anual das ondas na arrebentação (Galvin, 1972).

O trecho estuarino é controlado por um padrão dinâmico confinado pelas margens, sendo o assoreamento do gabarito de dragagem predominantemente na fração granulométrica do silte. Tal assoreamento tem como fontes sedimentares a embocadura na Baía de Santos, na Ponta da Praia (principalmente para a Área 2), e predominantemente a contribuição das bacias hidrográficas contribuintes ao estuário. O processo hidrossedimentológico é regulado predominantemente em sua maior extensão pelas características planialtimétricas do canal.

Os períodos críticos de assoreamento estão ligados ao estado do mar no Canal da Barra, de abril a setembro aproximadamente, enquanto no Estuário do Canal do Porto estão ligados aos períodos de maiores precipitações pluviométricas, de dezembro a março aproximadamente. Os volumes de sedimentação neste relatório serão considerados “in situ”.

III.2 Canal da Barra

A evolução dos fundos no Canal da Barra trata-se de um processo hidrossedimentológico de vasa de cunho areno-siltoso governado por tensões de radiação críticas da agitação ondulatória, capazes de mobilizar até as areias, complementadas por circulação de correntes produzindo o transporte em suspensão, traduzido pelo balanço sedimentar:

$$V_d + \Delta V = V_e$$

sendo:

V_d: volume de sedimentos “in situ” removidos do canal por dragagem.

ΔV : variação de volume “in situ” de depósitos.

V_e : volume “in situ” total, provindo principalmente de origem marítima, depositado no canal.

No Canal da Barra a evolução dos fundos dragados é diferenciada, sendo muito superior à média na região da curva do canal.

Em SONDOTÉCNICA (1977) pode-se estabelecer curvas características de assoreamento da resposta do canal aos aprofundamentos por dragagem. Este comportamento pode ser considerado representativo em condições médias ambientais da baía, o que permite supor que após novembro de 1975 este padrão tenha-se mantido, pois a área atual de despejo e a utilizada a partir de novembro de 1975 são próximas. Estes estudos apontavam os seguintes valores de assoreamento em volumes “in situ” para as diferentes cotas DHN do possível gabarito de dragagem:

- - 13,7 m (DHN): 900.000 m³/ano
- - 14,2 m (DHN): 1.300.000 m³/ano
- - 14,7 m (DHN): 1.600.000 m³/ano

A taxa média de assoreamento no trecho da Barra de Santos entre 1997 e 2003 foi calculada em ALFREDINI (2004). O intuito da obtenção desta taxa era o de validar os valores apresentados por SONDOTÉCNICA (1977). Com estes dados pretéritos tentou-se a extrapolação das taxas de assoreamento para as profundidades de -15,00 e -17,00 m (DHN) e foram ajustadas duas curvas de regressão que levassem em conta a não linearidade da resposta do assoreamento. Tendo em vista o alargamento previsto para o canal, bem como o incremento em seu comprimento, em função da necessidade de alcançar isóbatas mais profundas dentro da Baía de Santos, foram estimadas as novas taxas de evolução dos fundos. A nova área em planta, que será ocupada pelo canal de navegação contempla alargamento de 140 para 220 m no trecho retilíneo e sua extensão até as isóbatas de -15,00 e -17,00 m (DHN).

Cálculo do aporte de sedimentos

A Tabela 1 apresenta o resultado do balanço sedimentar para o canal da barra decorrente da aplicação da equação de balanço para os períodos com informações de dragagem entre 1997 e 2003. Já a Tabela 2 mostra as taxas de assoreamento mensais e a média anual para o referido período.

Tabela 1 – Balanço sedimentar aplicado ao Canal de Barra entre 1997 e 2003.

Período	ΔV (m ³)	Vd (m ³)	Ve (m ³)
Mai/1997 a Nov/1998	943.881	645.001	1.588.882
Ago/1999 a Abr/2000	-389.524	1.112.185	722.661
Abril/2000 a Jan/2001	1.002.207	2.084.815	1.082.608
Jan/2002 a Mar/2003	40.818	1.639.349	1.639.389

Tabela 2 – Taxas de sedimentação mensais e médias mensais e anuais entre 1997 e 2003.

Período	Meses	Ve (m ³)	Volume assoreado mensal (m ³)
Mai/1997 a Nov/1998	18	1.588.882	88.271
Ago/1999 a br/2000	8	722.661	90.333
Abril/2000 a Jan/2001	9	1.082.608	120.290
Jan/2002 a Mar/2003	14	1.639.389	120.012
Taxa Mensal média (m ³ /mês)			104.726
Taxa Anual média (m ³ /ano)			1.256.717

Como o cálculo do volume médio dragado para o período de 1997 a 2003 mostrou-se coerente com os valores obtidos em SONDOTÉCNICA (1977), pode-se montar a Tabela 3, que apresenta as taxas anuais de assoreamento em função da profundidade de manutenção do gabarito de navegação em relação ao nível de redução da DHN. A cota – 8,0 m foi adotada com base nas sondagens de MOUCHEZ (1867) e do BARÃO de TEFFÉ (1870), períodos em que não se dragava o Canal da Barra.

Tabela 3 – Resposta da sedimentação ao aumento da lâmina d'água.

Profundidade	Taxa de Assoreamento (m ³ /ano)
8	0
13,7	900.000
14,0	1.256.716
14,2	1.300.000
14,7	1.600.000

Estimativa do volume de manutenção

A taxa de evolução dos fundos tende a aumentar de forma não linear à medida que a cota batimétrica se afasta da profundidade de equilíbrio natural. Entretanto, não há uma lei geral que rege este comportamento. Sendo assim, foram testados dois ajustes não lineares, que tiveram seus parâmetros ajustados de forma a maximizar o coeficiente de correlação (r^2) em relação aos pontos da Tabela 3 e, desta forma, extrapolar os volumes de dragagem necessários para a manutenção das cotas. Dentre eles, optou-se pelo ajuste exponencial.

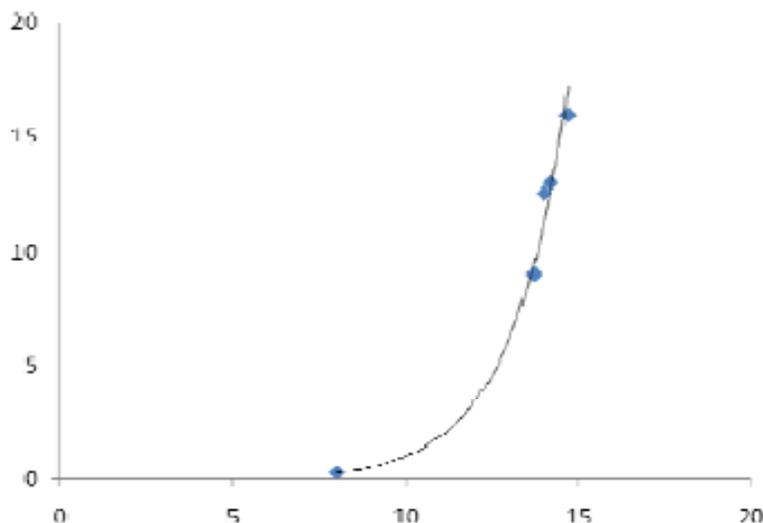


Figura 1 – Regressão exponencial de volume de sedimentação (em 100.000 m³) em função da cota de dragagem (m).

Na Figura 1 apresenta-se a regressão exponencial do volume anual assoreado em função da cota (DHN). Pode-se observar no andamento desta curva característica o conhecido comportamento apresentado de incremento não linear do gradiente de assoreamento na medida em que as cotas batimétricas se afastam da cota de equilíbrio natural.

A Tabela 4 apresenta as taxas de sedimentação anuais calculadas:

Tabela 4 – Sedimentação anual estimada para – 15 m e – 17 m (DHN) para o canal anteriormente ao alargamento.

Cotas DHN (m)	Assoreamento "in situ" (m ³ /ano)
- 15	2.050.000
- 17	6.800.000

Extrapolção das áreas

Os cálculos acima estimam um volume de dragagem anual para manutenção dos fundos do Canal da Barra do Porto de Santos considerando apenas a resposta do assoreamento ao aprofundamento do canal. No entanto, além do aprofundamento, há um aumento considerável da área a ser dragada, pois o canal sofreu um alargamento, passando de 140 m para 220 m de largura mínima. O aumento da área a ser dragada provoca um aumento no volume de sedimentos. No entanto, cada ponto isoladamente pode não responder da mesma forma ao aprofundamento. Assim, foi empregada premissa adotada por CARVALHO, que consiste em estimar o aumento dos volumes em função do incremento de área considerando que a taxa média de evolução de fundos se mantém constante.

Através das sondagens batimétricas, foi calculada a área do Canal da Barra para as condições atuais e considerando as expansões previstas. A partir da área e dos valores de volume "in situ" de sedimentos aportados em função da cota, calculou-se a taxa de evolução dos fundos em função da cota. A Tabela 5 fornece as taxas de sedimentação estimadas corrigidas pelas áreas em termos de volume assoreado "in situ".

Tabela 5 - Sedimentação anual estimada para – 15 m e – 17 m (DHN) no projeto atual.

Cotas DHN (m)	Taxa de Assoreamento Corrigida (m ³ /ano)
- 15	3.195.392
- 17	12.703.376

III.3 Estuário do Canal do Porto

III.3.1 Balanço sedimentar

Conceitualmente é possível propor um balanço sedimentar em volume "in situ" no tempo para o trecho estuarino traduzido por:

$$V_f + V_m - V_d = \Delta V$$

sendo:

Vf: volume “in situ” de aporte de sedimentos fluviais.

Vm: volume “in situ” de aporte de sedimentos marítimos.

Vd: volume de sedimentos “in situ” removidos do estuário por dragagem.

ΔV : variação de volume “in situ” de depósitos.

Neste balanço considera-se conservativamente não haver processos sumidouros para a baía, concentrando-se os sedimentos no estuário. Balanço semelhante, sem considerar Vf e nem retorno de dragados, foi considerado para o Canal da Barra, permitindo avaliar-se o volume de origem marítima.

Pode-se também conduzir a análise pela equação seguinte:

$$Vf + Vm = Vd + \Delta V = Ve$$

sendo:

Ve: volume “in situ” total, provindo de origem fluvial e marítima, depositado no estuário.

III.3.2 O termo ΔV

O termo de variação de volume “in situ” de depósitos é estimado com base nas diferenças volumétricas constatadas entre sondagens batimétricas desde a embocadura até os limites montante do estuário.

A CODESP forneceu as sondagens batimétricas digitalizadas disponíveis do Porto de Santos, com as quais pode-se dispor de um acervo suficientemente representativo de mais de 3 anos sobre a evolução dos fundos.

III.3.3 O termo Vd

O termo de volume de sedimentos na cisterna removidos do Estuário do Canal do Porto por dragagem não foi fornecido pela CODESP, o que inviabilizou a realização do balanço sedimentar, conforme efetuado em ALFREDINI (2004).

III.3.4 O termo Vf

O termo volume “in situ” de aporte de sedimentos fluviais deve considerar o transporte em suspensão de sedimentos siltosos (no máximo silto-arenosos) das principais bacias hidrográficas dos rios contribuintes ao Estuário do Canal do Porto, que são, pela ordem de importância: Cubatão-Perequê, Mogi-Piaçaguera, Jurubatuba e Quilombo. Os demais rios representam contribuição sólida muito reduzida, devido a representarem áreas de drenagem muito pequenas.

É relevante considerar que as vazões sólidas em suspensão na Bacia do Rio Cubatão são produzidas a partir de volume de sedimentos carreados da própria bacia, uma vez que

as vazões líquidas transferidas pelo turbinamento não carregam sedimentos em suspensão, pois provêm do reservatório Billings.

A correlação entre o aporte das vazões sólidas mensais medidas no Rio Cubatão durante um ciclo hidrológico e as precipitações pluviométricas mensais em sua bacia hidrográfica, caracterizada por sua cobertura vegetal, é conhecida (ALFREDINI, 2004), fornecendo a vazão sólida em suspensão em toneladas em função da precipitação em mm:

Esta correlação é considerada extensível às demais bacias hidrográficas, uma vez que a orografia e o índice de precipitação pluviométrica de todas são semelhantes, isto é com rios que nascem nas vertentes da serra, com curso médio curto desembocando em cones de dejeção na planície aluvionar. O sedimento introduzido no sistema pelos rios é parcialmente retido pelos manguezais, que ocupam grande parte do sistema, constituindo-se principalmente por quase toda a areia e o silte mais grosso.

Outro aspecto a considerar é o de que parte da vazão líquida, e conseqüentemente da vazão sólida, do Rio Cubatão acaba por escoar para o Estuário de São Vicente, através do chamado Braço Ocidental que deságua no Rio Cascalho e em seguida no Rio Casqueiro. Considerando que o tombo das águas entre os dois estuários, o qual depende das profundidades mantidas no canal de acesso, oscila entre o Casqueiro e o Largo do Caneú, pode-se considerar que da vazão sólida escoada pelo Braço Ocidental há contribuição oscilante para o Estuário do Canal do Porto. Assim, considerando conhecida a partição de vazões sólidas em suspensão pelos rios (ALFREDINI, 2004), chega-se ao resultado médio em torno a 66 % de Q correspondente ao aporte de sedimentos ao Estuário do Canal do Porto, parâmetro que será verificado com os dados deste relatório. Nestas considerações pode-se supor que o aporte do Rio Jurubatuba fique retido nos rasos dos Largos de Santa Rita e do Caneú. Para a passagem da medida em peso para volume “in situ” deve-se considerar o coeficiente 2,05 para que se obtenha o aporte em metros cúbicos “in situ”.

III.3.5 O termo Vm

O termo volume “in situ” de aporte de sedimentos marítimos da baía resulta da captação pela circulação de enchente do estuário de sedimentos muito finos de granulometria no máximo areno- siltosos pouco superior a 0,1 mm. A estimativa deste termo encontra-se na dependência da circulação residual das correntes de maré para o interior do estuário e do clima de agitação ondulatória na baía.

Os números acima citados são coerentes com a estabilidade da profundidade natural da embocadura (no nível da baixa-mar média de sizígia) pelo critério de per Bruun. De fato, as sondagens batimétricas efetuadas anteriormente às dragagens no Canal da Barra apontavam cota mínima em torno à - 8 m (DHN), o que corresponderia a um índice de Per Bruun igual ou superior a 150. O índice de Per Bruun corresponde a:

$$\Omega/M_{\text{tot}}$$

sendo:

Ω : prisma de maré (em m³) em sizígia

M_{tot} : transporte de sedimentos litorâneo global anual (em m^3 /ano) na barra

O valor do prisma de maré em sizígia é da ordem de $38 \times 10^6 m^3$. Assim, para o valor do índice de 150 obtém-se um transporte sólido de $254.000 m^3$ /ano, o que é coerente com as estimativas acima.

IV. EQUIPAMENTO E ATUAÇÃO DA DRAGAGEM

Para realizar o aprofundamento e alargamento do Canal de Acesso e Bacias de Evolução do Porto de Santos, o consórcio de empresas denominado Draga Brasil executou o serviço com a draga Xin Hai Hu de 13.500 m³ na cisterna e a Hang Jung 5001 de 5.000 m³ na cisterna. A Tabela 6, fornecida pela CODESP, apresenta a localização das dragas no canal de acesso quinzenalmente ao longo dos serviços realizados de fevereiro de 2010 a novembro de 2012, abrangendo aprofundamento e manutenção, sendo que as quadrículas em verde indicam dragagem efetiva e as em amarelo stand-by por motivos variados, sem dragagem.

No Canal da Barra – Área 1 – o aprofundamento ocorreu da segunda quinzena de fevereiro de 2010 à primeira quinzena de fevereiro de 2011. A primeira manutenção ocorreu da segunda quinzena de setembro a novembro de 2011. A segunda manutenção ocorreu da segunda quinzena de agosto à primeira quinzena de novembro de 2012.

No Canal Estuarino – Área 2 - o aprofundamento ocorreu da segunda quinzena de julho de 2010 à primeira quinzena de janeiro de 2011. A primeira manutenção ocorreu de março a maio de 2012.

No Canal Estuarino – Área 3 - o aprofundamento ocorreu da segunda quinzena de outubro a dezembro de 2010 e de fevereiro a julho de 2011. A primeira manutenção ocorreu de abril à primeira quinzena de julho de 2012.

No Canal Estuarino – Área 4 - o aprofundamento ainda não foi concluído, tendo sido iniciado em fevereiro de 2011 e continuado até junho de 2012.

V. DADOS UTILIZADOS

V.1 Sondagens batimétricas

A CODESP, forneceu as sondagens batimetrias digitalizadas disponíveis do Porto de Santos de janeiro de 2010 a março de 2013..

A CODESP considera o gabarito geométrico planialtimétrico do Canal de Acesso com as seguintes características por áreas do largo para o Terminal da Alamoá:

1. Canal da Barra ao Armazém 39 (Seção 0 a 115 + 60 m)
2. Do Armazém 39 à Torre Grande (Seção 115 + 60 m a 159 + 0)
3. Da Torre Grande ao Armazém 6 (Seção 159 + 0 a 193 + 40 m)
4. Do Armazém 6 à Alamoá (Seção 193 + 40 a 246 + 0). Por sua vez, esta área subdivide-se em:
 - 4A. Do Armazém 6 ao Valongo (Seção 193 + 40 m a 204 + 40 m)
 - 4B. Saboó (Seção 204 + 40 m a 209 + 20 m)
 - 4C. Do Saboó à BTP (Seção 209 + 20 m a 232 + 80 m)
 - 4D. Alamoá (Seção 232 + 80 m a 246 + 0)

É considerada como Bacia de Evolução uma faixa com largura em torno a 100m entre a faixa do berço e a borda do Canal de Acesso, com exceção do Terminal da Alamoá. No trecho de canal estuarino da Área 2 foi criada uma bacia de evolução alargada em até 500 m, fundindo três bacias entre os Armazéns 35 e 29/Mortona. Esta área de alargamento situa-se entre a Seção 130 + 0 e a 158 + 40 m, com alargamentos gradualmente crescentes linearmente.

A faixa dos berços é considerada como uma faixa com largura de 40 m a partir da linha de atracação.

Tabela 7 – Volumes “in situ” sondados nas áreas do canal de acesso ao Porto de Santos.

Levantamento Batimétrico	Data do levantamento	Área 1			Área 2			Área 3			Área 4		
		Projeto	Tolerancia	Total	Projeto	Tolerancia	total	Projeto	Tolerancia	total	Projeto	Tolerancia	total
LH-pé	20/01 a 14/04/2010	3467200,1	745152,7	4212352,8	1987773,4	357848,9	2345622,3	1633671,5	246965,7	1880637,2	4904176,4	465259	5369435,4
Andamento Set/2010	27/09 a 04/10/2010	855531,24	329857,36	1185388,6	321419,32	84454,55	405873,87	1804093,15	237090,79	2041183,94	5051407,04	433906,38	5485313,42
Andamento Out/2010	25, 26 e 29/10/2010	642666,17	319634,47	962360,64	146539,8	65280,65	211820,45	1563746,02	234896,04	1798642,06	5105721,85	430786,21	5536508,06
Andamento Nov/2010	22/11 a 03/12/2010	698700,94	337532,71	1036293,65	264584,47	68155,96	332740,43	846978,75	208967,59	1055946,34	5224426,31	438457,49	5662883,8
Andamento Dez/2010	27/12/10 a 14/01/2011	366678,5	197224,39	563902,89	245050,53	62234,33	307284,86	319792,67	105164,51	424957,18	5323000,05	440560,36	5763560,41
Andamento Jan/2011	27/01 a 07/02/2011	275313,52	363531,62	638845,14	243751,68	136622,37	380374,05	304986,39	188372,39	493358,78	5300550,7	740388,75	6040939,45
Andamento Fev/2011	23/02 a 08/03/2011	142269,45	226820,14	369089,59	267191,44	152660,58	419852,02	333341,84	201007,79	534349,63	5141637,59	740165,97	5881803,56
Andamento Mar/2011	29/03 a 16/04/2011	162905,73	290314,39	453220,12	312634,31	273723,78	586418,09	459131,38	230564,6	749695,98	3373988,99	666582,28	4640571,27
Andamento Abril/2011	25/04 a 12/05/2011	173697,78	396389,09	570086,87	323544,55	251101,16	574645,71	495477,04	292532,87	788009,91	3221830,07	652052,93	3873883
Andamento Maio/2011	23/05 a 28/06/2011	1301432,37	1083086,66	2384519,03	395462,91	336301,53	731764,44	535753,92	298769,26	834523,18	2284007,66	668411,99	2952419,65
Andamento junho - julho/2011	28/06 a 17/07/2011	972786,64	1041010,42	2013797,06	497638,27	341861,41	839499,68	541339,85	303837,98	845177,83	1791910,6	586728,87	2378639,47
Andamento julho-agosto/2011	18/07 a 17/09/2011	1453665,28	982730,99	2436396,27	490901,92	376076,76	866978,68	579785,96	313205,37	892991,33	1512710,16	463429,99	1976140,15
Andamento Agosto-Setembro/2011	25/08 a 17/09/2011	1650796,02	1116273,64	2767069,66	533260,53	367587,37	900847,9	642965,09	329444,09	972409,18	1428934,44	405300,4	1834234,84
Andamento setembro-Outubro/2011	27/09 a 14/10/2011	865518,63	1017107,51	1882626,14	642571,05	400613,62	1043184,67	626201,31	315187,94	941389,25	1530752,22	414712,21	1945464,43
Andamento Outubro-Novembro/2011	23/10 a 14/11/2011	289125,67	643490,13	932615,8	735551,75	419019,89	1154571,64	683466,82	326335,68	1009802,5	1533381,67	442689,71	1976071,38
Andamento Novembro-Dezembro/2011	03/11 a 20/12/2011	134351,91	511891,15	646243,06	711027,87	399585,51	1110613,38	707158,24	318251,95	1025410,19	1546439,73	452825,71	1999265,44

V.2 Dados disponíveis de dragagem do canal e dos berços

A CODESP forneceu informações detalhadas sobre os volumes na cisterna dragados de 1996 a 2002, subdividindo o trecho do Estuário do Canal do Porto do trecho do Canal da Barra, sendo que para o primeiro foi fornecida a informação separada Canal de Acesso e Bacia de Evolução dos volumes de manutenção dos berços (ver tabelas 8 e 9). Para os volumes de manutenção dos berços a CODESP sugeriu multiplicar os quantitativos informados por 0,85. Com base nestes dados é possível obter um coeficiente de proporção entre a dragagem dos berços e do canal para esta condição em que o canal ainda não havia sido alargado e aprofundado. Assim, a Área 2 abrange: Corredor de Exportação, Armazém 37, Macuco, TEFER e TECON, a Área 3 abrange: Paquetá e Armazém 23, a Área 4 abrange: Valongo, Saboó, Alamoia e Ilha Barnabé.

Tabela 8 – Volumes na cisterna dragados mensalmente no canal de 1996 a 2002.

	Material Dragado e Transportado no Porto de Santos				TOTAIS
	Canal da Barra	Bacia de Evolução entre Entrepósito de Pesca e Torre Grande	Bacia de Evolução entre Torre Grande e Saboó	Bacia de Evolução da Alamoia	
1996					
JANEIRO			11002,04		11002,04
FEVEREIRO		10531,13	52972,17		63503,3
MARÇO		4892,52	91.913,35		96805,87
TOTAIS 1996		15.423,65	155.887,56		171.311,21
1997					
OUTUBRO				70087,43	70087,43
NOVEMBRO	66526,14		25123,98	106574,3	198224,42
DEZEMBRO			95.008,57	583940,28	678948,85
TOTAIS 1997	66.526,14		120.132,55	760.602,01	947.260,70
1998					
JANEIRO	123683,39		97.877,32	454268,86	675829,57
FEVEREIRO	118845,92		104.793,52		223639,44
MARÇO	132.031,12		69.782,99	14.470,30	216284,41
ABRIL	7033,66	66057,23	63.828,47	51.413,80	188333,16
MAIO	150116,67	6971,14	18845,89		175933,7
JUNHO	126707,58	5118,38	36417,12		168243,08
JULHO	23999,9		111002,7		135002,6
AGOSTO	31944,71				31944,71
SETEMBRO	29627,68				29627,68
OUTUBRO	113893,22				113893,22
NOVEMBRO	79243,6				79243,6
DEZEMBRO	82305,7				82305,7
TOTAIS 1998	1.019.433,15	78.146,75	502.548,01	520.152,96	2.120.280,87
1999					
JANEIRO	70.262,74				70.262,74
FEVEREIRO	47.921,43				47.921,43
MARÇO					-
ABRIL					-
MAIO					-
JUNHO	4.979,49	244,10			5.223,59
JULHO	31.362,61				31.362,61
AGOSTO	132.800,10				132.800,10
SETEMBRO	510.436,10			39.558,20	549.994,30
OUTUBRO		72.333,24		25.991,25	98.324,49
NOVEMBRO		123.347,46			123.347,46
DEZEMBRO		44.131,88			44.131,88
TOTAIS 1999	797.762,47	240.056,68	-	65.549,45	1.103.368,60
2000					
JANEIRO	86.125,28	59.727,73			145.853,01
FEVEREIRO	134.194,85	29.124,82			163.319,67



MARÇO	772.197,04		31.786,82		803.983,86
ABRIL	1.173.018,83		69.660,89		1.242.679,72
MAIO	204.327,95		7.484,79		211.812,74
JUNHO	156.661,35				156.661,35
JULHO	85.422,42				85.422,42
AGOSTO	6.048,65				6.048,65
SETEMBRO	115.363,98				115.363,98
OUTUBRO	560.221,61		6.199,67		566.421,28
NOVEMBRO	547.970,76		29.205,63		577.176,39
DEZEMBRO	969.208,33		164.970,21	255.313,84	1.389.492,38
TOTAIS 2000	4.810.761,05	88.852,55	309.308,01	255.313,84	5.464.235,45
2001					
JANEIRO	172.093,04	42.448,36	127.466,78	345.251,17	687.259,35
FEVEREIRO	56.507,08	43.861,96	713.049,20	101.392,37	914.810,61
MARÇO		15.758,58	71.952,38		87.710,96
ABRIL	49.212,22		55.166,27	40.147,16	144.525,65
MAIO					-
JUNHO					-
JULHO					-
AGOSTO					-
SETEMBRO					-
OUTUBRO					-
NOVEMBRO					-
DEZEMBRO					-
TOTAIS 2001	277.812,34	102.068,90	967.634,63	486.790,70	1.834.306,57
2002					
JANEIRO					
FEVEREIRO					
MARÇO					
ABRIL	303.511,00				303.511,00
MAIO	49.825,00	281.954,96	49.361,23		381.141,19
JUNHO		418.507,55	224.758,02		643.265,57
JULHO			8.090,80	72.167,89	80.258,69
AGOSTO			24.633,00	257.647,00	282.280,00
SETEMBRO				810.826,00	810.826,00
OUTUBRO					-
NOVEMBRO	1.650.321,00	1.090.877,00			2.741.198,00
DEZEMBRO	211.679,00	108.865,00			320.544,00
TOTAIS 2002	2.215.336,00	1900204,51	306.843,05	1.140.640,89	5.563.024,45
ACUMULADOS	9187631,15	2424753,04	2362353,81	3229049,85	17203787,85



Tabela 9 - Volumes na cisterna dragados mensalmente nos berços de 1996 a 2002.

	Material dragado dos berços e transportado (m ³)									TOTAIS
	Alamoia	Valongo	I. Barnabé	Saboó	Paquetá-Arm 23	Macuco	Armazém 37	Tecon / Tefer	Corredor de Exportação	
1996										
JANEIRO					49.900,00				3.700,00	53.600,00
FEVEREIRO					4.000,00				33.600,00	37.600,00
MARÇO	68.400,00		6.700,00							75.100,00
ABRIL			24.250,00						2.250,00	26.500,00
MAIO			38.500,00							38.500,00
JUNHO			7.750,00							7.750,00
JULHO								33.750,00		33.750,00
AGOSTO								23.750,00		23.750,00
SETEMBRO								16.000,00		16.000,00
OUTUBRO								30.000,00		30.000,00
NOVEMBRO								27.250,00	21.750,00	49.000,00
DEZEMBRO								5.500,00		5.500,00
TOTAIS 1996	68.400	-	77.200	-	53.900	-	-	136.250	61.300	397.050
1997										
JANEIRO										
FEVEREIRO								37.000,00		37.000,00
MARÇO					3.250,00				36.750,00	40.000,00
ABRIL								30.000,00		30.000,00
MAIO	4.250,00							24.750,00		29.000,00
JUNHO	28.750,00									28.750,00
JULHO	13.000,00									13.000,00
AGOSTO	11.250,00									11.250,00
SETEMBRO	13.000,00		9.000,00							22.000,00
OUTUBRO			11.250,00				11.000,00			22.250,00
NOVEMBRO							22.250,00			22.250,00
DEZEMBRO			9.750,00				17.000,00			26.750,00
TOTAIS 1997	70.250	-	30.000	-	3.250	-	50.250	91.750	36.750	282.250
1998										
JANEIRO			65.750,00							65.750,00
FEVEREIRO			19.000,00						71.500,00	90.500,00
MARÇO				64.600,00	5.000,00	1.500,00			39.800,00	110.900,00
ABRIL			75.850,00	45.500,00		600,00				121.950,00
MAIO			50.300,00	32.500,00	3.200,00	1.200,00				87.200,00
JUNHO			63.300,00	46.800,00		600,00				110.700,00
JULHO						87.150,00				87.150,00
AGOSTO						37.350,00				37.350,00
SETEMBRO						33.850,00				33.850,00
OUTUBRO						28.250,00				28.250,00
NOVEMBRO						24.500,00				24.500,00
DEZEMBRO						9.000,00			20.750,00	29.750,00
TOTAIS 1998	-	-	274.200	189.400	8.200	224.000	-	-	132.050	827.850
1999										
JANEIRO							2.500,00		22.750,00	25.250,00
FEVEREIRO			8.250,00						24.500,00	32.750,00
MARÇO						18.500,00			17.500,00	36.000,00
ABRIL						40.750,00				40.750,00
MAIO						6.000,00		45.000,00		51.000,00
JUNHO			1.992,38				438,38	43.750,00		46.180,76
JULHO			74.107,61							74.107,61
AGOSTO	46.907,79		132.506,7	64.150,00			18.739,75	2.964,70		265.268,98
SETEMBRO	39.572,56			93.800,00		107.950,0				241.322,56
OUTUBRO	87.212,64		47.500,00	22.300,00		72.900,00				229.912,64
NOVEMBRO	63.884,51		21.100,00		9.600,00	162.450,0				257.034,51
DEZEMBRO	98.261,29					39.500,00				137.761,29
TOTAIS 1999	335.839	-	285.457	180.250	9.600	448.050	21.678	91.715	64.750	1.437.338
2000										
JANEIRO	54.591,33					14.732,00			53.732,00	123.055,33
FEVEREIRO	1.724,10							34.303,01	44.450,00	80.477,11
MARÇO								9.711,33	38.849,57	48.560,90
ABRIL	81.411,74							146.497,61	274.779,13	502.688,48
MAIO	21.626,65							45.960,92	44.310,72	111.898,29

JUNHO	30.281,71							103.000,00		133.281,71
JULHO	11.326,68							34.350,00		45.676,68
AGOSTO	26.008,22			10.250,00		95.200,00		22.200,00	4.100,00	157.758,22
SETEMBRO	121.505,36			67.200,00		12.000,00		10.400,00	25.200,00	236.305,36
OUTUBRO	54.209,49		39.592,92	23.900,00	2.000,00				5.500,00	125.202,41
NOVEMBRO				5.800,00				15.200,00		21.000,00
DEZEMBRO	22.636,00				0,00					22.636,00
TOTAIS 2000	425.321	-	39.593	107.150	2.000	121.932	-	421.623	490.921	1.608.540
2001										
JANEIRO	91.083,71							2.256,00	10.402,00	103.741,71
FEVEREIRO	7.512,00				42.385,41	16.500,00				66.397,41
MARÇO	1.544,06		2.346,83		26.873,16	59.336,69				90.100,74
ABRIL	81.563,63		90.899,55	600,00	12.286,43	154.451,0				339.800,60
MAIO					2.400,00					2.400,00
JUNHO			1.500,00							1.500,00
JULHO			4.449,71	1.200,00		3.212,06	10.017,00			18.878,77
AGOSTO			68.949,46	6.512,00		37.181,25	13.162,94			125.805,65
SETEMBRO						5.391,23	1.200,00			6.591,23
OUTUBRO						6.695,40				6.695,40
NOVEMBRO			3.068,00							3.068,00
DEZEMBRO			6.100,00							6.100,00
TOTAIS 2001	181.703	-	177.313	8.312	83.945	282.767	24.380	2.256	10.402	771.080
2002										
JANEIRO										-
FEVEREIRO									18.100,00	18.100,00
MARÇO							15.776,00		24.300,00	40.076,00
ABRIL						600,00			1.800,00	2.400,00
MAIO			14.670,00		52.254,00	66.788,00		13.200,00	2.200,00	149.112,00
JUNHO			8.640,82	16.000,00		192.387,4		27.600,00		244.628,24
JULHO	25.395,35		60.325,75	600,00	7.000,00	36.925,26	54.782,83	21.000,00	10.200,00	216.229,19
AGOSTO	98.276,63			34.400,00	500,00	35.431,30				168.607,93
SETEMBRO	2.700,00	3.790,00	9.446,00	3.300,00	21.600,00	6.053,00		3.386,00		50.275,00
OUTUBRO			30.829,00	33.300,00				40.383,00		104.512,00
NOVEMBRO			10.800,00	4.800,00	28.968,00					44.568,00
DEZEMBRO										-
TOTAIS 2002	126.372	3.790	134.712	92.400	110.322	338.185	70.559	105.569	56.600	1.038.508
ACUMULADO	1.139.485	3.790	941.275	577.512	217.317	1.414.935	166.867	712.913	791.473	5.965.567

Então, de acordo com os trechos, o coeficiente de proporção entre dragagem de berços com relação ao canal e bacia de evolução é de:

- Área 2: 1,082
- Área 3: 0,078
- Área 4: 0,700

Preliminarmente, para obter uma estimativa, serão consideradas estas mesmas proporções para os berços aprofundados para a cota – 15,00 m (DHN), embora tenha havido um aumento da largura do canal e bacia com relação aos berços. Também deve-se considerar que quando todos os berços estiverem aprofundados na cota – 15,00 m (DHN), suas taxas de assoreamento crescerão exponencialmente, o que compensaria a proporção anterior.

V.3. Condições maregráficas

Os níveis maregráficos foram gentilmente cedidos pela Santos Pilots, através do marégrafo da Praticagem do Porto de Santos. As leituras de níveis apresentadas estão referidas ao NR da DHN para o Porto de Santos. Desse modo, foi possível avaliar a intensidade das “storm surges” ao longo do período de dragagem. Os gráficos correspondentes estão desenhados na figura correspondente aos volumes de dragagem da Área 1.

V.4. Estimativa do clima ondulatório

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi desenvolvida especificamente uma base de dados de clima ondulatório de longo período (01/01/1980 a 06/08/2012), visando seu emprego na análise das características e frequência histórica dos eventos de tempestades extremas. Esta base de dados inclui a estimativa da onda significativa, período de pico espectral e direções espectrais. O “hindcast” em águas profundas (nodo S 26°; W 45°, lâmina d’água 1.521 m) foi desenvolvido por meio do “software” de geração ondulatória Wave Watch III, tendo sido os dados calibrados por meio dos dados do satélite Topex Poseidon ao longo da costa brasileira, e subsequentemente validados por meio de bóia direcional oceânica. Nas Figura 2 e 3 sintetizam-se os resultados obtidos.

Os dados indicam que os períodos inverniais de 2010 e 2011 apresentaram médias anuais de H_s máximas dos 32 anos avaliados, tendo como consequência os máximos aportes do transporte de sedimentos litorâneo longitudinal ao Canal do Porto. Considerando o quociente entre estes H_s máximos e o mínimo da série (ano de 1991), resulta 1,2. Assim, pode-se estimar, pela relação quadrática de Galvin, que a relação entre o aporte máximo e mínimo esperados esteja em torno a 1,44.

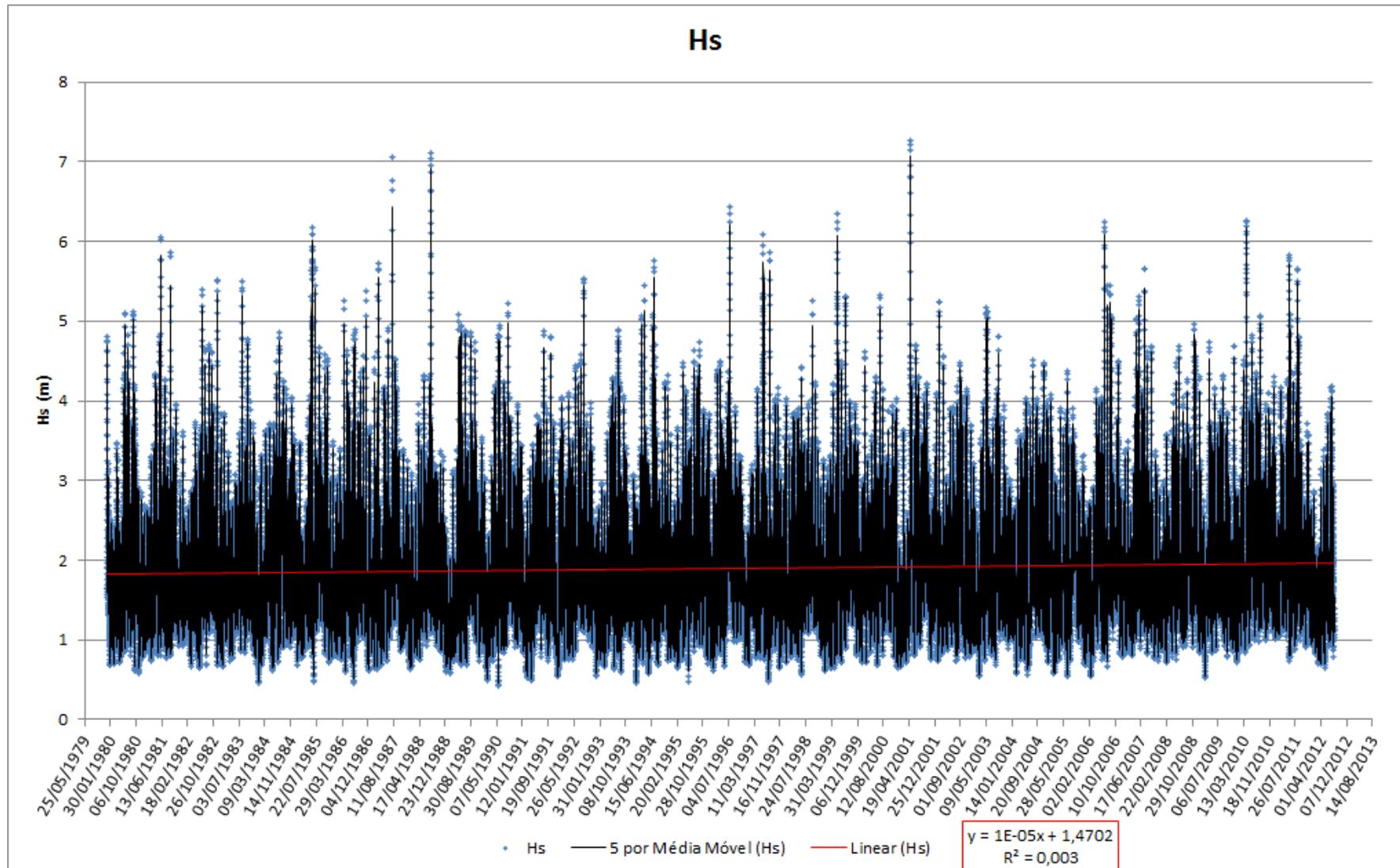


Figura 2 – “Hindcasting” de H_s para águas profundas da Baía de Santos.

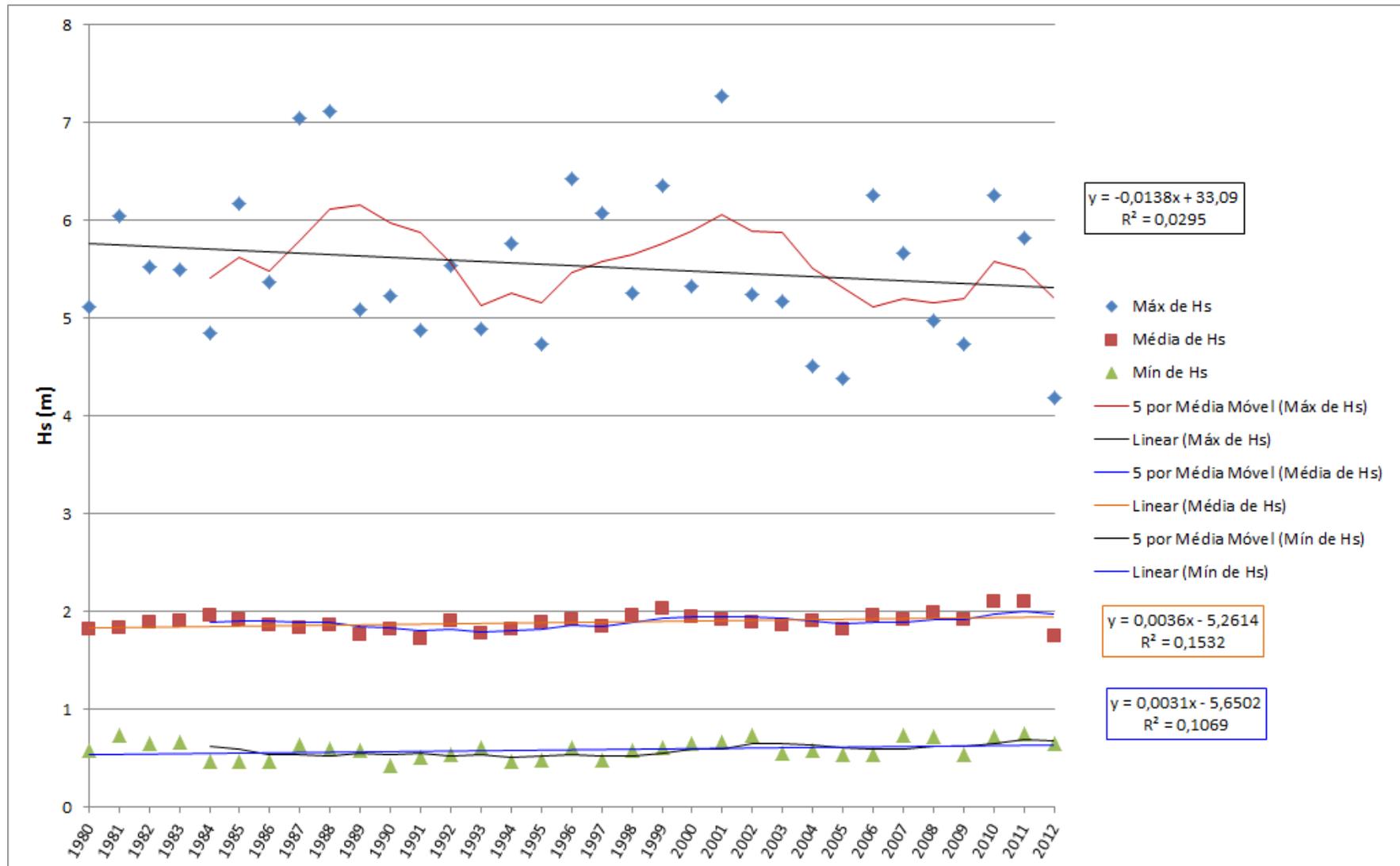


Figura 3 – Estatística anual de H_s para águas profundas da Baía de Santos.

V.5 Precipitações pluviométricas na Bacia do Rio Cubatão

As informações pluviométricas das vertentes das bacias hidrográficas foram obtidas de série histórica de longo período 1978 a 2013, a partir dos dados mensais da Rede Básica da Divisão de Hidrologia do Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 1978 a 2013). Foram utilizados os seguintes postos pluviométricos nas estimativas finais:

- E3-101 – Cubatão na Bacia do Rio Cubatão (2.335,7 mm/ano) – posto básico
- E3-037 – Paranapiacaba na Bacia do Rio Mogi (2.668,7 mm/ano) – posto básico
- E3-038 – Piaçaguera na Bacia do Rio Mogi (2.349,7 mm/ano) – posto básico
- E3-041 – Caete na Vertente Atlântica (3.549,3 mm/ano) como posto de referência atual.

Entre parêntesis foram assinalados os valores das médias anuais para o período de análise, tendo sido também estabelecidas as médias mensais para a substituição de falhas. A média geral dos três postos básicos fornece 2.451 mm/ano. Este valor é coerente com a ordem de grandeza da precipitação pluviométrica anual considerada à época do estabelecimento da correlação apresentada no item III.3.4, que foi de 2.535 mm. Valores mínimos e máximos anuais das precipitações nas vertentes dos postos básicos variaram entre 1900 e 3400 mm.

Pelas considerações acima, para o período de 2010 a 2012, foi possível dispor de dados medidos das precipitações para utilização na estimativa de Vf. Deste modo, verificou-se que o verão entre 2010 e 2011 pode ser considerado como representativo dos anos mais chuvosos (2844 mm, enquanto a média de 1978 a 2013 foi de 2322 mm) e que, por conseqüência, aportam grande quantidade de sedimentos ao canal e bacias estuarinas do Porto de Santos. Estima-se que no verão 2010-2011 este volume tenha atingido entre 2 e 2,5 milhões de m³. Evidentemente, não todo esse sedimento deposita-se nas áreas náuticas estuarinas, pois ocorrem retenções nos manguezais do baixo estuário dos rios, bem como nos largos do estuário. De acordo com ALFREDINI (2004), cifras médias deste aporte situam-se em torno a 1.400.000 m³, correspondendo a valores de assoreamento da ordem de 60% dos que ocorreram no verão de 2010 a 2011.

VI. Estimativa para o Canal da Barra – Área 1

O gráfico apresentado na Figura 4 evidencia o andamento dos volumes a dragar, em associação com a variação maregráfica, ao longo do período de aprofundamento e manutenção do Canal da Barra – Área 1.

No período compreendido entre a segunda quinzena de fevereiro e a primeira quinzena de setembro de 2011, primeiro período após o aprofundamento, os volumes a dragar cresceram em 2.397.980,1 m³ no total (considerando a tolerância) e 1.508.526,57 m³ no gabarito de projeto. Considerando um valor intermediário entre ambos chega-se a 1.953.253,33 m³ em 7 meses. Neste período, foi notável o incremento dos volumes de assoreamento entre abril e junho, devido a fortes ressacas ocorridas no período, conforme demonstrado na Figura 2. Esta mesma figura denota como o aporte (proporcional à relação quadrática da altura de onda) dos meses que completariam um ano, da segunda quinzena de setembro de 2011 à primeira quinzena de fevereiro de 2012, é significativamente inferior ao dos meses sem dragagem entre fevereiro e abril de 2011. Este último valor corresponde a um valor intermediário, como acima considerado, de 116.212,80 m³ em 2 meses.

Pelas considerações acima, a estimativa obtida para o aporte anual a ser dragado estimado com base no período anual entre fevereiro de 2011 e janeiro de 2012 é de 2.243.785 m³. Sendo este considerado um ano de grande aporte sedimentar, pela relação de Galvin. Para o extremo de um ano de menor incidência de tempestades, este volume poderia ser da ordem de 1.558.184 m³. Assim, como média, resulta 1.900.985 m³. De fato, o ano de 2012 apresentou um período invernal bem mais brando, o que permitiu um período sem dragagem de dezembro de 2011 à primeira quinzena de agosto de 2012.

Por outro lado, ao final do aprofundamento ainda havia 369.089,59 m³ a dragar considerando a tolerância e 142.269,45 m³ no gabarito de projeto, correspondendo a um valor intermediário de 255.679,52 m³. Este resíduo deve ser somado nas estimativas anteriores, o que fornece finalmente:

- 2.499.465 m³ em anos de máximo aporte sólido
- 2.156.665 m³ em anos de médio aporte sólido
- 1.813.864 m³ em anos de reduzido aporte sólido

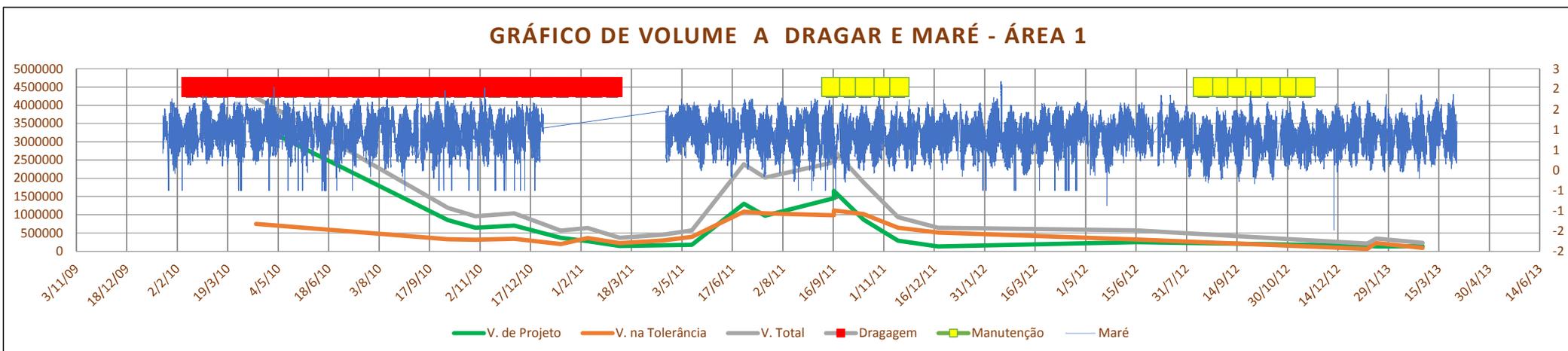


Figura 4 – Volume a dragar (m³ "in situ") no Canal da Barra, maré (Cota DHN) e atuação da dragagem – Área 1.

VII. Estimativa para o Canal Estuarino - Área 2

Os gráficos apresentados nas Figuras 5 e 6 evidenciam o andamento dos volumes a dragar, em associação com a variação pluviométrica e de aporte sólido fluvial, ao longo do período de aprofundamento e manutenção do Canal Estuarino – Área 2.

No período compreendido entre a segunda quinzena de janeiro de 2011 e fevereiro de 2012, primeiro período após o aprofundamento, os volumes a dragar cresceram em 805.711,66 m³ no total (considerando a tolerância) e 446.717,95 m³ no gabarito de projeto. Considerando um valor intermediário entre ambos chega-se a 626.214,80 m³ em 13,5 meses. Neste período, foi notável o incremento dos volumes de aporte fluvial entre dezembro de 2010 e março de 2011, devido a fortes chuvadas ocorridas na Vertente Atlântica no período, conforme demonstrado na Figura 5.

Pelas considerações acima, a estimativa obtida para o aporte anual a ser dragado estimado com base no período anual entre fevereiro de 2011 e janeiro de 2012 é de 556.635 m³, sendo este considerado um ano de grande aporte sedimentar.

Por outro lado, ao final do aprofundamento ainda havia 307.284,86 m³ a dragar considerando a tolerância e 245.050,53 m³ no gabarito de projeto, correspondendo a um valor intermediário de 276.167,70 m³. Este resíduo deve ser somado nas estimativas anteriores, o que fornece finalmente: 832.803 m³, como estimativa superior e 499.682 m³, como estimativa média.

Estimativa preliminar para a dragagem dos berços, respectivamente: 901.093 m³ e 540.656 m³.

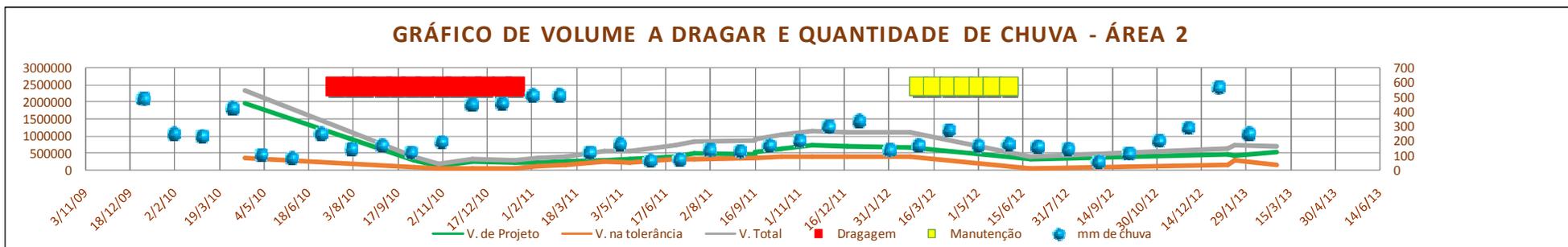


Figura 5 - Volume a dragar (m^3 "in situ") no Canal Estuarino, precipitações pluviométricas (mm/mês) nos rios e dragagem – Área 2.

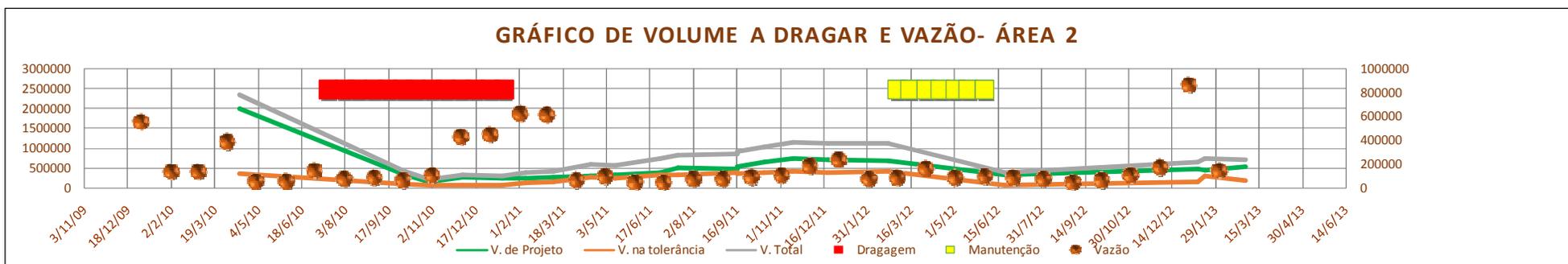


Figura 6 - Volume a dragar (m^3 "in situ") no Canal Estuarino, aporte sedimentar (m^3 "in situ") dos rios e dragagem – Área 2.

VIII. Estimativa para o Canal Estuarino - Área 3

Os gráficos apresentados nas Figura 7 e 8 evidenciam o andamento dos volumes a dragar, em associação com a variação pluviométrica e de aporte sólido fluvial, ao longo do período de aprofundamento e manutenção do Canal Estuarino – Área 3.

No período compreendido entre agosto de 2011 a março de 2012, primeiro período após o aprofundamento, os volumes a dragar cresceram em 258.306,57 m³ no total (considerando a tolerância) e 221.807,04 m³ no gabarito de projeto. Considerando um valor intermediário entre ambos chega-se a 240.056,81 m³ em 8 meses. Neste período, foi notável o incremento dos volumes de aporte fluvial entre dezembro de 2010 e março de 2011, devido a fortes chuvadas ocorridas na Vertente Atlântica no período, conforme demonstrado na Figura 7.

Pelas considerações acima, a estimativa obtida para o aporte anual a ser dragado seria de 360.085 m³, sendo este considerado um ano de grande aporte sedimentar.

Por outro lado, ao final do aprofundamento ainda havia 845.177,83 m³ a dragar considerando a tolerância e 541.339,85 m³ no gabarito de projeto, correspondendo a um valor intermediário de 693.258,84 m³. Este resíduo deve ser somado nas estimativas anteriores, o que fornece finalmente: 1.053.344 m³, como estimativa superior e 632.006 m³, como estimativa média.

Deve-se ressaltar que esta área teve interferências devido ao derrocamento das Pedras de Teffé e Itapema, o que não permitiu um aprofundamento maior no período analisado.

Estimativa preliminar para a dragagem dos berços, respectivamente: 82.161 m³ e 49.296 m³.

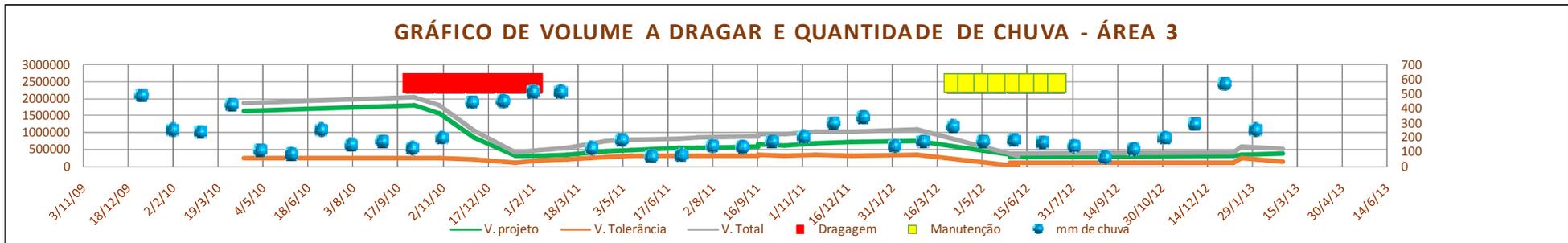


Figura 7 - Volume a dragar (m^3 "in situ") no Canal Estuarino, precipitações pluviométricas (mm/mês) nos rios e dragagem – Área 3.

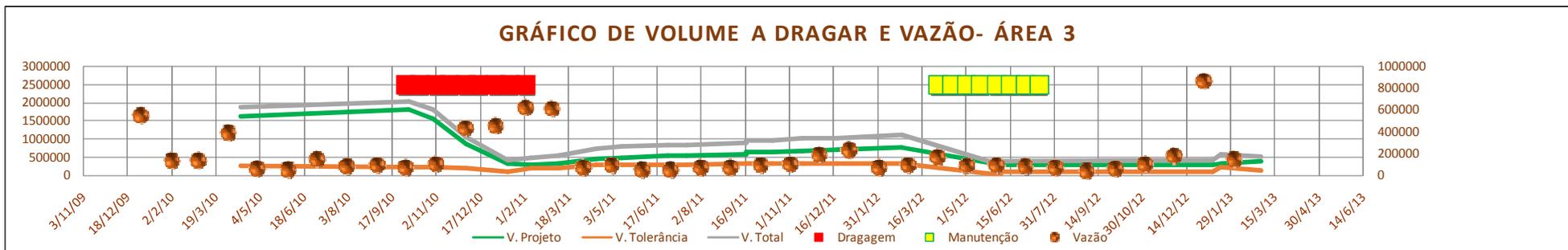


Figura 8 - Volume a dragar (m^3 "in situ") no Canal Estuarino, aporte sedimentar (m^3 "in situ") dos rios e dragagem – Área 3.

IX. Estimativa para o Canal Estuarino - Área 4

Os gráficos apresentados nas Figuras 9 e 10 evidenciam o andamento dos volumes a dragar, em associação com a variação pluviométrica e de aporte sólido fluvial, ao longo do período de aprofundamento e manutenção do Canal Estuarino – Área 4. O aprofundamento desta área ainda não havia sido encerrado quando foram fornecidos os dados para este relatório, devido à necessidade de dragagem sem “overflow” necessária nalguns trechos.

No período compreendido entre fevereiro de 2011 e junho de 2012, primeiro período de aprofundamento, os volumes a dragar foram reduzidos para 1.968.944 m³ no total (considerando a tolerância) e 1.631.849,59 m³ no gabarito de projeto. Até fevereiro de 2013, estes volumes cresceram, fornecendo acréscimos, respectivamente de: 595.227,42 m³ e 486.875,91 m³. Considerando um valor intermediário entre ambos chega-se a 541.051,67 m³ em 8 meses. Neste período, foi notável o incremento dos volumes de aporte fluvial entre dezembro de 2010 e março de 2011, devido a fortes chuvadas ocorridas na Vertente Atlântica no período, conforme demonstrado na Figura 9.

Pelas considerações acima, a estimativa obtida para o aporte anual a ser dragado é de 811.577 m³, sendo este considerado um ano de grande aporte sedimentar.

O resíduo intermediário de 1.800.396,80 m³ deve ser somado nas estimativas anteriores, o que fornece finalmente: 2.611.974 m³, como estimativa superior e 1.567.184 m³, como estimativa média.

Estimativa preliminar para a dragagem dos berços, respectivamente: 1.828.382 m³ e 1.097.029 m³.

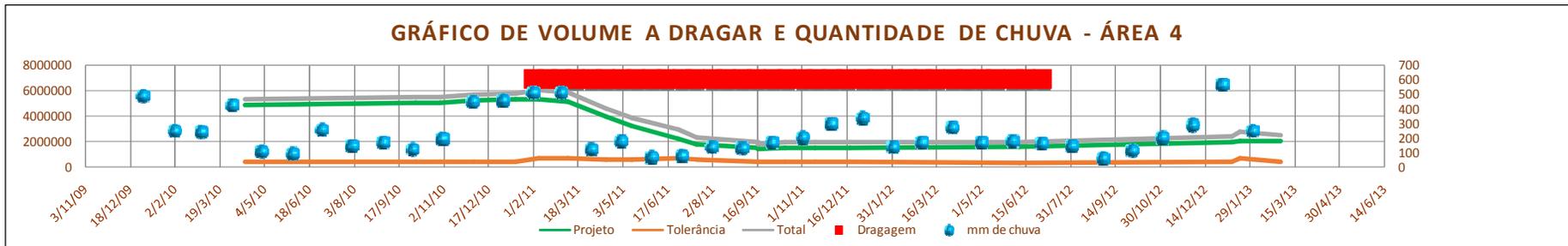


Figura 9 - Volume a dragar (m^3 “in situ”) no Canal Estuarino, precipitações pluviométricas (mm/mês) nos rios e dragagem – Área 4.

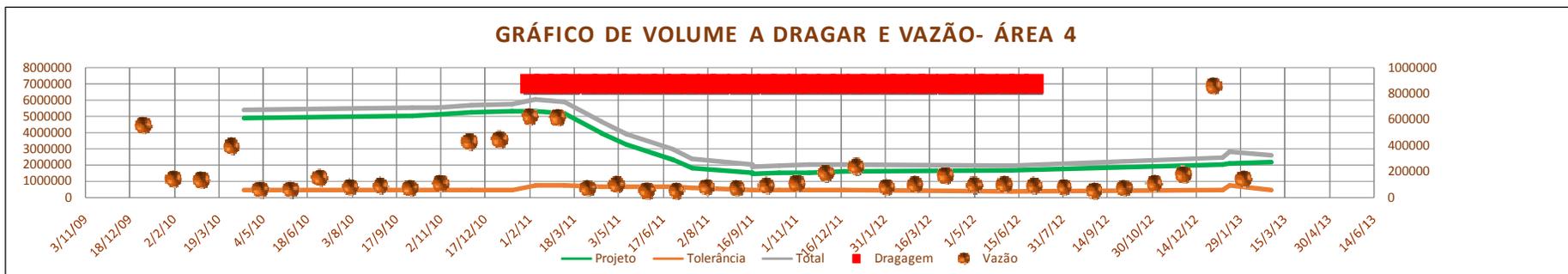


Figura 10 - Volume a dragar (m^3 “in situ”) no Canal Estuarino, aporte sedimentar (m^3 “in situ”) dos rios e dragagem – Área 4.

X. CONCLUSÕES

Tendo em vista os dados disponibilizados até o momento, estimam-se as seguintes taxas de dragagem anuais para o Canal de Acesso e Bacias do Porto de Santos no gabarito atual na cota – 15,00 m (DHN) e 220 m de largura, além da Bacia de Evolução alargada na Área 2:

Tabela 10 – Estimativa superior das taxas volumétricas anuais de dragagem (“m³ situ”)

Área	CANAL DE ACESSO	BERÇOS
1	2.500.000	-
2	800.000	900.000
3	1.100.000	100.000
4	2.600.000	1.800.000
TOTAL	7.000.000	2.800.000

Tabela 11 – Estimativa média das taxas volumétricas anuais de dragagem (“m³ situ”)

Área	CANAL DE ACESSO	BERÇOS
1	2.200.000	-
2	500.000	500.000
3	600.000	100.000
4	1.600.000	1.100.000
TOTAL	4.900.000	1.700.000

Nestas condições, a estimativa apresentada no item III.2, efetuada com base em dados pretéritos, revelou-se mais conservativa do que o esperado.

Como premissa, este relatório considera a operação dos equipamentos de dragagem como típicos de futuras operações de manutenção.

É relevante recordar que volumes comparáveis com as taxas volumétricas médias em m³ “in situ” já foram atingidos em 1982 (5.051.642 m³), em 1988 (4.629.624 m³) e em 2000 (5.158.398 m³) e em 2002 (4.907.522 m³). Assim, conclui-se, conforme ALFREDINI (2004), de que este nível de aprofundamento seria sustentável, lembrando que à época as cifras haviam sido estudadas sem o alargamento do canal, mostrando portanto significativa coerência de previsão.

Aprofundamentos maiores, como o preconizado na cota – 17,00 m (DHN) viriam a exigir a utilização de dragas de maior porte, e conseqüentemente maior custo de mobilização, atuando durante mais tempo pela elevada taxa de reposição esperada, e conseqüentemente podendo interferir significativamente na navegação pelo Canal de Acesso e operações nas bacias e berços, bem como mais rápida saturação da área de despejo, que deveria vir a ser ampliada. Embora as estimativas efetuadas no item III.2

tenham se revelado conservativas, especificamente quanto ao Canal da Barra, pode-se ter uma idéia da magnitude da faina.

Nesse sentido, recomenda-se que ulteriores aprofundamentos venham a ser realizados somente com a adoção de molhes guias-correntes no Canal da Barra, o que permitiria reduzir o volume de dragagem da Área 1, bem como ulteriores soluções de Engenharia para o Canal Estuarino, particularmente na Área 4. Observe-se que os molhes já trariam significativa redução para os volumes da Área 1 já para as condições atuais.

Recomenda-se que seja mantida uma avaliação permanente do rendimento dos serviços de dragagem, de modo a poder-se avaliar a efetividade da manutenção dos gabaritos requeridos para a segurança da navegação.

São Paulo, 28 de julho de 2013



Paolo Alfredini

CREA 0600808323

Especialista em Hidráulica Marítima e Engenharia Portuária

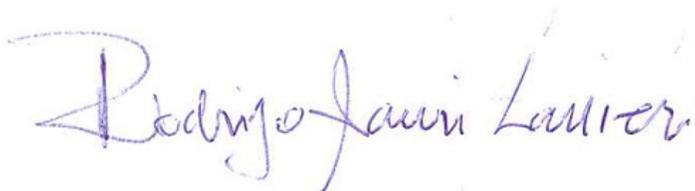
Professor Livre-Docente em Obras Hidráulicas Fluviais e Marítimas

Professor Titular da Universidade de São Paulo

Responsável pela Área de Hidráulica Marítima do Laboratório de Hidráulica da Escola

Politécnica da Universidade de São Paulo

Professor Titular da Escola de Engenharia Mauá



Rodrigo Sauri Lavieri

CREA 2610308191

Msc. Engenheiro Naval

Diretor

ARGONAUTICA ENGENHARIA E PESQUISAS

Colaboração técnica Eng.º **Daniel Rocha Lanzieri e Dra. Emilia Arasaki**

XI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFREDINI, P.. “Estudo sobre avaliação das taxas de evolução do fundo do canal de acesso ao Porto de Santos no período de 1997 a 2003. GH para a CODESP, 2004.
- _____; ARASAKI, E.; MOREIRA, A. S.; FOURNIER, C. P.; BARBOSA, P. S. M.; SOUSA Jr., W. C. “The future of Santos Harbour (Brazil) Outer Access Channel”. 2013.
- BANDEIRA, J. V.; AUN, P. E.; SANTOS, J. A.; BOMTEMPO, V. L.; SALIM, L. H.; MINARDI, P.S. – “Estudos da movimentação de sedimentos na Baía de Santos”. Anais do VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Salvador, 1987.
- BRASIL/MARINHA/DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - “Carta náutica 1701 – Porto de Santos”.
- _____/____ - “Carta hydrographica da Barra e Porto de Santos – levantamento de 1870”.
- BRASIL/CODESP/GERÊNCIA DE SUPRIMENTOS E SERVIÇOS – “Volumes dragados de 1978 a 2003 no Canal de acesso e berços”. Santos, 2003.
- _____/____/____ - “Informações sobre sondagens batimétricas , volumes e cronogramas da dragagem de aprofundamento e primeiras manutenções de 2010 a 2013”.
- _____/____/____/____/____/SONDOTÉCNICA- “Comportamento hidráulico e sedimentológico do Estuário Santista”. 1977.
- BRUUN, P. – “Stability of tidal inlets: theory and engineering”. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1978.
- CARVALHO, N.O. “Hidrosedimentologia Prática”. CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Rio de Janeiro.
- CHL CONSÓRCIO CRA, HIDROTOP E LBR “Documentação batimétrica”. Santos.
- HIDROTOPO – “Serviço de sondagem batimétrica no Canal de Acesso, Áreas Adjacentes e Bacias de Evolução do Porto de Santos”. Rio de Janeiro 1997 a 2003.
- MOUCHEZ, E. – “Carta Náutica do Porto de Santos – sondagem de 1867”.
- SÃO PAULO (Estado)/DAEE – “Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo”. São Paulo, 1978 a 2013.
- _____/SPH - SERVIÇO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS/LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA DA EPUSP – “Pesquisa sobre o assoreamento verificado na faixa portuária do Estuário Santista”. Relatório para a Companhia Docas de Santos, São Paulo, 1966.
- U.S. ARMY CORP OF ENGINEERS - “Shore Protection Manual”, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, 1984.