

# **Estimativa da Taxa de Assoreamento do Canal de Navegação do Porto de Santos**

Vitor de Oliveira Carvalho

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadores:

Susana Beatriz Vinzon

Co-Orientador:

Juliane Castro Carneiro

Rio de Janeiro

Setembro de 2016

# **Estimativa da Taxa de Assoreamento do Canal de Navegação do Porto de Santos**

Vitor de Oliveira Carvalho

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinado por

---

Profa. D.Sc. Susana Vinzón

---

Msc Juliane Castro Carneiro

---

Prof D.Sc. Marcos Gallo

Rio de Janeiro, RJ-Brasil

Setembro de 2016

Carvalho, Vitor de Oliveira

Título: Estimativa da Taxa de Assoreamento do Canal de Navegação do Porto de Santos / Vitor de Oliveira Carvalho – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica,2016.

VIII, 78p.:il.;29.7 cm

Orientador: Susana Beatriz Vinzón

Projeto de Graduação – UFRJ/POLI/Engenharia Ambiental,2016.

Referências Bibliográficas:

1.Taxa de Assoreamento. 2.Canal de Acesso do Porto de Santos. 3. Batimetria. I. Vinzón,Susana. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Título.

## **Agradecimentos**

Aos meus pais e familiares por terem me dado apoio para que chegasse até aqui.

Aos professores Susana Vinzon e Marcos Gallos que me orientaram no âmbito acadêmico e profissional

Aos professores da Engenharia Ambiental que me fizeram ser esse profissional qualificado.

Aos amigos do LDSC, no qual tive o grande prazer de conhecer, dentre os quais se destacam: Juliane, Laissa, Patricia e Ernesto, pois foram fundamentais nos ensinamentos que passaram.

Aos meu amigos da UFRJ que me aguentaram durante este tempo.

A minha namorada que ao longo deste 4 anos, me deu todo suporte necessário, sendo firme nos momentos certos e um doce com palavras sutis quando se fazia necessário.

## **Resumo**

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental

# **Estimativa da Taxa de Assoreamento do Canal de Navegação do Porto de Santos**

Vitor de Oliveira Carvalho

**Setembro/2016**

Orientador: Susana Beatriz Vinzon

Co Orientador: Juliane Castro Carneiro

Curso: Engenharia Ambiental

Compreender o assoreamento em períodos que são feitas grande pressões para as expansões do sistema aquaviário brasileiro é fundamental. O Porto de Santos dragou para 15 m seu canal de acesso, a fim de melhorar seu acesso aos terminais público-privado, no entanto não se sabe qual será o impacto com relação a deposição sedimentar desta interferência. Este trabalho tem como objetivo determinar quais são as áreas mais instáveis do canal de acesso e seu volume transportado por mês. Foi feita uma análise batimétrica dos 4 trechos presentes no canal, através dos dados disponibilizados pela SEP(Secretaria Especial dos Portos) utilizando o software ArcGis 10.1. Para os dados disponíveis, determinou-se que o trecho que mais assoreia no canal de navegação é o Trecho 1, sendo que 19% do assoreamento total do canal é referente a curvatura presente neste trecho.

*Palavras chave:* Porto de Santos; Assoreamento; Canal de Navegação; Batimetria

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer

## **Sedimentation Rate Estimate Navigation Channel port of Santos**

Vitor de Oliveira Carvalho

September/2016

Advisor: Susana Beatriz Vinzon

Co-Advisor: Juliane Castro Carneiro

Course: Environmental Engineering

Understanding silting in periods that are made great pressures you stop the expansion of the Brazilian waterway system is critical. The Port of Santos dredged to 15 m access channel in order to improve their access to public-private terminals, however it is not known what will be the impact in relation to sediment deposition of interference. This study aims to determine which are the most unstable areas of the access channel and volume transported per month. one bathymetric analysis of the 4 segments present in the channel has been made through the data provided by SEP (Special Secretariat of Ports) using ArcGIS 10.1 software. To the available data, it was determined that the stretch more silts in the navigation channel is Section 1, and 19% of the total channel silting refers curvature present in this stretch.

Keywords: Port of Santos; silting; Navigation Canal; Bathymetry

## Sumário

1. Introdução.....	12
2. Objetivos .....	16
2.1 Objetivo Geral .....	16
2.2 Objetivos Específicos .....	16
3. Caracterização Ambiental da Área de Estudo.....	17
3.1 Localização .....	17
3.2 Climatologia .....	21
3.2.1 Temperatura .....	21
3.2.2 Pluviometria .....	22
3.2.3 Ventos.....	22
3.3 Marés e Correntes .....	22
4. Fundamentação Teórica.....	25
4.1 Estuários.....	25
4.2 Plataforma Continental.....	29
5. Materiais e Métodos .....	31
5.1 Dados Batimétricos & Cartas Náuticas.....	31
5.1.1 Conjunto de Dados Batimétricos .....	32
5.2 Organização e Padronização .....	33
5.3 Ambiente Gráfico .....	36
5.3.1 Sistema de Informações Geográficas.....	36
5.4 Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE) .....	36
5.5 Cálculo dos Volumes .....	38
5.5.1 Volume.....	38
5.5.2 Taxas de Assoreamento .....	38
6. Resultados.....	39
6.1 Trecho 1.....	39
6.2 Trecho 2.....	46
6.3 Trecho 3.....	52

6.4 Trecho 4.....	60
7. Conclusão.....	68
8. Referência Bibliográfica.....	72
9. Apendice .....	75



Figura 17: Operação de dragagem entre as seções 4 e 5,o levantamento de Outubro de 2010(ESQUERDA) com profundidade de 13.5m e o levantamento de Dezembro de 2010(DIREITA) com profundidades de 15.2m.....	42
Figura 18: Operação de Dragagem no Trecho 1, Setembro de 2011(ESQUERDA) e Março de 2012(DIREITA). ....	43
Figura 19: Média do assoreamento feito por seção através do tempo no Trecho 1. ...	44
Figura 20:Taxa de Assoreamento por período de análise do Trecho 1. ....	45
Figura 21: Classificação granulométrica do Trecho 2 do Canal de Acesso do Porto de Santos de acordo com FRF(2008). ....	47
Figura 22: Comparação entre as batimetrias de Outubro de 2010(ESQUERDA) e Setembro de 2011(DIREITA) , sendo demarcadas as principais áreas de assoreamento as regiões entre as seções 14 e 16. ....	48
Figura 23: Batimetria referente à sondagem de Março de 2012(ESQUERDA) e Fevereiro de 2013(DIREITA), se destacando em preto, o desenvolvimento dos depósitos sedimentares do Trecho 2. ....	49
Figura 24:Comparação entre a batimetria de Abril de 2013(ESQUERDA) e Novembro de 2013(DIREITA). ....	50
Figura 25: Média do assoreamento feito por seção através do tempo no Trecho 2. ...	51
Figura 26:Taxa de Assoreamento por período de análise do Trecho 2.....	51
Figura 27: Derrocamento dos afloramento rochosos entre Outubro de 2012(ESQUERDA) e Dezembro de 2012(DIREITA) .....	52
Figura 28: Representação esquemática do perfil do canal do porto com 15 metros de profundidade com suas camadas de lama e o fundo de acordo com a classificação de Manning et al ,2010 (PIANC,1997). ....	53
Figura 29: Classificação granulométrica do Trecho 3 do Canal de Acesso do Porto de Santos de acordo com FRF(2008). ....	54
Figura 30: Comparação entre o levantamento de Dezembro de 2010(ESQUERDA) e Fevereiro de 2011(DIREITA). Em destaque a região na qual houve o maior assoreamento. ....	55
Figura 31:Operação de dragagem ocorrida nas seções finais do Trecho 3, entre os levantamentos de Fevereiro de 2013(ESQUERDA) e Março de 2013(DIREITA) .....	56
Figura 32: Assoreamento do Trecho 3 entre os meses de Março(ESQUERDA) e Setembro(DIREITA) de 2011 tendo destaque para as principais regiões com diferença de profundidade.....	57
Figura 33: Assoreamento ocorrido no intervalo de 5 meses entre Setembro de 2012(ESQUERDA) e Fevereiro de 2013(DIREITA).....	58
Figura 34: Média do assoreamento feito por seção através do tempo no Trecho 3. ...	59

Figura 35: Taxa de Assoreamento por período de análise do Trecho 3. ....	59
Figura 36: Classificação granulométrica do Trecho 4 do Canal de Acesso do Porto de Santos de acordo com FRF(2008). ....	61
Figura 37: Resultado da análise granulométrica dos sedimentos de fundo coletados em junho de 2011 no canal do Porto de Santos. A porcentagem de finos em cada amostra está indicada próximo aos gráficos.(FERREIRA.2013) .....	62
Figura 38: Comparação entre a batimetria de Outubro de 2010(ESQUERDA) e Dezembro de 2010(DIREITA) no Canal de Navegação. ....	63
Figura 39: Aprofundamento realizado no Trecho 4, atingindo os 16 de calado mínimo em Março de 2012.....	64
Figura 40: Comparação entre as batimetria de Março(ESQUERDA) a Setembro(DIREITA) de 2012. Em destaque a região na qual houve o maior assoreamento. ....	65
Figura 41: Comparação entre os levantamentos de Setembro de 2012(ESQUERDA) e Setembro de 2013(DIREITA), com as principais zonas de deposição demarcadas em preto. ....	66
Figura 42: Média do assoreamento feito por seção através do tempo no Trecho 4. ...	67
Figura 43: Taxa de Assoreamento por período de análise do Trecho 4 .....	67
Figura 44: Taxas de Assoreamento e Erosão para o Canal de Navegação do Porto de Santos. ....	68
Figura 45: Porcentagem do Assoreamento que ocorre nas regiões demarcadas. ....	70

## 1. Introdução

A evolução de um ambiente costeiro é o produto dos processos cíclicos baseados na erosão, transporte e deposição das partículas de sedimentos, os quais são submetidos a condições energéticas intensas sobre sua superfície como grandes ressacas, ventos fortes e marés meteorológicas. As modificações nas formas e características da distribuição dos sedimentos podem ocorrer em um curto período de tempo. (PERILLO, 1995).

Zonas costeiras constituem áreas de grande complexidade, nas quais efluentes são descarregados, recursos naturais são explorados e os sedimentos são erodidos, transportados e depositados. O resultado de toda essa atividade é que o desenvolvimento da costa resulta da interação entre processos naturais e antropogênicos, que podem ocorrer ou não em harmonia (FRENCH, 1997).

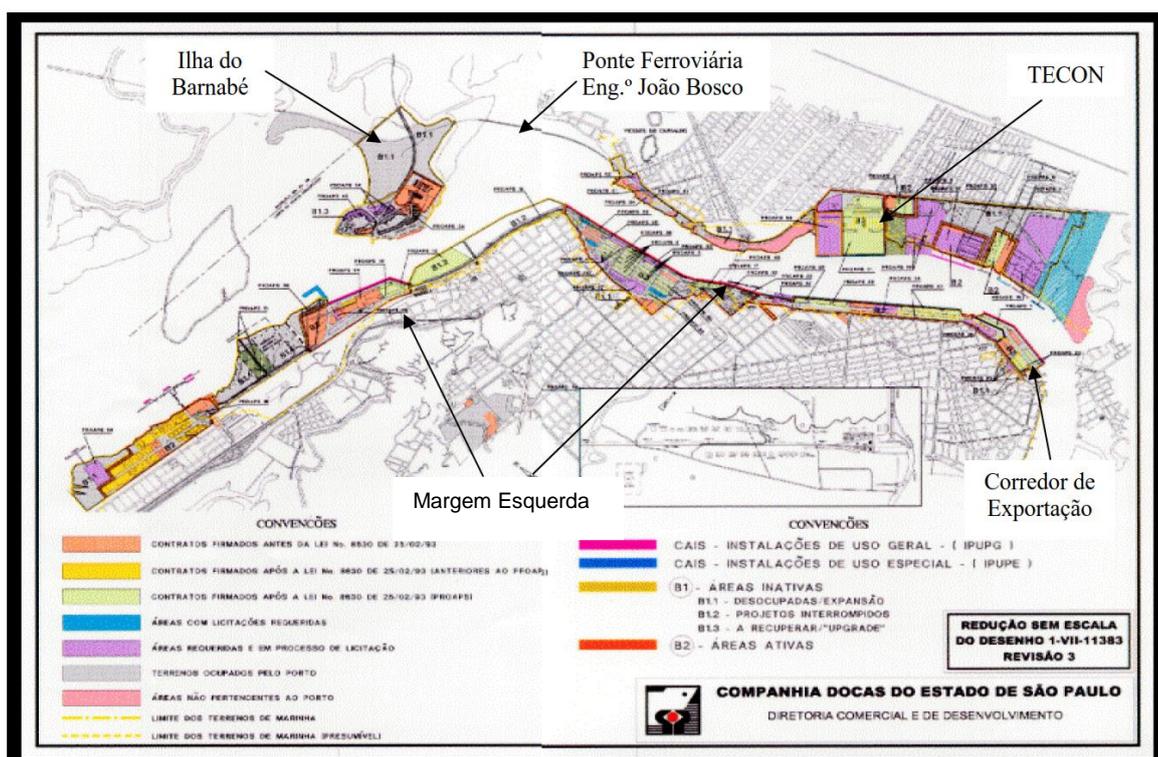
A atividade portuária é explorada desde 5000 A.C com os fenícios, onde seus portos eram dispostos em pontos estratégicos e abrigados, sem grandes perturbações. Porém, com a intensificação do comércio e mais especificamente com a globalização, a forma de transportar as mercadorias passou a ser um ponto chave no elo, adotando assim, a economia de escala. Esta economia se baseia na ideia de que quanto mais mercadoria são transportadas por um navio menor é o preço unitário pago final. No entanto esta ordem entra em conflito com a dinâmica natural do estuário que tendem a ter uma profundidade natural menor que os canais de acesso dos principais portos mundiais, desta forma faz-se necessário uma maior compreensão de seus processos dinâmicos e morfológicos para que se evitem intervenções antrópicas desnecessárias.

Pela instalação de terminais portuários em locais abrigados, ocorre por consequência concentração de indústrias e pessoas, pela proximidade de exportar seus bens de forma mais eficiente, rápida e gerando oportunidade de emprego, tanto direta quanto indiretamente.

No entanto, estas aglomerações tanto populacionais quanto industrial, caso não sejam feitas com ordenamento territorial, podem gerar níveis de poluição prejudiciais a saúde humana e do ecossistema.

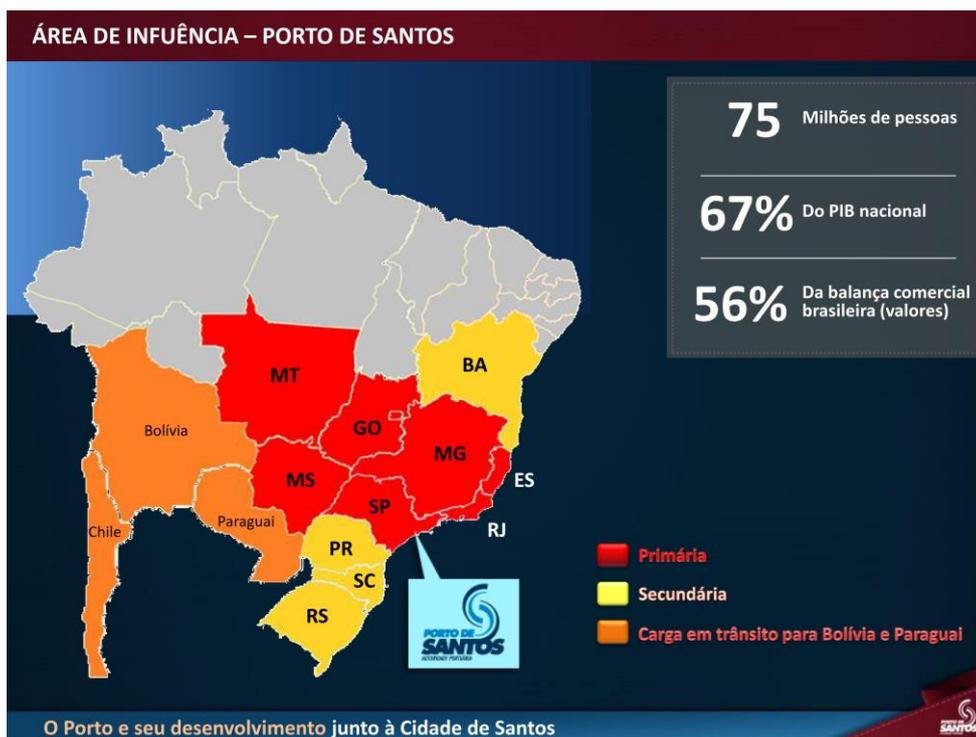
Neste contexto o Porto de Santos, por ser o principal porto da América Latina, seus problemas, mesmo que pontuais, são de extrema urgência para serem solucionados. Desta forma seus 62 berços de atracação necessitam de manutenções periódicas para atingir sua profundidade mínima e só será atingindo através da fiscalização periódicas e verificações através de levantamentos batimétricos.

O Porto de Santos apresenta uma área de aproximadamente 8 milhões de metros quadrados e um comprimento de 12 quilômetros de cais linear como pode ser visto na Figura 1 . Dentro destes 12 quilômetros há 62 berços de atracação. Com a expansão do Porto de Santos, passou a ter 16,6 quilômetros sendo que a maior parte está localizada na margem esquerda do canal de acesso.



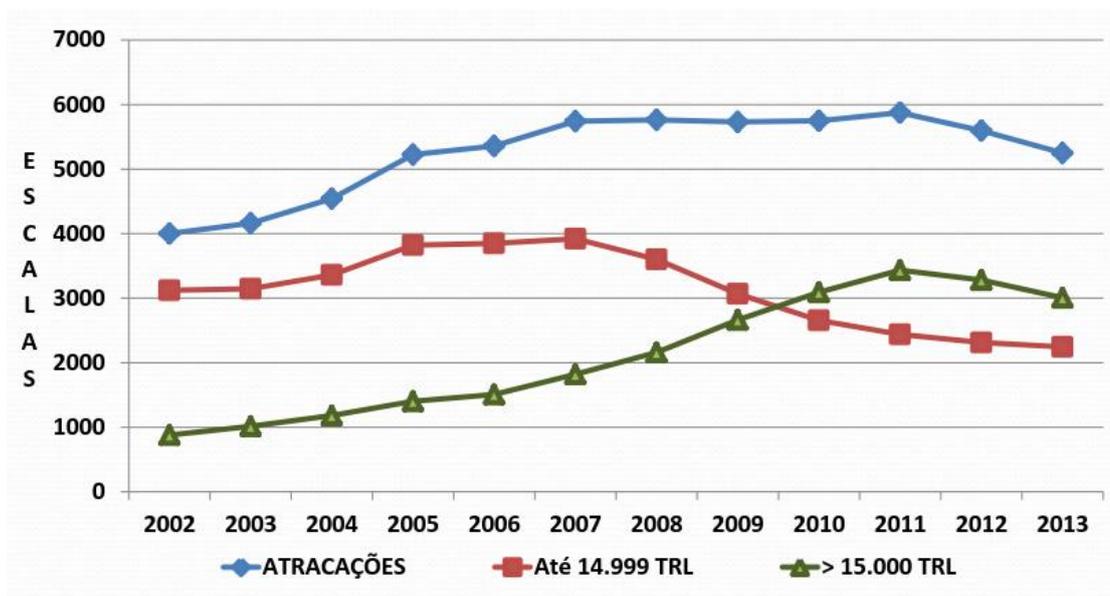
**Figura 1: Principais instalações portuárias da margem esquerda e direita em Santos (EIA - Dragagem de aprofundamento do canal e berços de atracação, 2007).**

A principal área de interesse para este estudo é o Canal do Porto de Santos, que conta com a CODESP (empresa público-privada) e outros terminais privados. Este porto, por ser o maior do Brasil, influencia a economia de outros estados como Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, que necessitam dele para o escoamento da produção de soja e milho, principalmente para países europeus, atuando em 11 estados que juntos representam 67% do PIB nacional e 56% da balança comercial brasileira (Figura 2).



**Figura 2: Área de Influência do Porto de Santos.**

Apesar destes valores expressivos no ano de 2006, de acordo com a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e o Sindicato dos Armadores, poderiam ter sido mais expressivos, pois eles realçaram que os portos não estavam operando em plena carga, sendo necessário esperar as condições de maré para os navios zarparem e atracarem e em alguns casos pagando multas e tributos por atrasos e isto se deu dentre outros motivos, por conta do aumento do porte dos navios a partir de 2010 (Figura 3).



**Figura 3: Escalas e Porte dos Navios em Santos (retirado de MOREIRA,A.S. Aumento de porte e redução de escalas – CODESP,2013).**

O assoreamento gera inúmeros problemas e atrasos, que acarretam em perda financeira, pois com o canal de acesso em condições que favorecem os riscos as embarcações, fazem com que os navios fiquem fundeados na Baía de Santos, necessitando de mais uma diária, em casos extremos pode ocorrer a desistência do negócio, choques do fundo da embarcação com o fundo do canal ocasionando graves derramamento de óleo, além de inviabilizarem operações em terminais por conta de aumentar o tempo de logística. Estima-se que para cada centímetro de calado deixado de ser utilizado por conta de redução de profundidade, os navios deixam de lucrar 24 mil reais.

Devido a estes problemas apontados, o estudo dos locais de assoreamento que são mais intensos é fundamental para o estabelecimento pleno de um grande empreendimento como o Porto de Santos.

## 2. **Objetivos**

### 2.1 **Objetivo Geral**

- Identificar e estabelecer quais são as áreas mais instáveis da via navegável e as taxas de assoreamento no Canal de Navegação do Porto de Santos(CNPS).

### 2.2 **Objetivos Específicos**

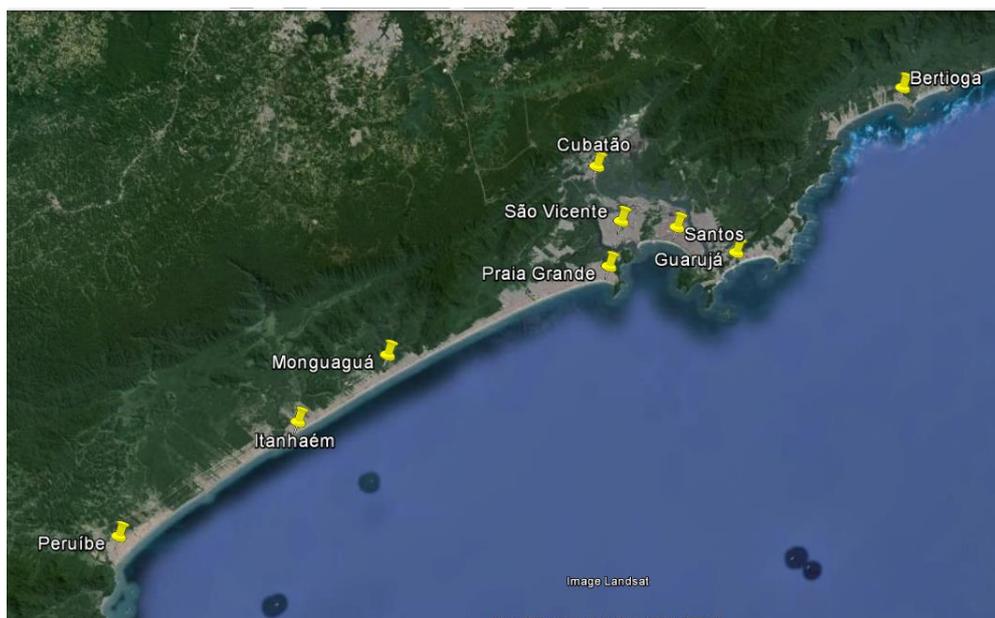
- Calcular as taxas de assoreamento das áreas entre os perfis ao longo do Canal de Navegação do Porto de Santos com comparação de batimetrias dos anos de 2010,2011,2012 e 2013.
- Setorizar o canal do Porto de Santos de acordo com as características sedimentares.

### 3. Caracterização Ambiental da Área de Estudo

Serão apresentadas as características principais a respeito do estuário santista, com foco em sua localização, climatologia, hidrodinâmica, suas características de maré, sedimentos e correntes litorâneas.

#### 3.1 Localização

A região estuarina, encontra-se na Região Metropolitana da Baixada Santista(RMBS) no Estado de São Paulo e é composta por nove municípios: Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Monguaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente. Possui como limites geográficos ao norte a Serra do Mar, a leste o Litoral Norte de São Paulo, ao sul o Oceano Atlântico e a oeste o Vale do Paraíba(Figura 4).

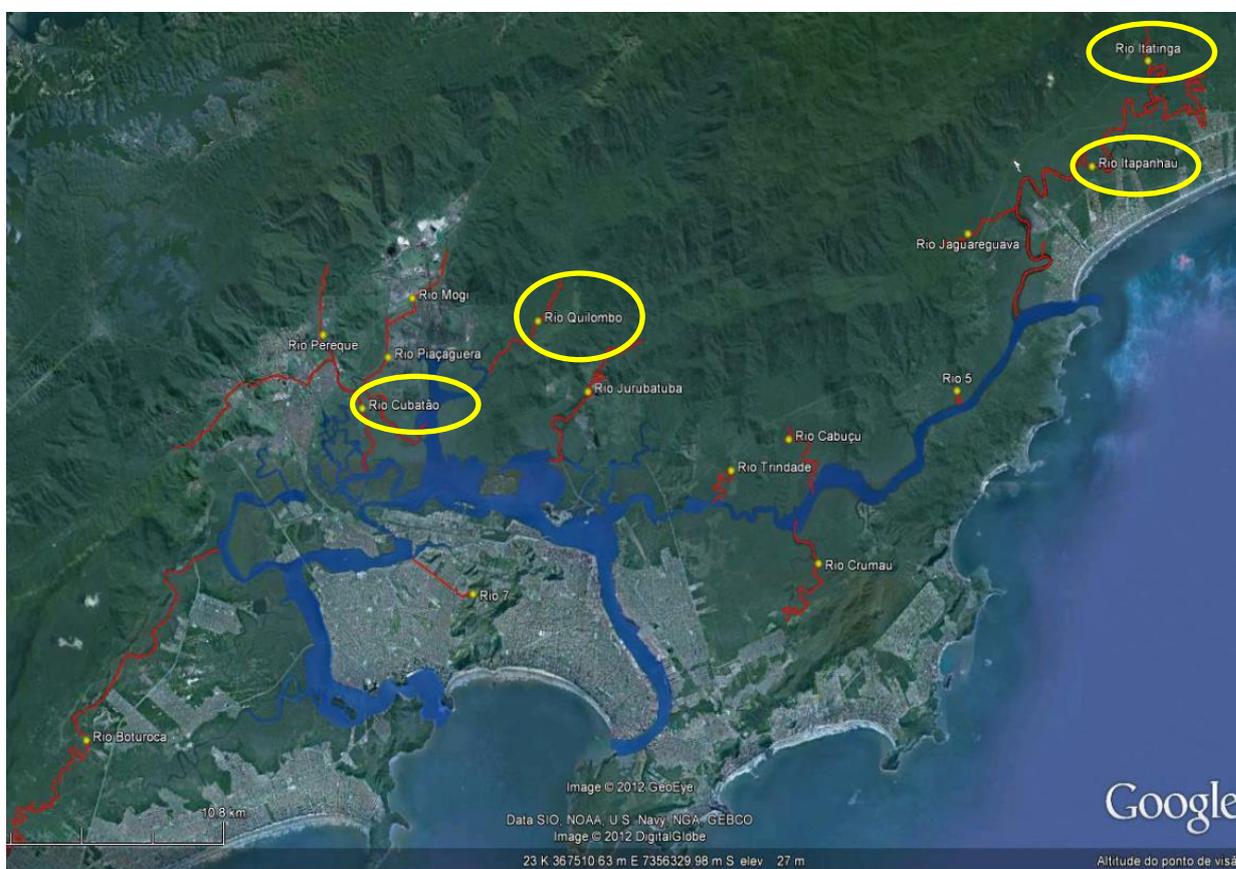


**Figura 4: Municípios que compõem a Região Metropolitana da Baixada Santista(RMBS).**

Os rios oriundos da Serra do Mar, cujos principais são: Cubatão, Quilombo e Jurubatuba caracterizam-se por apresentarem declividades extremas associadas a pequenas áreas de drenagem. As nuvens ao encontrarem uma barreira orográfica, precipitam na bacia hidrográfica e devido a pouca área de drenagem, os regimes de escoamento se tornam torrenciais, apresentando ondas de cheia esporádicas, de curta duração e com grande amplitude. A maior sub-bacia que se desenvolve na região é a do Rio Cubatão. Sua vazão natural é da ordem de 5,0 m<sup>3</sup>/s, podendo baixar a 1,4 m<sup>3</sup>/s na estiagem

e em condições excepcionais de cheia alcançar até 500 m<sup>3</sup>/s (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

No entanto, os rios não carregam consigo somente água, eles carregam também uma grande massa de sedimentos chamada de Vazão Sólida (Qs). Estes rios mencionados anteriormente e marcados na Figura 5 carregam um volume total de 1.193.810m<sup>3</sup>/s e apresentam como característica comum o alto nível de interferência antrópica, sendo o principal deles o Rio Cubatão. Além da alta carga orgânica que é despejada diariamente nestes rios, possui uma alta demanda hídrica por conta das indústrias instaladas e para o abastecimento público, sendo necessária uma boa gestão para o atendimento de todos.

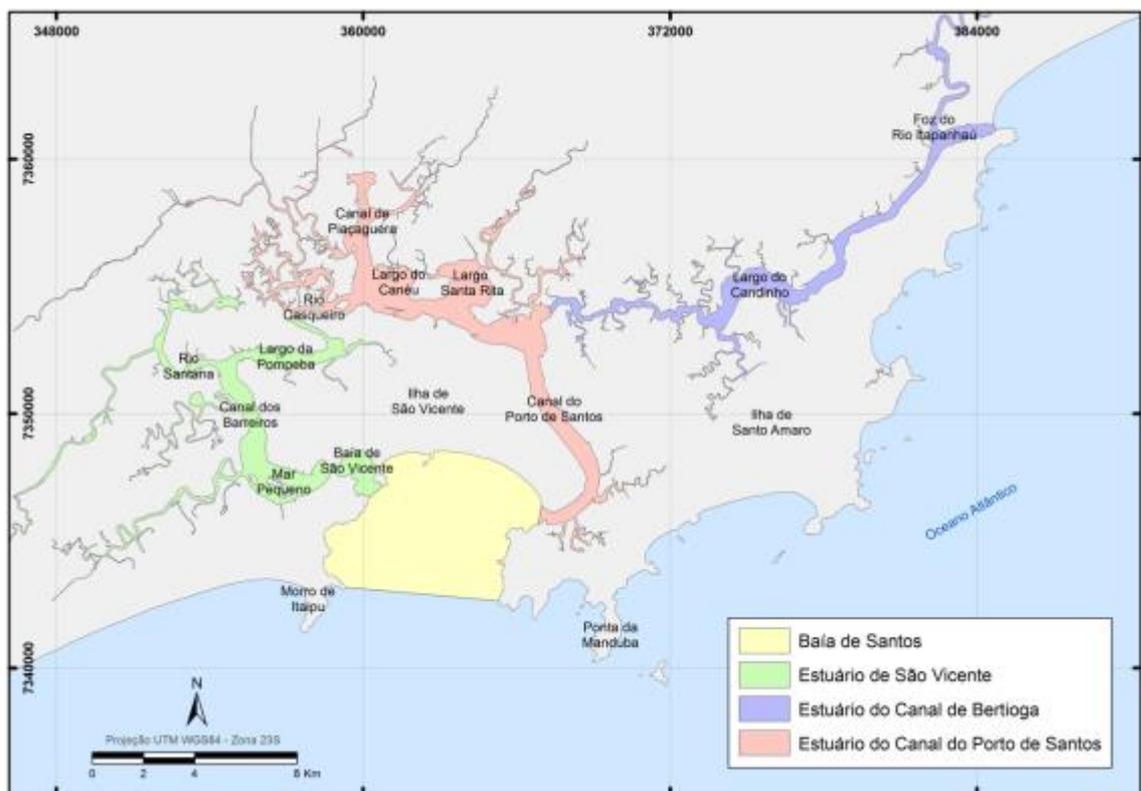


**Figura 5: Principais rios que influenciam o Estuário de Santos**

Dentro da Região Metropolitana da Baixada Santista o canal de Acesso do Porto de Santos é limitado por 2 grandes ilhas que estão distantes aproximadamente 100 km da cidade de São Paulo: a Ilha de São Vicente, que comporta os municípios de Santos e São Vicente e a Ilha de Santo Amaro, que comporta a totalidade do Município do Guarujá, sendo estes os principais polos econômicos da região.

O sistema estuarino de Santos é composto por três grandes regiões como pode ser visto na Figura 6, o Canal do Porto de Santos que separa os municípios de Santos e São Vicente do município de Guarujá, o canal de Bertioga, que separa a Ilha de Santo Amaro do Continente e possui ligação com o Canal de Acesso e por fim o Canal de Barreiros, que faz uma ligação via oeste contornando a Ilha de São Vicente (Figura 6).

- Estuário do Canal de Bertioga → Dentre o sistema estuarino, este é o maior canal, possui aproximadamente 25 quilômetros com sua desembocadura a oeste no Oceano Atlântico e a leste possui sua conexão com o Canal do Porto de Santos. Dentre todos estes é o mais limitado com relação à troca de água com os outros sistemas (MIRANDA et al, 2010), possui uma profundidade média de 5m.
- Estuário do Canal de São Vicente → Este canal está situado a oeste da Ilha de São Vicente e possui sua desembocadura no Noroeste da Baía de Santos, seu canal principal possui aproximadamente 16 km de extensão, uma profundidade média de 5 metros e largura de 600 metros.
- Estuário do Canal do Porto de Santos → É o principal canal de acesso do sistema estuarino, pois é localizado o porto público-privado. Possui uma ligação a nordeste com a Baía de Santos que se estende até a cabeceira, onde se localiza a COSIPA (Companhia Siderúrgica Paulista) cujo comprimento atinge 14 quilômetros. Este canal possui uma largura média de 400 metros e uma profundidade média de 12 metros, porém na sua conexão com a baía verifica-se profundidade de 21 metros e um estrangulamento nesta seção atingindo 200 metros de extensão.
- Baía de Santos → Como foi dito anteriormente, a baía recebe águas oriundas do canal de São Vicente a oeste e a leste ela recebe do Canal do Porto de Santos, com uma extensão de 6km de largura, ela faz limite com o Oceano Atlântico na parte sul.



**Figura 6: Localização dos Canais no Estuário de Santos (retirado de Roversi Estudo Hidrodinâmico e de Renovação das Águas do Sistema Estuarino de Santos - 2012).**

## 3.2 Climatologia

### 3.2.1 Temperatura

A classificação da região de acordo com KOTTECK et al (2006) considera o clima quente e úmido, com temperatura média superior aos 22°C (Figura 7) e a umidade relativa fica em torno dos 85% (CPEA,2009).

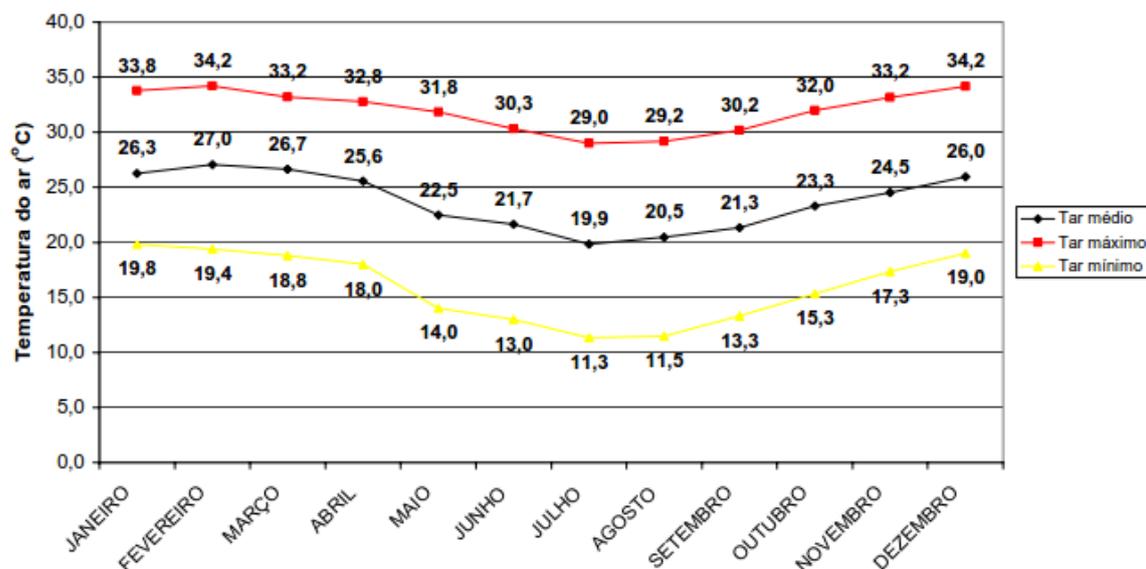


Figura 7: Temperatura média de 2000 a 2005 à 3m de altura na Estação Santos-SP (INMET).

As principais massas que influenciam no clima da região são: Massa Polar e a Massa Tropical Atlântica, a primeira é fria e úmida e formada em altas latitudes no hemisfério Sul e a segunda é quente e úmida, com formação no Atlântico Sul que atua durante o ano inteiro na região. No inverno, a massa polar é responsável pela redução da temperatura na região, pelo seu avanço, porém no verão esta massa se retrai, há o avanço da massa tropical e em alguns momentos há o encontro destas massas provocando chuvas que é adicionado ao efeito orográfico resultando em altos índices pluviométricos e grande instabilidade.(SHS,2010).

### 3.2.2 Pluviometria

Quanto à pluviometria, a região possui precipitação média anual de 2130 mm na estação do Departamento de Água e Energia Elétrica localizado no município do Guarujá conforme HARARI et al.(2008). Um estudo realizado por CPEA (2009) desde 1934 a 2004 indicou que Agosto é o mês seco (155mm), corroborado pelo período de inverno, que no Brasil é mais frio e seco. E o mês mais chuvoso é Fevereiro (420mm), que no Brasil é o período de verão, quente e úmido. Por termos 2 estações mais típicas que as demais, 65% da precipitação média anual ocorre no período de verão, correspondente aos meses de novembro a março.

### 3.2.3 Ventos

Na região da baixada santista, predominam ventos de leste com 3 m/s de intensidade com duração de 5 a 10 dias. Quando há a inversão destes, passando a soprar para oeste e norte, com rajadas de ventos com algumas horas de duração atingindo velocidade superiores de 10 m/s. Estas rajadas são caracterizadas pela entrada de frentes frias que são acompanhadas por ventos do sul com magnitudes de 5 a 10 m/s com duração de até 3 dias. (HARARI et al, 2008).

### 3.3 Marés e Correntes

A maré é um efeito periódico que se dá devido às interações das forças gravitacionais entre a Terra e demais astros, sendo os principais deles a Lua e o Sol. Esta combinação de forças rotacionais fazem com que nossos oceanos tenham um aumento do seu nível ou rebaixamento do mesmo.

Estudos feitos por HARARI e CAMARGO (1998) mais de 90% da energia de maré no estuário de Santos são responsáveis por estas componentes harmônicas, sendo a principal a M2. Além disto, nota-se que a maré de Santos é caracterizada como uma maré semi-diurna, pois há duas preamares e 2 baixa-mares no período de 24 horas e 50 minutos, que é o período de translação da Lua em torno da Terra, e o estuário é descrito como uma região de micromaré de acordo com DAVIES (1964) apud DYER (1997) por possuir uma amplitude menor que 2 metros. Ter conhecimento desta condicionante é fundamental, pois por transportarem energia, será fator preponderante para a deposição ou erosão dos sedimentos.

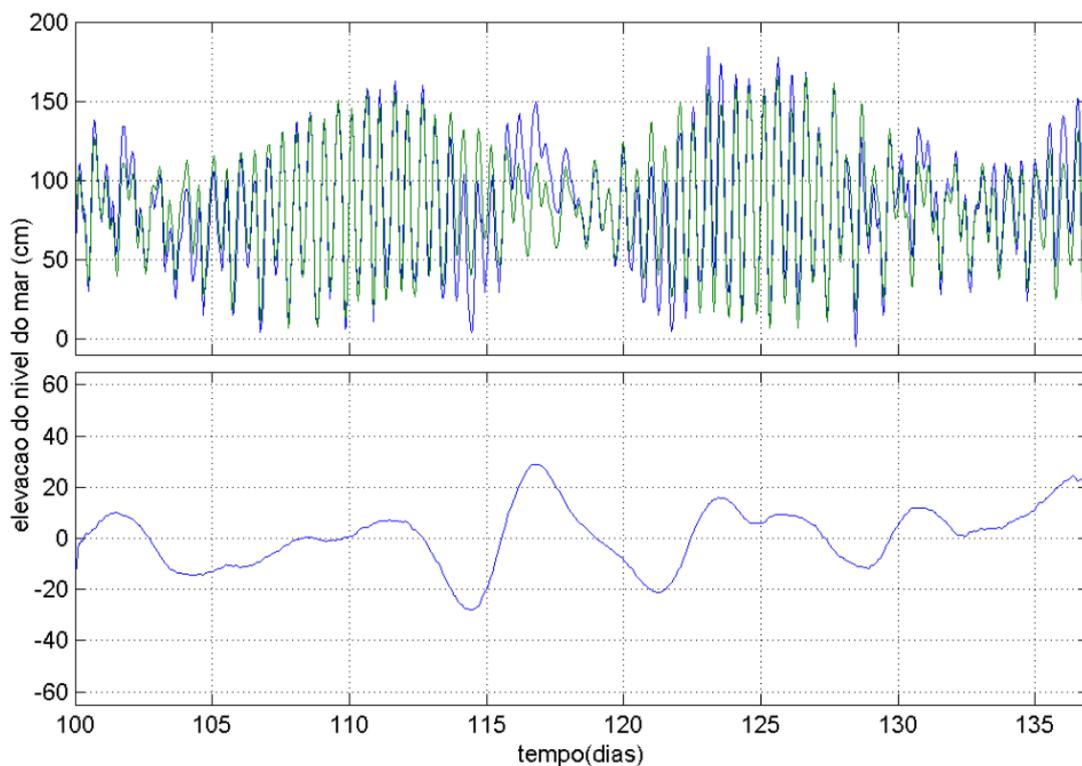
A Tabela 1 apresenta as principais componentes harmônicas para a estação, com os valores das fases em graus relativo a hora local.

Componente	Amplitude(cm)	Fase(Graus)
Q1	3,2	33
O1	9,6	84
P1	2,2	104
K1	6,7	106
N2	4,6	149
M2	35,3	81
S2	22,9	75
K2	6,2	75
M3	4,5	198

**Tabela 1: Componentes Harmônicas da Estação Maregráfica da Ilha das Palmas apresentado pela FEMAR(Fundação dos Estudos do Mar)**

A amplitude da maré é de aproximadamente 1.2m atingindo valores de 1.5m de altura em maré de sizigia, sendo de acordo com Baptistelli (2008) ser a principal força na circulação deste complexo estuarino.

Na Figura 8 será mostrado um maregrama com as características da maré astronômica e o efeito meteorológico observados no nível d'água.



**Figura 8: (a) Elevação do nível d'água medida (em azul) e calculada a partir das constantes harmônicas da estação maregráfica do porto de Santos; (b) Maré meteorológica calculada a partir da diferença entre a maré astronômica (prevista) e o dado de elevação do nível do mar medido para o mesmo período (extraído de *Modelo Matemático Aprimorado de Quantificação de Assoreamento nos Acessos Aquaviários no Portos Contemplados – Porto de Santos – SP*)**

De acordo com Navigare (2014) a maré meteorológica é de 0.4m, fazendo com que na zona costeira seja capaz de gerar corrente ao largo de 0.2m/s em média. As correntes se alternam entre o sentido SO-NE e NE-SO sendo mais forte na época de inverno.

FERREIRA(2013) analisou os registro de maré ao longo do Canal de Acesso do Porto de Santos para determinar os comportamentos de maré e sua assimetria, identificando que em condições de sizígia a velocidade média no interior do estuário de 0.2m/s e que há dominância da maré de enchente frente a vazante.

## 4. Fundamentação Teórica

### 4.1 Estuários

O sistema estuarino representa uma região de transição entre o sistema de rios e lagos presente no continente e o sistema de oceanos, no qual há a mistura da água doce com água dita salgada, com uma concentração de sais de 30 partes por 1000 onde a maior parte deles, são referente à NaCl (Cloro de Sódio)(CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA 357/2005). Por pertencer a uma região que sofre influência dos oceanos, neste ambiente atuam as forçantes oceanográficas.

Grande parte dos estuários foram formados no período Holoceno, com uma transgressão marinha e um período de glaciação que perdurou até 18000. Com o derretimento das calotas polares, o nível dos oceanos aumentou, fazendo que vales fossem alagados resultando na dinâmica e morfologia estuarina (PERILLO, 1995; DYER, 1995; PRANDLE,2009). Do período de degelo até o momento presente por conta da erosão natural dos canais, há conseqüentemente o assoreamento dos estuários, porém as feições são passageiras se considerarmos o tempo geológico com período de vida de milênios.

Acrescido a isto, devido as grandes mudanças da bacia hidrográfica como por exemplo, desmatamentos, ocupação urbana ilegal e atividade agrícola, que são rápidos nos dias atuais, favorecem no volume de sedimentos carregados para os córregos e outros sistemas hidrodinâmicos.

Como foi dito anteriormente, os estuários são sistemas que naturalmente exportam sedimentos através de correntes, marés e o depositam através das descargas fluviais e pela inversão de maré que ocorre de 6 em 6 horas. Além destes fenômenos descritos, suas correntes e conseqüentemente nível, provocam uma maior troca de sais, remansos em certos rios, que é o aprisionamento destes rios gerando pequenos lagos, bem como a diluição de certas substâncias e principalmente os poluentes.

No geral, o estuário possui diversas definições e possuem características bem distintas, dependendo do sistema ambiental na qual está inserido, sendo assim considerado único. Porém alguns parâmetros, como a morfologia, a hidrologia, o sistema biótico e seus componentes químicos devem ser analisado devido a sua importância e significância.(PERILLO, 1995).

Tem-se uma definição básica feita por Pritchard (1952) de estuários, que são: corpos de água costeiros semi-fechados e possuem uma conexão livre com o oceano que contém uma quantidade mensurável de água do mar que é diluída com água doce derivada da descarga fluvial.

Feita essa definição por Pritchard, em 1963 Dionne acrescentou uma subdivisão ao ambiente estuário em três grandes subsetores:

1. Setor Marinho ou Baixo Estuário → Região que possui conexão aberta com o mar;
2. Médio Estuário → Região que possui a maior mistura entre a água do mar e a água salgada;
3. Setor Fluvial ou Alto Estuário → Região que sofre principalmente a ação dos rios mas ainda possui ainda uma pequena interferência das correntes de maré;

Mais recentemente, através do desenvolvimento da Geologia e sedimentologia feita por Dalrymple et al(1992), foram acrescentados características relativas à coluna de sedimentação, onde o Baixo Estuário são depressões cujos sedimentos são de origem fluvial e marinha e seus processos são conduzidos por marés, ondas e pela hidrodinâmica fluvial.

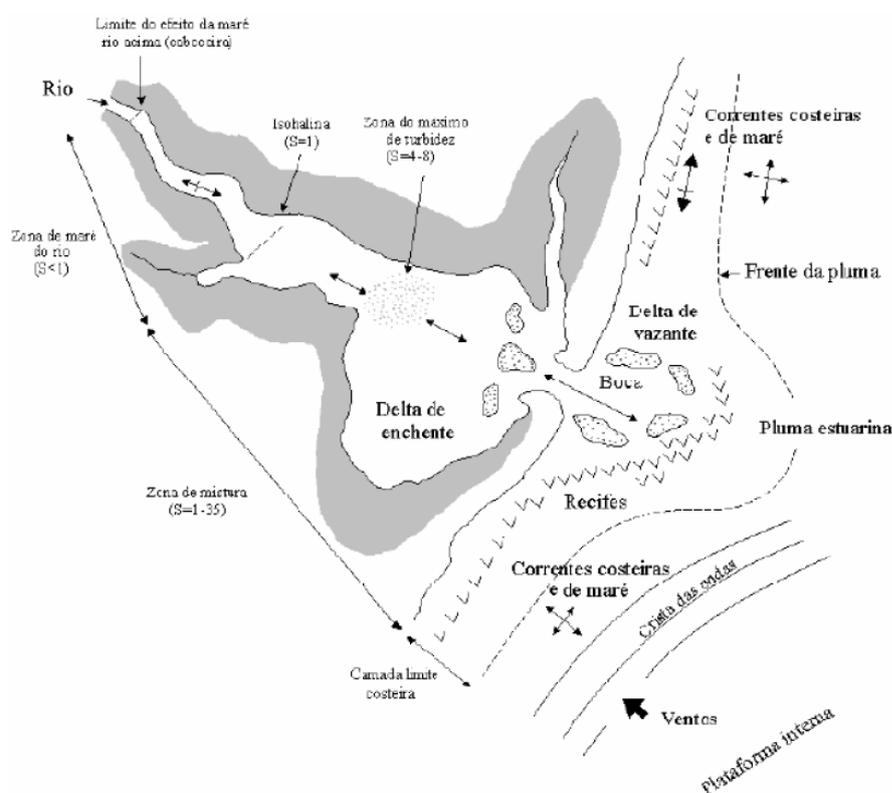
Kjerfve (1987, apud MIRANDA et al., 2002) levou em consideração alguns aspectos que julgou principais, que se referem a diluição da água no estuário como também a formação geológica e a processos locais como forças hidrodinâmicas e características climáticas.

A seguir será apresentado a segmentação do estuário hipotético e sua respectiva representação, como pode ser visto na Figura 9

1. Zona de Maré → É a porção do estuário onde as concentrações de sais são baixíssimas, podendo ser consideradas iguais a zero e há movimentação bidirecional devido a influência da maré;
2. Zona de Mistura → É a principal porção do estuário, onde ocorre a mistura da água fluvial e marinha. Devido a estas particularidades, há grande variabilidade vertical e horizontal da salinidade e das correntes de maré. É neste ponto do estuário que as velocidades se anulam em certos períodos da maré e é por conta deste fato que grande quantidade de material em suspensão tanto fluvial como marinho, voltam para o leito do estuário. Em período de maré vazante, há o revolvimento do sedimento depositado, formando assim a região denominada Zona de Máxima Turbidez(ZMT). Um dos principais entraves relacionado à atividade portuária ocorre nesta região, pois com a deposição destes sedimentos de origem orgânica e mineral sobre o fundo marinho, há redução do nível batimétrico, que em longos períodos inviabilizam a entrada de navios, sendo assim um entrave a navegação. Acrescida a está

consequência econômica temos uma outra consequência ambiental, que é a redução dos volumes exportados pelo meio ambiente pois nem sempre a vazão do rio será capaz de transportar este ponto nodal. É importante ressaltar que esta região varia conforme a vazão do rio principal e da altura de maré.

3. Zona Costeira → Região costeira próxima que avança até a pluma de dispersão estuarina, com características de água mais turva por influência dos sedimentos finos presentes no sistema. Esta localidade é a mais influenciada pelas correntes longitudinais, transversais e o regime de marés, na presença de alguns obstáculos o transporte litorâneo gerado por ondas, acaba se acumulando na entrada, impedindo ou dificultando a troca de massas..



**Figura 9: Regiões de um estuário hipotético com a Zona de Maré, Zona de Mistura e Zona Costeira (MIRANDA et al., 2002).**

No geral, as classificações das zonas estuarinas são resultado do transporte de sedimentos, sendo dependentes das forças que estão atuando na região. Na desembocadura do estuário, as principais forças são a deriva longitudinal e as ondas com grande período formam ilhas, cúspides e barras DYER, 1995.

Já a hidrodinâmica e o transporte de sedimentos em estuários são dependentes de forças residuais, pois elas são formadas pelas componentes da descarga fluvial e por

correntes de maré, não ocorrendo sempre a exportação para os outros sistemas, resultando com o passar do tempo um aumento gradativo e exponencial, fazendo com que esta região tenha um assoreamento natural. Dentre as principais forçantes tempo: o aporte fluvial e de sedimentos, forças atmosféricas, ondas e a circulação estuarina.

Isto mostra como os estuários são resultado de uma combinação de fatores sobre toda a região ou em regiões específicas, e estas combinações são tão complexas que se mostram não lineares. Segundo Dyer(1995), os estuários possuem três tipos de movimentos de sedimentos típicos: a carga de lavagem, a suspensão e a carga de fundo.

1. Carga de Lavagem → Movimento oriundo principalmente da bacia de drenagem, na qual os sedimentos com a fração mais fina se movimentam pela ação do Runoff (fração da precipitação que devido a saturação do solo não infiltra e escoa sob o solo) carreando este sedimento até o estuário que se movimenta mesmo sem a ação de qualquer forçante, sendo dificilmente depositadas somente pela ação da gravidade, necessitando de floclulantes para sua agregação e posterior deposição. Tem como característica principal caso seja feita a análise do seu perfil, uma concentração homogênea.
2. Suspensão → O movimento de suspensão são relativos àqueles que foram erodidos no assoalho estuarino por conta das forças geradas pelos movimentos oscilatórios das correntes de maré e pela turbulência. Caso o sedimento finos seja erodido, ele só volta a se depositar caso as correntes tenham baixa intensidade. Tem como característica principal caso seja feita a análise do seu perfil, uma concentração gradativa, aumentando conforme se aproxima do fundo.(Dyer,1995)
3. Carga de Fundo → Movimento horizontal dos sedimentos no fundo do estuário. Este movimento ocorre por arrasto ou rolamento das partículas quando elas possuem um diâmetro entre 64µm e 2mm. Porém as partículas mais finas que 2 mm o movimento ocorre semelhante do movimento de lama fluida.

## 4.2 Plataforma Continental

De acordo com Wright(1995), a Plataforma Continental é o prolongamento dos aspectos morfológicos, hidrodinâmicos e sedimentológicos da face praial e das zonas de surf bem como dos exutórios da bacia de drenagem e dos sistemas estuarinos. A fração sedimentável é submetida a um ciclo de transporte que corresponde ao seguinte: primeiramente há descarga, posteriormente a deposição e depois sua ressuspensão até chegar ao local de deposição final de longo período.

A compreensão deste sistema é vital para determinarmos as taxas de assoreamento pois metade as áreas que irei analisar estão localizadas numa interface estuário plataforma continental ou exclusivamente dispostas na plataforma continental, como ocorre com as de 0 a 8.

Diferentemente como os estuários funcionam ,servindo como local de depósito de sedimentos, a Plataforma Continental funciona como área de fornecimento para locais mais profundos das bacias oceânicas. Seus processos são mais significativos se comparados com as áreas mais profundas, pois as ondas de maré influenciam no assolho marinho devido a pouca profundidade gerando regiões com maior turbulência, se comparado a locais mais profundos que não são influenciados e não propiciam o desgaste da crosta marinha.

Ainda de acordo com Dyer(1995), as principais alterações na região costeira advêm de mudanças relacionadas aos processos hidrodinâmicos e principalmente ligados a energia das ondas relacionadas a Plataforma Continental Interna. Acrescido a isto, ele sugere que o termo morfodinâmica seja usado para compor três processos independentes, que são: hidrodinâmica, as alterações morfológicas e suas consequências e alterações.

Considerando a abordagem de Wright(1995),há três tipos de análise nos processos morfodinâmicos(FIGURA 10):

1. Estudo da variabilidade espaço-temporal das condições do ambiente costeiro → Esta mudança no espaço-tempo, corresponde as mudanças básicas na morfologia estuarina. Considerando que as condições ambientais envolvem três fatores
  - 1.1. Condição inicial dos sólidos, incluindo a geomorfologia e a geologia local e regional e seu estado morfológico pretérito.
  - 1.2. Presença de material sólido inconsolidado, que são fundamentais para alterações morfológicas no sistema em que está inserido.
  - 1.3. Frequência e intensidade que as fontes de energia(ondas, maré, correntes) entram no sistema, provocando mudanças nas forças preexistentes e instabilidade na região.

2. Estudo dos processos hidrodinâmicos, aliado as suas transformações, que produzem padrões morfológicos. Tanto os processos morfodinâmicos quanto a dinâmica dos fluidos são fundamentais para a modificação, interação e produção das condicionantes ambientais quando submetidos a forças externas, que atuam diariamente no estuário. Resultando em uma definição clara e objetiva do que são processos morfodinâmicos sendo estes: processos de interação conjunta entre a morfologia e a hidrodinâmica que envolvem o transporte de sedimentos. Estes processos são ditos determinísticos, se um conjunto de entradas de variáveis resultará em um único conjunto de saídas do modelo e estocásticos e os fenômenos variam de acordo com a mudança de tempo
3. Estudo dos processos evolutivos, como por exemplo: estudo do estágios pretéritos são as condicionantes de um tempo posterior, dos ambientes deposicionais que tornam o material a ser analisado bem preservado e das condições ambientais que variam com o tempo.

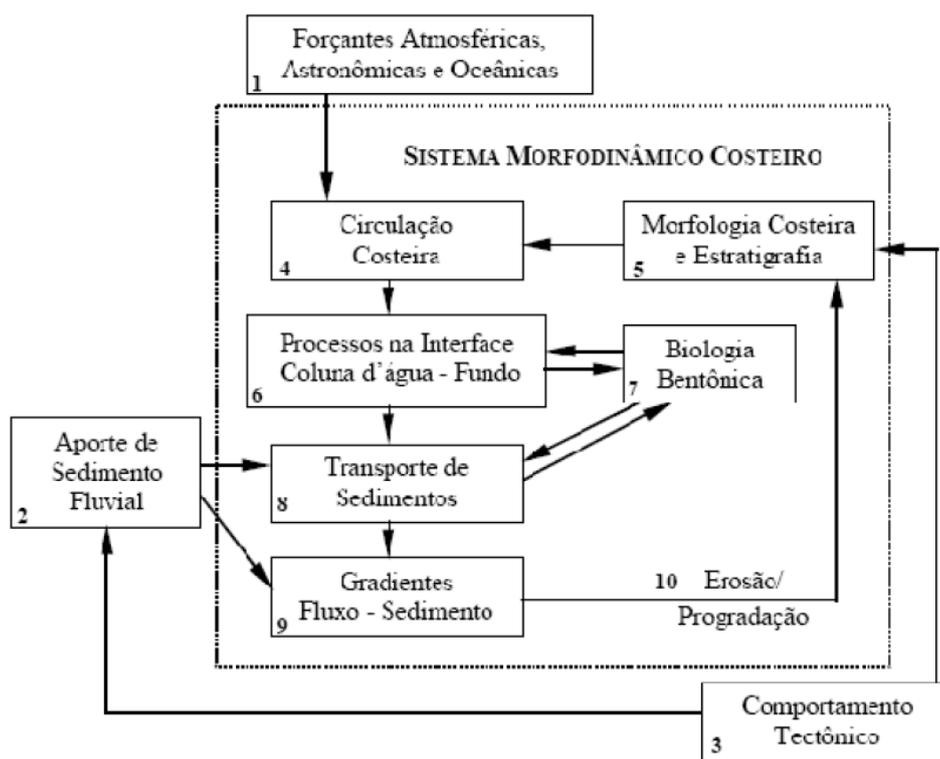


Figura 10: Fluxograma hipotético com seus elementos e as relações no sistema morfodinâmico (modificado segundo Wright,1995).

## 5. Materiais e Métodos

### 5.1 Dados Batimétricos & Cartas Náuticas

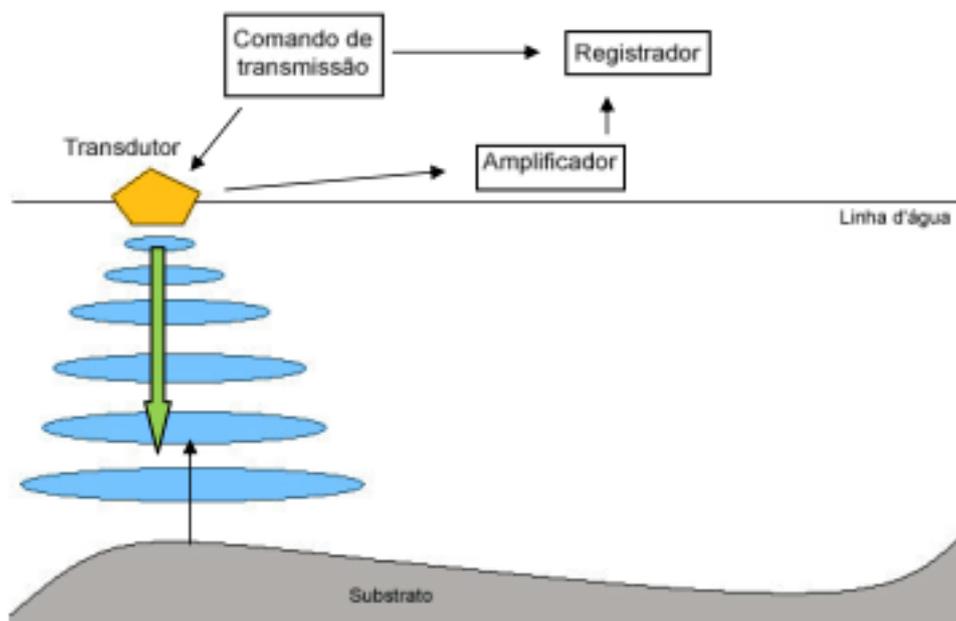
Cartas náuticas são mapas que possuem informações pontuais de batimetria durante a sondagem. Elas possuem tanto latitude quanto longitude e sua profundidade em planta e esta profundidade é referenciada ao Nível de Redução de Sondagens (NR), que é o nível definido segundo a Organização Hidrográfica Internacional como “um plano tão baixo que a maré, em condições normais, não fique abaixo dele” (MARINHA DO BRASIL, 2009).

A medição de profundidade poder ser feita em monofeixe ou multifeixe utilizando um ecobatímetro que calcula a diferença de tempo entre a emissão e a recepção do sinal acústico em uma determinada frequência que foi refletida pelo fundo. O ecobatímetro usa um emissor de ultra-som com um cristal piezo-elétrico que segundo Miguens(1996) é convertido de sinal elétrico para um sinal mecânico por um transdutor localizado no fundo da embarcação. Este sinal emitido percorre o meio em que está inserido, sofre absorção da coluna d’água e do substrato, é refletido, sofre novamente absorção da água e é captado pelo receptor como mostrado na Figura 11.

Esta medição se da pela velocidade de propagação do sinal no meio aquoso e o tempo que o sinal emitido demora a chegar ao receptor passando por sua reflexão no fundo. Mediante este tempo e a velocidade que o sinal possui no meio, é possível calcular a distância que um objeto se encontra através da Equação 1.

$$h = V_{\text{sinal na agua}} * \frac{\Delta t}{2}$$

**Equação 1: Cálculo da profundidade através de um ecobatímetro.**



**Figura 11: Princípios básicos do ecobatímetro(modificado por MIGUENS,1996).**

### 5.1.1 Conjunto de Dados Batimétricos

Os dados batimétricos da área de estudo foram fornecidos pela Secretaria Especial de Portos (SEP) e por fazer parte de um projeto referente ao PND-2 (Plano Nacional de Dragagem 2) foram feitos levantamentos batimétricos nos canais de acesso, áreas de fundeio, bacias de evolução e áreas com potencial perigo a navegação devido a restrições náuticas. Por conta do custo das dragagens, a SEP necessita de batimetrias atualizadas e constantes ao longo do tempo para estimar quanto de sedimento serão retirados. Os dados são referentes a 4 anos e compreendem de outubro de 2010 até dezembro de 2013 porém no ano de 2012 as batimetrias foram poucas e esparsas (Tabela 2).

Para a determinação das taxas de assoreamento, foram usados os meses nos quais foram cobertos integralmente o canal de navegação, marcados em vermelho na tabela abaixo, sendo feita uma única malha batimétrica referente aquele mês de estudo.

<u>Data</u>	<u>Batimetria</u> <u>Disponível</u>	<u>Data</u>	<u>Batimetria</u> <u>Disponível</u>
Out/10	x	Jun/12	x
Nov/10	x	Jul/12	
Dez/10	x	Ago/12	
Jan/11	x	Set/12	x
Fev/11	x	Out/12	x
Mar/11	x	Nov/12	x
Abr/11	x	Dez/12	x
Mai/11	x	Jan/13	x
Jun/11	x	Fev/13	x
Jul/11	x	Mar/13	x
Ago/11	x	Abr/13	x
Set/11	x	Mai/13	x
Out/11	x	Jun/13	x
Nov/11		Jul/13	x
Dez/11		Ago/13	x
Jan/12		Set/13	x
Fev/12		Out/13	x
Mar/12	x	Nov/13	x
Abr/12	x	Dez/13	x
Mai/12			

**Tabela 2: Tabela referente aos dados batimétricos disponíveis (marcados em preto) e os utilizados(marcados em vermelho).**

## 5.2 Organização e Padronização

Os dados fornecidos possuem formato XYZ, que contem: longitude, latitude e profundidade. Estes dados foram padronizados de acordo com o sistema de projeção e coordenadas UTM e seu fuso de 23 graus sul. No ArcGis10.1 foi utilizado profundidade, necessitando uma multiplicação por menos um relação aos dados originais.

Por conta da grande variabilidade espaço-temporal, foram criadas seções de interesse dentro do canal de navegação, estas são distantes 1 quilômetro entre si com exceção de 2 seções intermediárias que são a 18+350 e 18+685.

Houve uma mudança de nome por parte dos arquivos de batimetria, sendo esta mais fácil para uma localização temporal, pois o novo arquivo passou a ter 5 dígitos, sendo 3 dígitos referente ao mês e 2 dígitos referentes ao ano respectivamente. Dos 1126 arquivos disponibilizados, foram usados 426 arquivos que compreendiam o local de estudo e

satisfaziam as necessidades para uma evolução temporal, o restante possuía uma malha de pontos muito restrita ou era um levantamento com uma malha de pontos menos refinada.

Para a melhor caracterização deste canal foi proposta duas subdivisões:

- Trechos → Foram subdivididos todo o canal em quatro trechos que vão do Trecho 1 até o Trecho 4 (Figura 12), na qual o primeiro corresponde a parte oceânica chamado de Canal de Navegação do Porto de Santos e os trechos restantes correspondem a porção mais interna do estuário santista que compreende desde o entreposto de Pesca até Alamoá;
- Seções → Para uma maior discretização do canal e dos trechos, foi proposta uma segmentação do canal em 27 seções sendo que 25 são distanciadas a cada quilômetro, com o marco zero localizado na parte oceânica e a última seção localizada no início do canal de Piaçaguera(Figura 12).

Os trechos são uma classificação adotada por vários trabalhos dentro do Estuário de Santos e principalmente trabalhos voltados para a parte portuária, mas não necessariamente com esta nomenclatura. Dentre eles podemos destacar Projeto de Infraestrutura Aquaviária elaborado pelo INPH (Instituto Nacional de Pesquisas Hidrográficas) e a própria CODESP.

Após o estabelecimento das áreas de interesse, foram selecionados dentro do escopo das batimetrias, as mais relevantes com relação a sua área de cobertura e a data de sondagem. Os trechos obtiveram uma sobreposição, na qual qualquer sondagem além da área de interesse foi excluída.

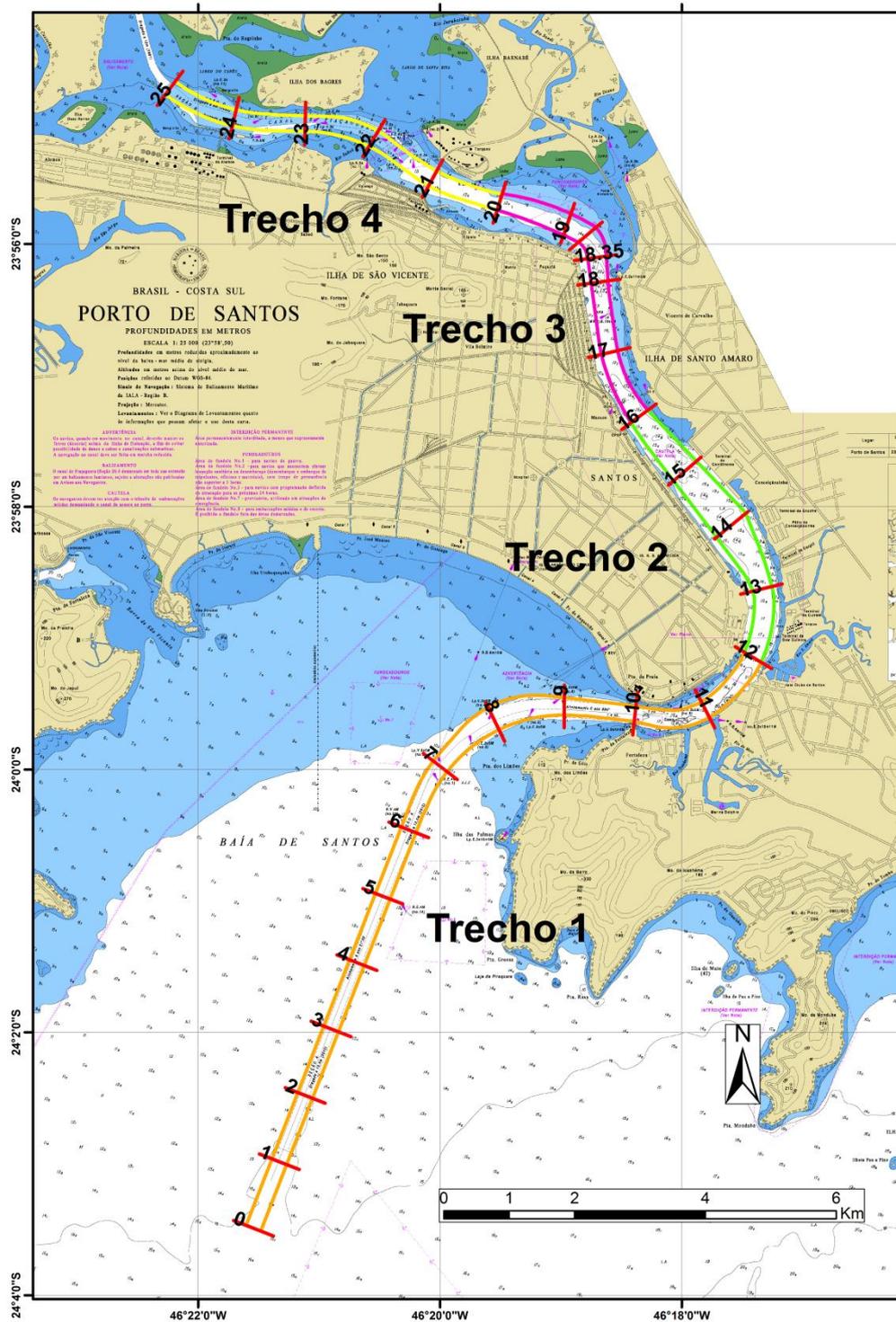


Figura 12: Segmentação do Canal do Estuário de Santos tanto em Trechos como em Seções.

### 5.3 Ambiente Gráfico

#### 5.3.1 Sistema de Informações Geográficas

O SIG representa um sistema computacional, que possui um número amplo de ferramentas, para a entrada(input), armazenamento, análise e transformação de um conjunto de dados(Figura 13). O princípio fundamental do SIG é o georreferenciamento, onde todas as informações estão relacionadas a um aspecto comum, a localização geográfica (CÂMARA,1997).

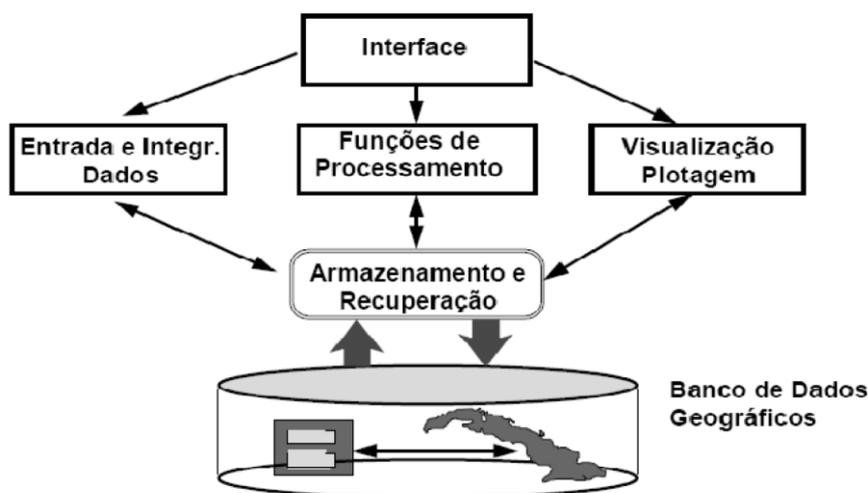


Figura 13: Funcionamento de um Sistema de Informações Geográficas (CÂMARA,1997)

#### 5.4 Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDE)

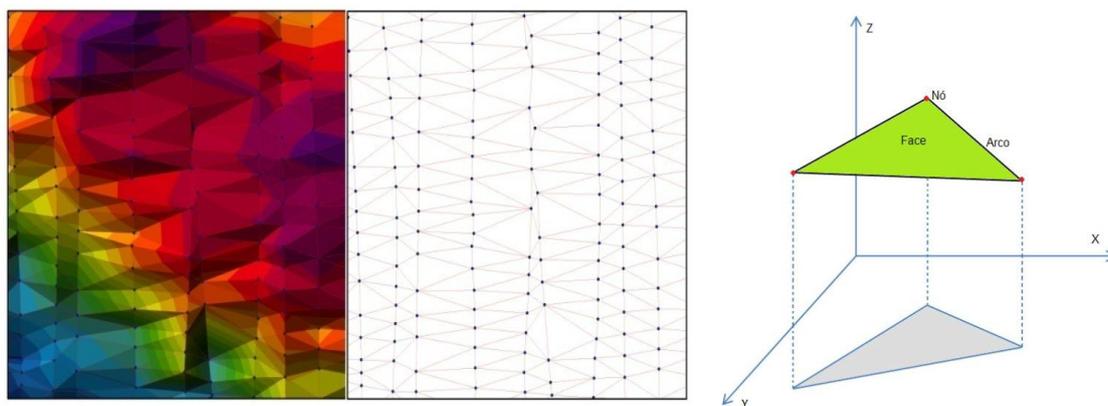
Os MDE são fundamentais para estudos topográficos de um determinado fenômeno, sem estar in loco na região escolhida, devido a dificuldades financeiras, deslocamento ou por restrição da região. A simulação é fundamentais para tomadas de decisão no contexto de projetos de engenharia, modelagens e SIG's além de poderem ser qualitativas ou quantitativas.

O MDE foi conceituado por BURROUGH e McDONNELL(1998,apud FERNANDES e MENEZES,2005) sendo representado por um evento que ocorre em um local no globo terrestre com uma variação contínua do relevo no espaço. As aplicações dos MDE's são as mais variadas possíveis, podem ser desde construir perfis, seções transversais, gerar mapas de declividade, objetos em 3D e calcular áreas, distâncias e volumes, que é o foco principal do trabalho.

Existem diferentes formas de se gerar um MDE, eles podem ser construídos a partir de grades regulares e retangulares, conhecidos como GRID/ RASTER que necessita definir uma dimensão da célula ou podem ter um estrutura triangular em sua interpolação conhecidos como TIN (*Triangulated Irregular Network* - Figura 14). Cabe ressaltar que cada forma de interpolação é diferente e a escolha do melhor modelo irá depender para qual finalidade o projetista estará dando, além dos dados de entrada, do tipo de terreno que ele quer representar.

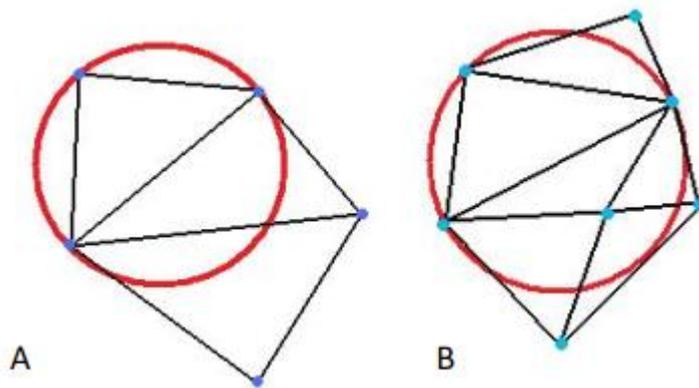
Para a geração dos MDE deste trabalho, foram usados a grade triangular mais conhecida como TIN (Triangular Irregular Network), pois são mais usados para modelos de alta precisão, com áreas pequenas, como por exemplo obras de engenharia, na qual é necessário cálculos de área , distância e volumes, como por exemplo em obras civis com a movimentação de terra (BOOTH,2001).

A rede TIN foi projetada por Peucker et al. (1978 apud MEDEIROS et al.) para criar um MDE na qual os pontos de elevação são irregularmente espaçados a fim de formar faces de um triângulo. Estas faces são uma estrutura de vetores do tipo nó-arco e representam uma superfície na qual armazena em cada vértice do triângulo as coordenadas de localização (x,y) e a profundidade (z) (BOOTH,2001)(Figura 14).



**Figura 14: Desenho esquemático do TIN através de nós e arcos.**

Dentro do TIN, há formas diversas para ele ser interpolado, sendo adotada a malha de Delaunay, no qual o critério é a maximização dos ângulos mínimos de cada face do triângulo. Em outras palavras, a malha final deve conter triângulos o mais próximo de equiláteros possível evitando que sejam feitos triângulos com ângulos muito agudos, fazendo com que os círculos que circunscrevem triângulo de Delaunay não possua nenhum vértice de outro triângulo como pode ser visto na Figura 15.



**Figura 15: A) Interpolação de Delaunay B) Outra Interpolação triangular (MODIFICADO DE FELGUEIRAS E CÂMARA,2001).**

## 5.5 Cálculo dos Volumes

### 5.5.1 Volume

O volume é obtido através do ArcGis10.1 fazendo uso de uma ferramenta chamada Surface Difference da extensão 3D Analyst na qual ela calcula o volume acima ou abaixo de um plano de referência que no caso deste trabalho foi definido como a batimetria anterior, podendo se estabelecer quais áreas possuem deposição de sedimentos, quais possuem erosão e quais não houve alteração de sua profundidade.

### 5.5.2 Taxas de Assoreamento

O valor do assoreamento foi definido a partir da diferença entre as batimetrias que obtiverem uma alteração de seu volume em um determinado período sendo dividido pelos meses referentes ao intervalo de cada batimetria, obtendo a taxa de assoreamento expressa em m<sup>3</sup>/mês.

Para que se tenha a efeito de comparação quando ocorre durante o período de avaliação alguma dragagem que seja perceptível, há retirada dos dados referentes aos processos de assoreamento, que poderão mascarar uma taxa de assoreamento natural.

## 6. Resultados

Nesta seção serão apresentados a comparação dos Modelos Digitais de Elevação(MDE) com sua descrição para os levantamentos inseridos nos ambientes tanto estuarinos como oceânicos de Santos.

Como descrito, a abordagem acerca das taxas de assoreamento foram restritas ao Canal de Navegação do Porto de Santos, pois é uma região com grande interesse econômico, onde se concentram todos os terminais privados e públicos para a exportação e importação de commodities, bens duráveis e bens não duráveis, além de ser a região com maior número de dados e batimetrias disponíveis.

### 6.1 Trecho 1

Este trecho está localizado ao sul, e sofre grande influência das forçantes oceânicas por não estar localizado em uma região mais abrigada. O Trecho 1 possui aproximadamente 2.850.000 m<sup>2</sup> de área e um comprimento linear de aproximadamente 12 quilômetros. O canal de acesso possui em sua base, duzentos e vinte metros de largura na seção 0 além de ter uma região com uma curvatura para a direita, onde há necessidade de sobre larguras para a rotação do navio-projeto. Estes parâmetros são o suficiente para a circulação em mão dupla com segurança de acordo com o projeto desenvolvido pelo INPH(2007) e foi adotada uma profundidade de 15 metros em todas as seções compreendidas no Trecho 1 para que navio do tipo New Panamax com calado de 13.2m seja capaz de atracar com mais facilidade.

Quanto ao talude, de acordo com CROPOR(Comitê de Recomendações para Obras Portuárias) são admitidos alguns valores que estão na Tabela 3, percebe-se que quanto mais rígido o tipo de solo mais próximo a vertical é admitido. Nos casos de argila mole e areia fina este coeficiente é menor por motivos de coesão dos solos, pois caso fosse maior que o proposto, poderia haver desmoronamento e obstrução parcial do canal de acesso.

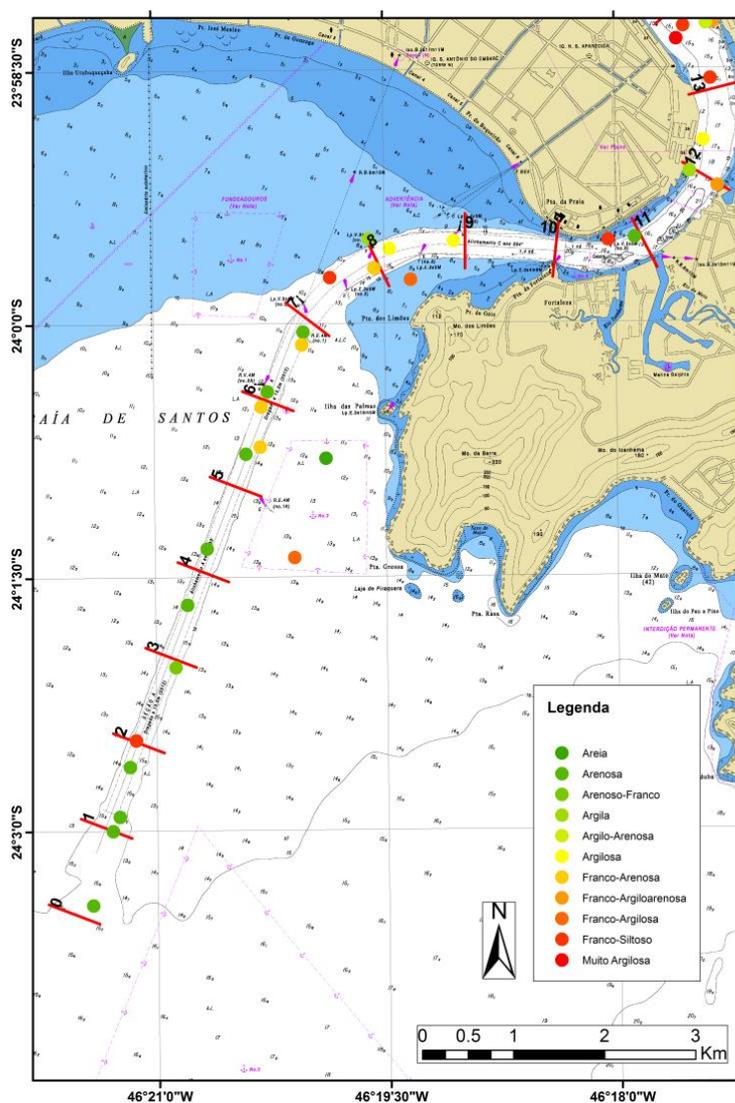
Devido a grande variabilidade sedimentológica, seria inviável sua representação em cada trecho com diferentes tipos de solo, por isso foi adotado um talude médio de 1/6 no qual a cada metro percorrido na vertical, são necessário 6 metros na horizontal, que foi o mesmo implementado pelo INPH(2007) no Projeto Geométrico de Infra Estrutura Aquaviária ao Porto de Santos-SP.

<b>Tipo de solo</b>	<b>Talude</b>
Rocha	próximo à vertical
Argila rija a média	1/1 a 1/3
Argila arenosa	1/3 a 1/4
Areia grossa a fina	1/4 a 1/6
Areia fina siltosa	1/6 a 1/10
Argila mole e vasa	acima de 1/10

Fonte: CROPOR

**Tabela 3: Tabela comparativa entre a inclinação do talude e o tipo de solo (CROPOR)**

Quanto à granulometria, esta região é a mais diferenciada dentre as demais, seus sedimentos principais são as areias na parte mais externa do canal de acesso, porém quanto mais próximo da costa são os pontos de coleta, mais eles tendem a ser mais fino como o Franco-Siltoso (Figura 16).



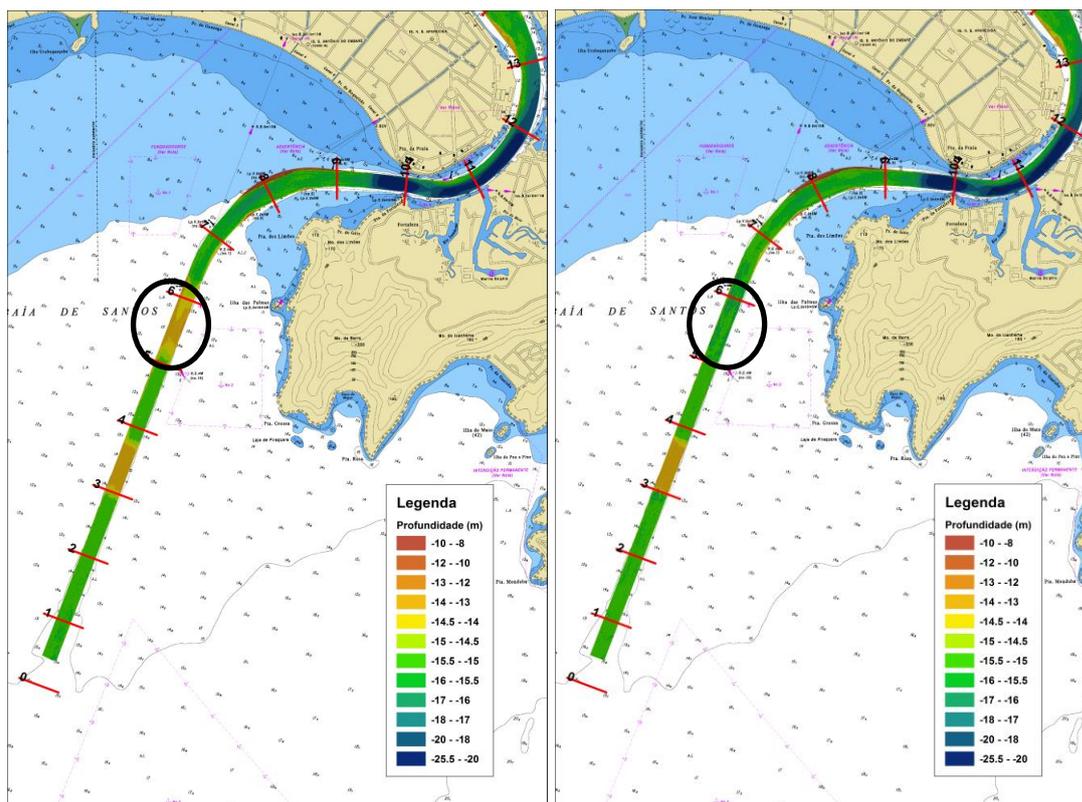
**Figura 16: Classificação granulométrica do Trecho 1 do Canal de Acesso do Porto de Santos de acordo com FRF(2008).**

As profundidades das seções de 1 a 9, que são as mais externas, atingem no máximo 16 metros em casos de intervenções de dragas, porém em média essa profundidade atingem 14.5 metros, que são suficiente para os navios com calado de 13,2m. As seções restantes do Trecho 1, que são a 10, 11 e 12 do ponto de vista da profundidade mínima da profundidade, são as que geram menor preocupação pois são alcançadas profundidades de até 25 metros e possuem média de 20 metros. Por ser uma região que está encaixada ao canal, não há mudança do eixo principal do canal ou a formação de bancos arenosos, permanecendo orientado na direção sudoeste, ocorrendo somente movimentos verticais.

Com relação à largura do canal, este permanece inalterado em sua maior extensão do Trecho 1, satisfazendo a condição de 220 metros, porém há que se atentar nas seções

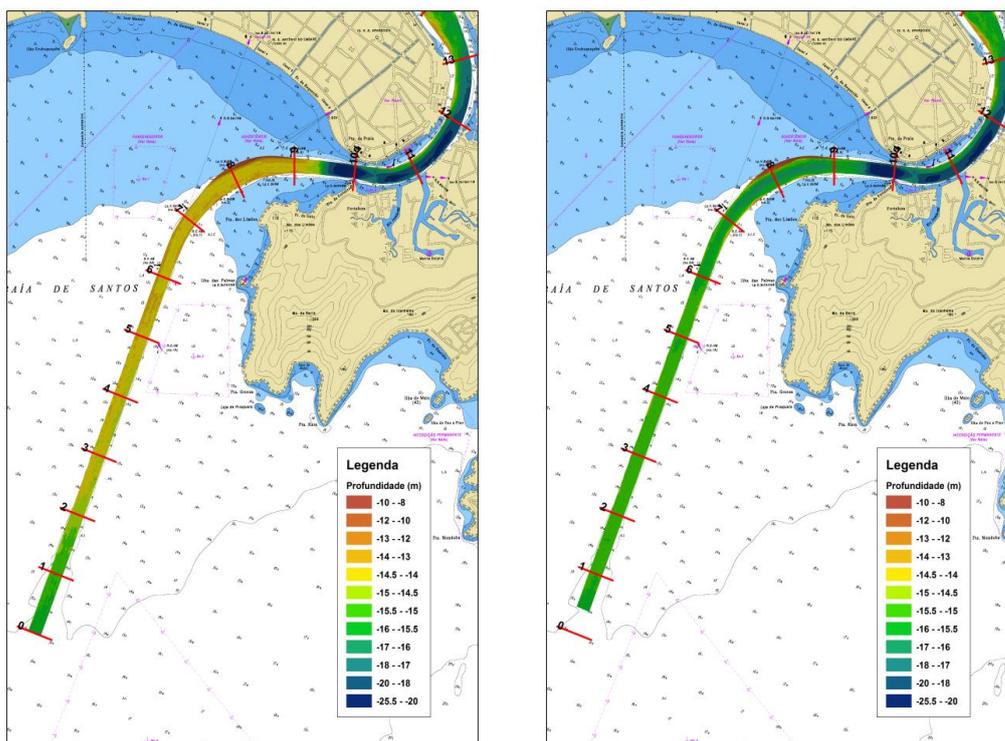
de 5 a 9 pois existe um banco em sua curvatura que através ressacas e correntes podem favorecer seu avanço perante o canal de navegação, inviabilizando o duplo sentido da via.

O dado inicial para o calculo das taxas de assoreamento são datadas de outubro de 2010, tendo uma área assoreada entre as seções 3 e 4 e as seções 5 e 6 que em ambos os casos atingem profundidades de 13.5 metros. Na data de dezembro de 2010, percebe-se a operação das dragas principalmente entre as seções 5 e 6, cuja profundidade foi aumentada para os 15.2 metros(Figura 17).



**Figura 17: Operação de dragagem entre as seções 4 e 5,o levantamento de Outubro de 2010(ESQUERDA) com profundidade de 13.5m e o levantamento de Dezembro de 2010(DIREITA) com profundidades de 15.2m.**

Com relação às dragagens que permitem a operação deste setor, foi feito inicialmente entre Dezembro de 2010 e Fevereiro de 2011 para tornar adequada ao projeto pois haviam bancos presentes entre as seções 3 e 4 e 5 e 6. De Fevereiro de 2011 a Setembro de 2011 houve depósitos mais significativos entre as seções 2 e 9, resultando em uma taxa de assoreamento do canal de 385.000 m<sup>3</sup>/mês, resultando num aporte sedimentar de 3.000.000 m<sup>3</sup> no período de 8 meses, sendo feita uma segunda dragagem maior em Março de 2012 (Figura 18) para tornar viável a entrada do navio de projeto que estava bem assoreado



**Figura 18: Operação de Dragagem no Trecho 1, Setembro de 2011(ESQUERDA) e Março de 2012(DIREITA).**

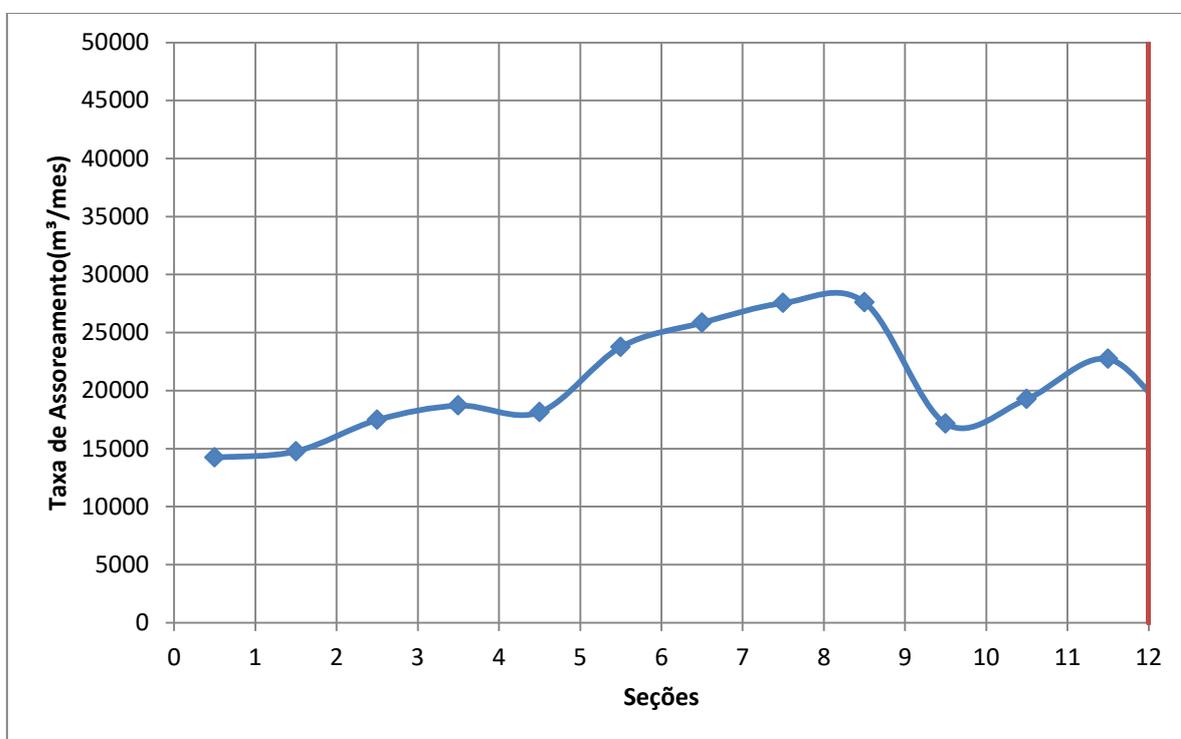
Após feita a dragagem para a manutenção da profundidade de 15m em Março de 2012, no decorrer dos meses até Setembro de 2012 as seções mais externas sofreram com um processo erosivo da ordem de 15 centímetros, porém no mesmo período as seções de 6 a 10 assorearam em média 20 centímetros sendo fruto de ressacas como as noticiadas pelo portal do G1, gerando taxa de assoreamento de 80.000 m<sup>3</sup>/mês para o trecho, aportando 500.000m<sup>3</sup> de sedimento.

Entre os levantamentos subsequentes de Outubro, Dezembro e Janeiro, foi identificadas intervenções quanto a profundidade, dentre as seções que são mais evidenciadas os processos são: as seções de 6 a 9 na qual a profundidade foi aumentada em 0.3 metros.

No trecho analisado, notamos que a última operação de dragagem significativa foi em Fevereiro de 2013, tendo um assoreamento até o final do ano de 2013 na ordem de 2.400.00 m<sup>3</sup> resultado de uma taxa de assoreamento de 275.000 m<sup>3</sup>/mês, na qual grande parte deste processo de assoreamento ocorreu entre os meses de Junho e Setembro de 2013 reduzindo em 0.7 metros a profundidade do Canal de Navegação.

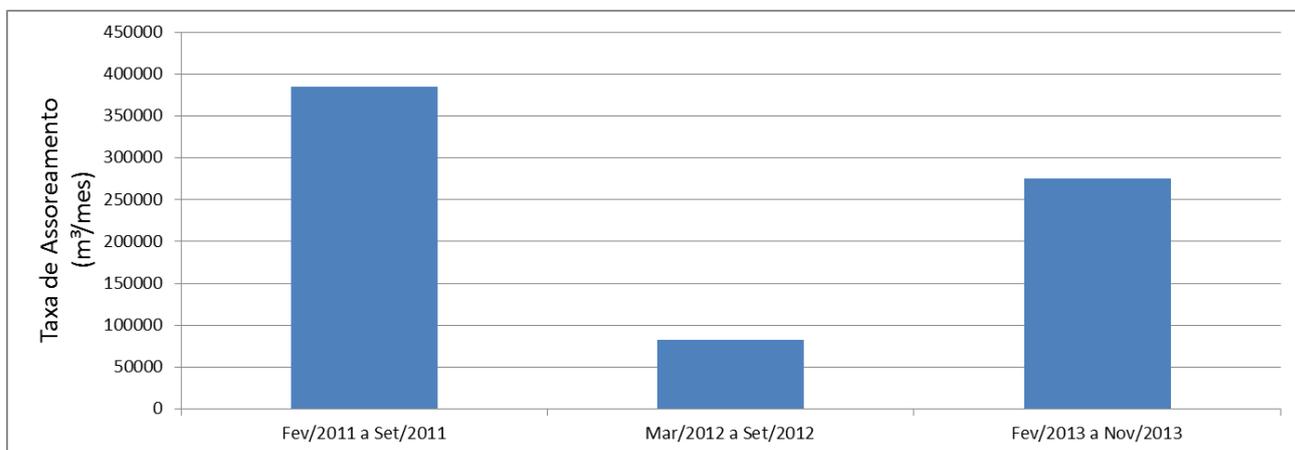
Com relação às seções finais do Trecho 1, que são 9,10, 11 e 12 o projeto de geométrico encontra-se em concordância com as condições naturais do canal de navegação. Por ser um trecho com aprofundamento natural do canal e seu estrangulamento, tende a ser uma localidade que sua taxa de assoreamento líquido seja próximo à zero, sendo verificado com os seguintes valores: entre as seções 9 e 10 temos 7314 m<sup>3</sup>/mês representando que há processos deposicionais frente aos erosivos, entre as seções 10 e 11 temos 2150 m<sup>3</sup>/mês e entre a seção 11 e 12 temos uma taxa de --5007m<sup>3</sup>/mês.

Realizando uma média por seção através do tempo, foi identificado que as regiões que mais assoreiam no Trecho 1 são as áreas presentes entre as seções 5 e 9, como é mostrado na Figura 19.



**Figura 19: Média do assoreamento feito por seção através do tempo no Trecho 1.**

A seguir serão apresentadas as taxas de Assoreamento para o Trecho 1 segmentadas de acordo com o período de análise(Figura 20)|



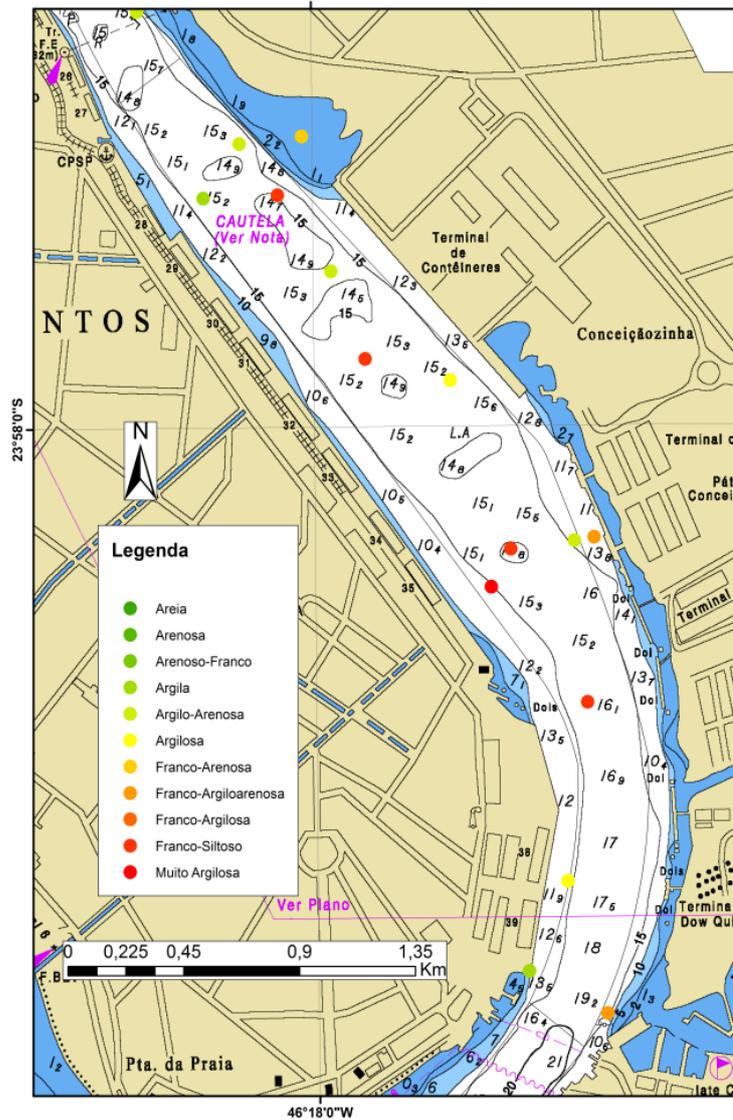
**Figura 20:Taxa de Assoreamento por período de análise do Trecho 1.**

## 6.2 Trecho 2

Este é um trecho de transição para a parte interna do estuário, possui 1.757.272 m<sup>2</sup> de área que se estendem desde o entreposto de pesca até a Torre Grande com um comprimento de aproximadamente 4 quilômetros. Sua largura na base do canal, neste ponto é crescente, pois é uma área com uma curvatura para oeste na qual há um estreitamento e posteriormente um alargamento, que em alguns casos como a seção 14+000, possui em sua base uma largura 526 metros usados como bacia de evolução, que é uma região para manobra do navios.

Novamente o talude do projeto será de 1/6, de acordo com CROPOR, o que significa que a cada 6 metros percorridos na horizontal, haverá a alteração de 1 metro na vertical, característica compatível com o solo presente neste trecho e de acordo com as condições naturais do terreno, principalmente as seções 12 e 13 que são próximas ao entreposto de pesca e são mais encaixadas que as demais seções do Trecho 2.

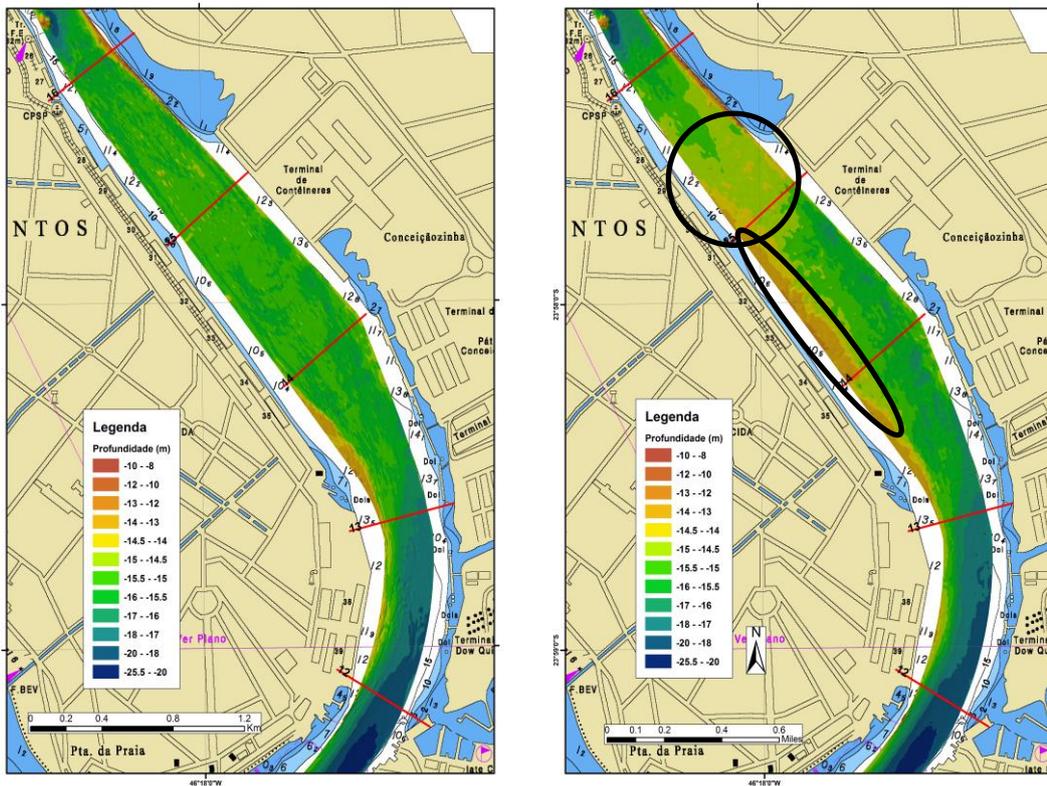
Sua granulometria, de acordo com FRF(2008), apresentado na Figura 21, é semelhante ao trecho anterior, pode ser encontrado alguns pontos com Arenoso-Franco porém ele contém alguns locais com sedimentos mais finos como muito argilosa, que podem ser de origem estuarina pelas descargas fluviais ou pelos fluxos de maré fazendo com que sedimentos da embocadura dos rios, sigam em direção a porção mais externa.



**Figura 21: Classificação granulométrica do Trecho 2 do Canal de Acesso do Porto de Santos de acordo com FRF(2008).**

Com relação à profundidade deste trecho, a batimetria feita em Outubro de 2010, se encontrava conforme o projeto, que também é de 15 metros de profundidade, acompanhando o trecho anterior. De acordo com as batimetrias das seções do Trecho 2, a maior profundidade deste trecho está presente na margem direita da seção 12 que atinge os 19.5 metros. Por ter essas grandes profundidades atingidas naturalmente estão localizados os principais terminais privados do Porto de Santos, pertencentes a indústrias químicas, granel, contêineres e que demandam grande navios cargueiros.

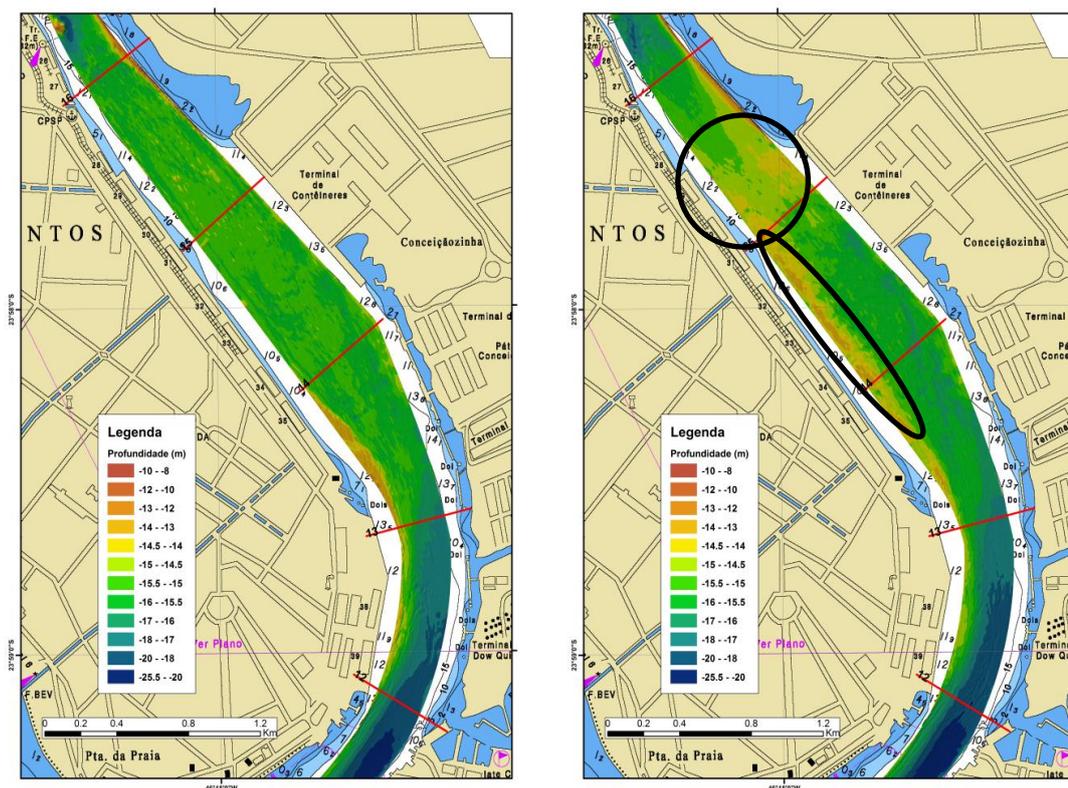
A partir de Outubro de 2010, houve um processo de assoreamento constante até o mês de Setembro de 2011 resultando um volume 1.400.000 m<sup>3</sup> disposto num intervalo de 11 meses sendo as regiões entre as seções 14 e 16 as que sofreram maior deposição representando 70% do assoreamento sofrido (Figura 22). O restante do assoreamento se deu em áreas profundas do canal de navegação resultando em uma taxa de assoreamento de aproximadamente 120.000m<sup>3</sup>/mês para o Trecho 2.



**Figura 22: Comparação entre as batimetrias de Outubro de 2010(ESQUERDA) e Setembro de 2011(DIREITA) , sendo demarcadas as principais áreas de assoreamento as regiões entre as seções 14 e 16.**

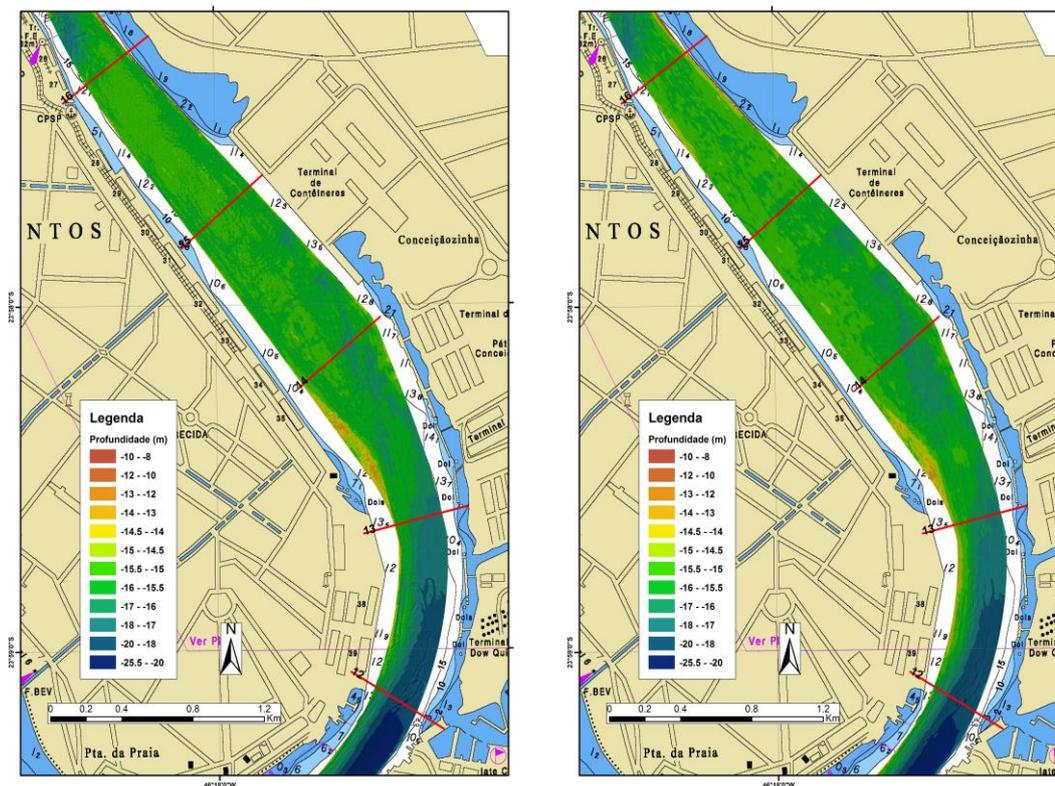
O canal atingido profundidade mínimas de 13 metros em locais específicos, se fez necessário uma nova dragagem para retomar as condições padrão de segurança a navegação, principalmente este sendo um trecho importante para o comércio exterior como foi mencionado anteriormente. Vale destacar também que este trecho é usado como área de manobra para os navios que atracam nos terminais, sendo fundamental que sua bacia de evolução esteja de acordo com as determinações das cartas náuticas e as profundidades de projeto.

O canal de navegação do Porto de Santos voltou às condições pré-determinadas em Março de 2012, sendo todo Trecho 2 dragado com relação à profundidade. Houve um período de 11 meses até Fevereiro de 2013, com o assoreamento, repetindo o mesmo padrão de deposição sedimentar. Ocorreu uma deposição significativa na margem esquerda do canal de navegação entre as seções 14 e 15 e um assoreamento mais difuso na ordem de 1 metro, como é verificado na Figura 23 entre as seções 15 e 16 que resultam em uma taxa de deposição de 92.000 m<sup>3</sup>/mês.



**Figura 23: Batimetria referente à sondagem de Março de 2012(ESQUERDA) e Fevereiro de 2013(DIREITA), se destacando em preto, o desenvolvimento dos depósitos sedimentares do Trecho 2.**

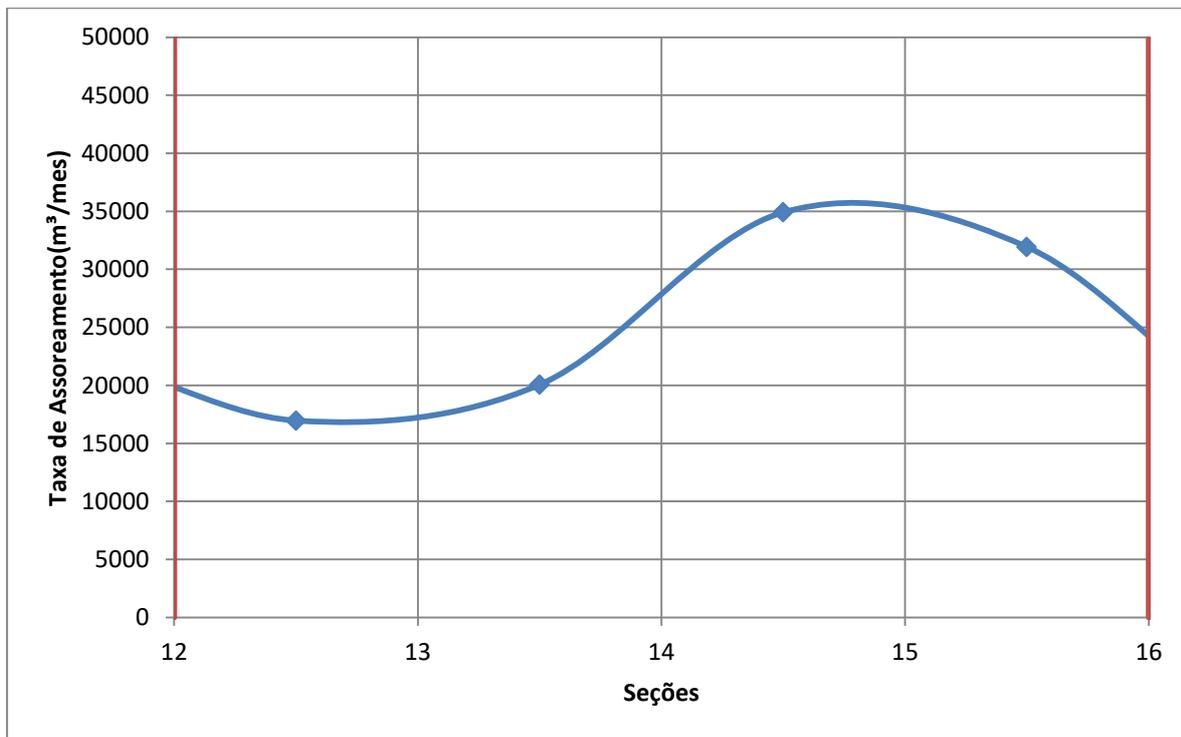
O processo de dragagem é novamente repetido e de Abril de 2013 a Novembro de 2013 a taxa de assoreamento se reduziu, sendo de 65.000 m<sup>3</sup>/mês o valor assoreado para a área estudada, resultando em um volume acumulado de 455.000m<sup>3</sup>(Figura 24).



**Figura 24: Comparação entre a batimetria de Abril de 2013 (ESQUERDA) e Novembro de 2013 (DIREITA).**

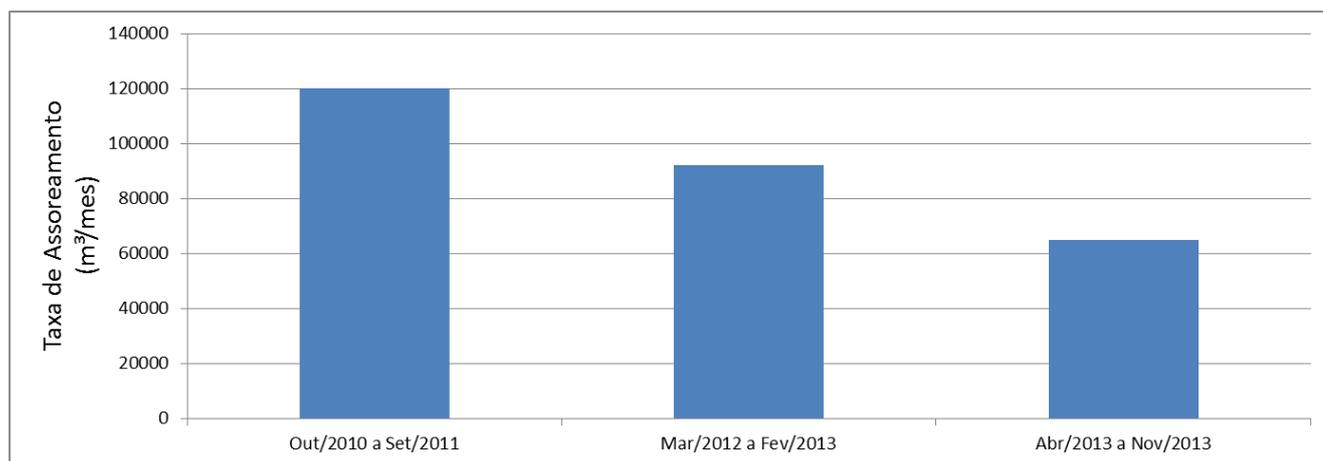
Vale destacar que durante os anos analisados as profundidades do canal de navegação das seções 12 e 13 não foram fatores limitantes para a atracação dos navios nos terminais presentes, sempre se mantendo abaixo da profundidade de 18 metros.

A seguir será mostrado a média do assoreamento feito por seção através do tempo, constatando o que é visto nas imagens acima. As regiões que mais assoreariam no Trecho 2 é da seção 14 até a seção 16, como é visto na Figura 25



**Figura 25: Média do assoreamento feito por seção através do tempo no Trecho 2.**

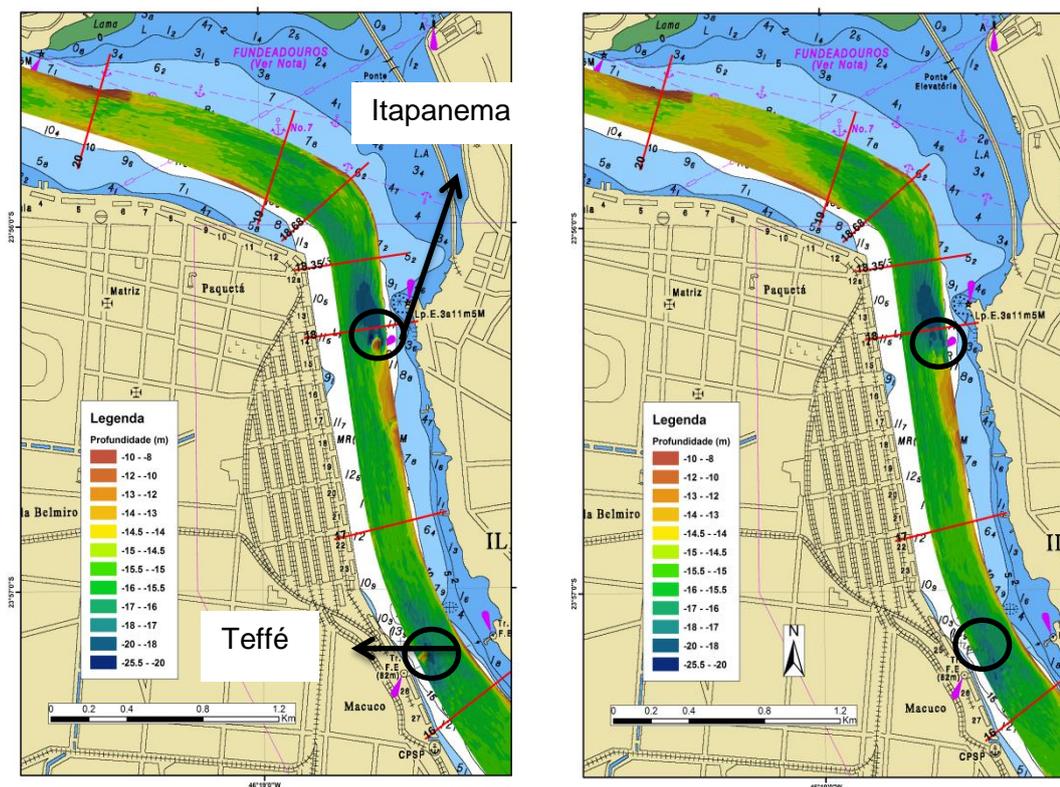
Na Figura 26 serão apresentadas as taxas de Assoreamento para o Trecho 2 segmentadas de acordo com o período de análise.



**Figura 26: Taxa de Assoreamento por período de análise do Trecho 2**

### 6.3 Trecho 3

Este trecho compreende desde a Torre Grande até a Ilha Barnabé, neste trecho ocorre a ligação do Canal de Acesso do Porto de Santos com o Canal de Bertioga feito pela margem direita do canal que possui uma extensão de aproximadamente 4 quilômetros, composta por uma curva que se aproxima dos 70 graus a esquerda e possui um área de 1.100.000 m<sup>2</sup>. Com relação à navegabilidade este trecho dentre os demais é o mais sensível, pois existiam 2 afloramentos rochosos no canal sendo eles Itapanema e Teffé que foram derrocados em Dezembro de 2012(Figura 27).

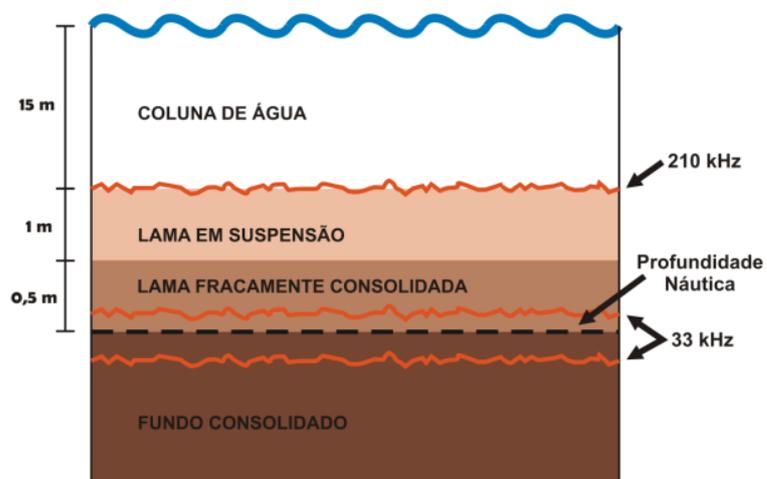


**Figura 27: Derrocamento dos afloramento rochosos entre Outubro de 2012(ESQUERDA) e Dezembro de 2012(DIREITA)**

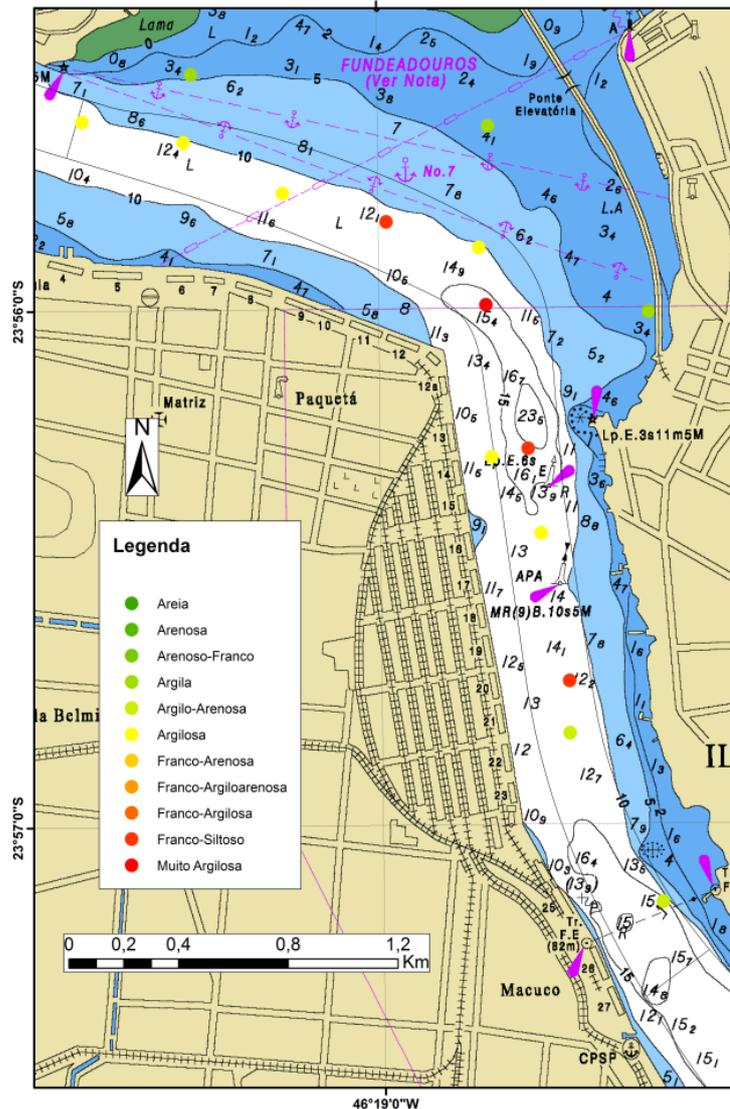
Sua largura média do canal é semelhante aos trechos anteriores, com duzentos e vinte metros de extensão, porém devido a um curva acentuada para a esquerda, fez com que adotasse uma sobre largura de trezentos metros, mantendo a sua profundidade inalterada em relação aos dois trechos anteriores, sendo este de 15 metros. Novamente o talude permaneceu com a inclinação de 1 para 6 como foi preconizado pelo INPH.

Diferentemente dos trechos subsequentes, sua granulometria começa ter mais finos(Figura 29), encontrando depósitos de material Franco-Siltoso e Argiloso. Esta camada quando não bem definida sua espessura, geram vários inconvenientes quanto à segurança da navegação, uma delas é a imprecisão referente à profundidade, tendo em casos específicos o navio que desatracar com uma

capacidade menor que a nominal, por precaução para que evite sua colisão com o fundo consolidado(Figura 28)



**Figura 28: Representação esquemática do perfil do canal do porto com 15 metros de profundidade com suas camadas de lama e o fundo de acordo com a classificação de Manning et al ,2010 (PIANC,1997).**

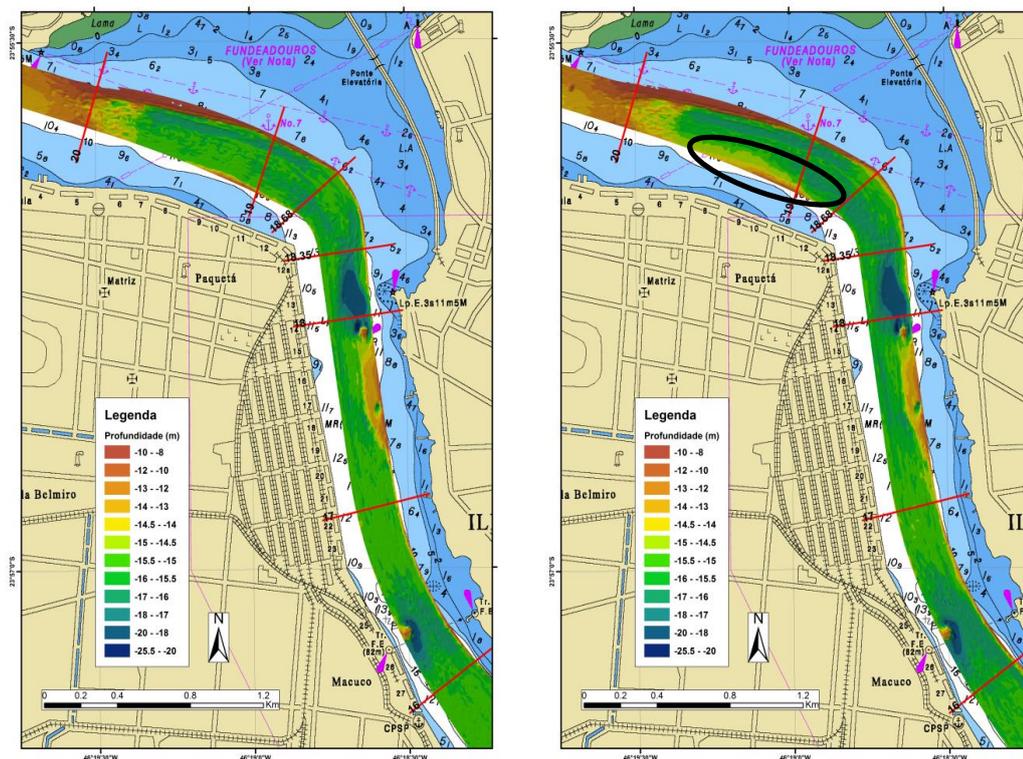


**Figura 29: Classificação granulométrica do Trecho 3 do Canal de Acesso do Porto de Santos de acordo com FRF(2008).**

De acordo com os dados obtidos, em Outubro de 2010 as seções de 16 a 20 estavam muito assoreadas frente ao desejado, tendo profundidade de 14.1 metros, já entre as seções 19 e 20 as profundidade eram ainda menores, atingindo 12.2 metros, muito acima do definido pelo projeto. Há uma grande cava presente ao norte da Pedra de Itapanema, como já pode ser notado na Seção 18, formando um grande bolsão com profundidades média igual a 19 metros e atingindo em regiões mais profundas 21 metros.

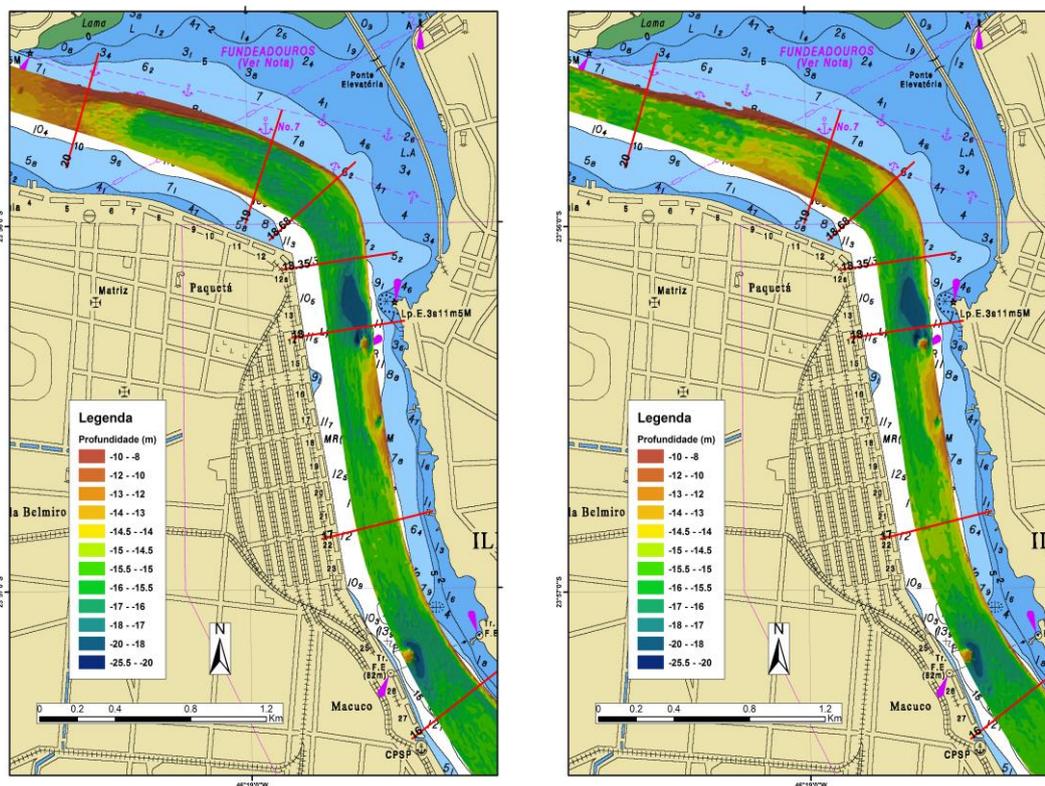
Dragagens foram feitas em toda a área retirando 1.600.000 m<sup>3</sup> de sedimento de Outubro a Dezembro de 2010, porém se manteve entre os trechos 17 e 18 uma região com profundidade de 13 metros. Levantamentos feitos nos meses de Dezembro de 2010 a Fevereiro de 2011 foram constatados taxas de assoreamento de 85.000 m<sup>3</sup>/mês, ocorrendo assoreamento principalmente na margem esquerda (Figura 30) representando um acúmulo de 60.000 m<sup>3</sup> entre as seções 19 e 20, tendo como um

possível fator a redução da velocidade das corrente atingindo 20cm/s logo após a estufa da preamar de acordo com FERREIRA(2013).



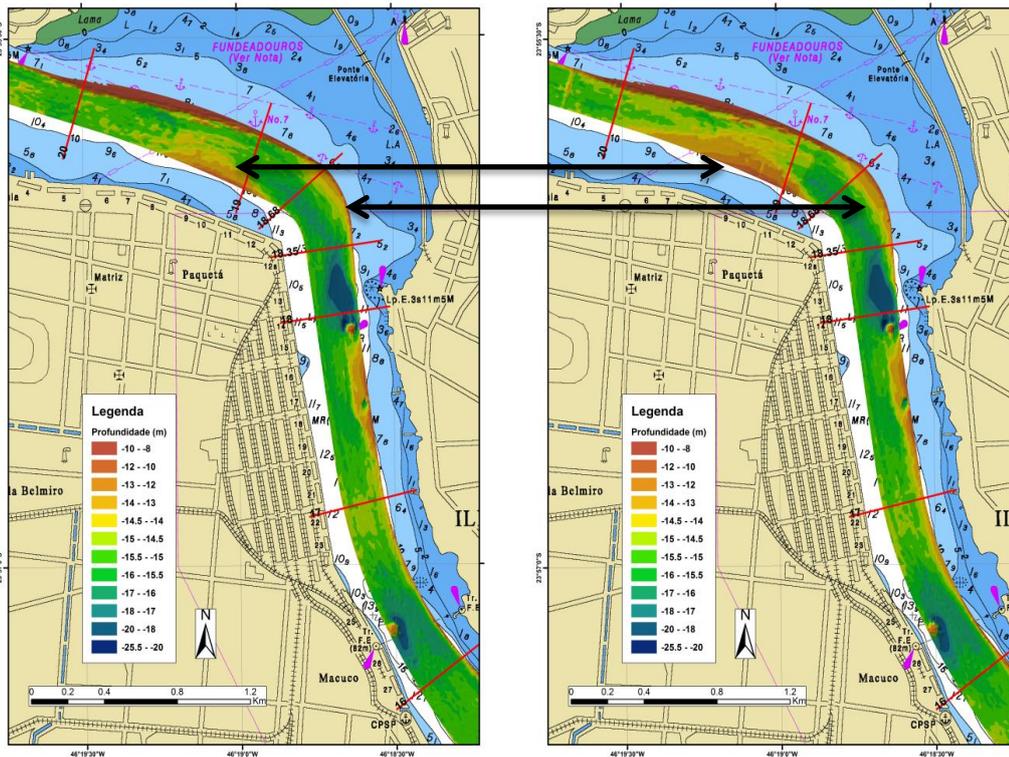
**Figura 30: Comparação entre o levantamento de Dezembro de 2010(ESQUERDA) e Fevereiro de 2011(DIREITA). Em destaque a região na qual houve o maior assoreamento.**

Por ser um porto e principalmente um trecho em franca expansão, houve a necessidade de aumentar o calado do canal de navegação em Março de 2011 principalmente na seção final do Trecho 3 e em todas as seções do Trecho 4, saindo de uma profundidade de 12.5 metros para 15.5 metros, atingindo profundidades vistas nas seções externas como é visto na Figura 31.



**Figura 31: Operação de dragagem ocorrida nas seções finais do Trecho 3, entre os levantamentos de Fevereiro de 2013(ESQUERDA) e Março de 2013(DIREITA)**

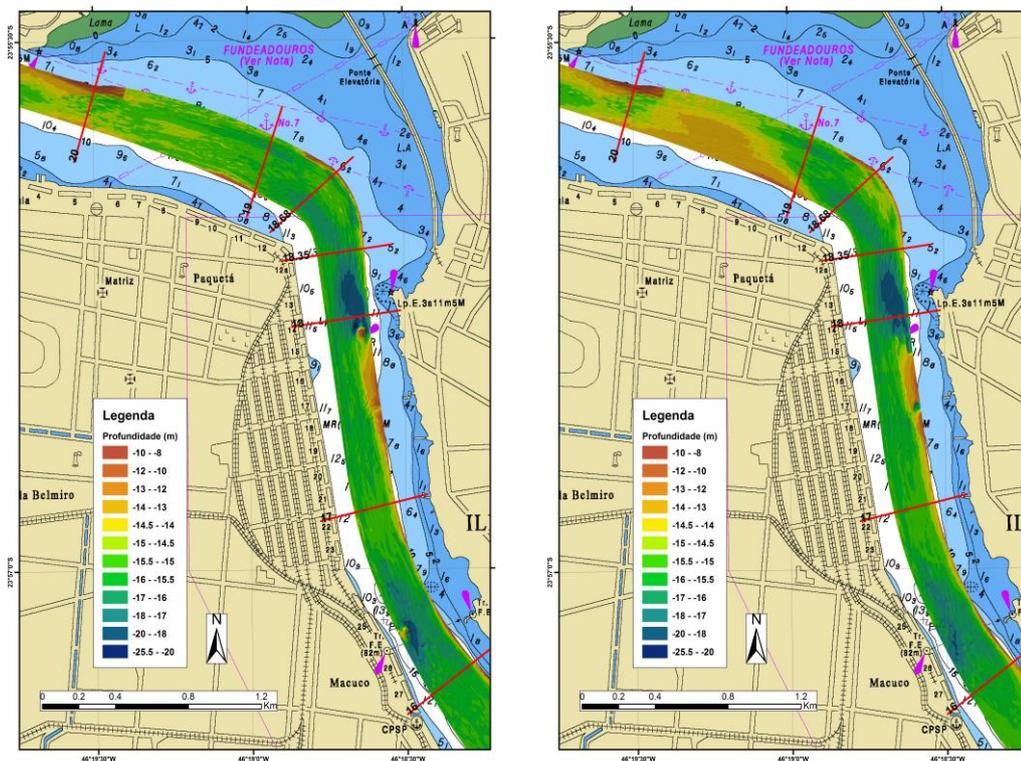
Posteriormente a essa intervenção as seções do Trecho 3, de Março de 2011 até Setembro de 2011 obtiverem uma taxa de assoreamento de 55.000 m<sup>3</sup>/mês, depositando 401.000 m<sup>3</sup> no período analisado, como pode ser verificado na Figura 32. Nota-se que os processos de assoreamento foram mais intensos entre as seções 19 e 20 e na margem direita entre as seções 18+350 e 18+685, havendo uma diferença de 0.5m entre as batimetrias estudadas.



**Figura 32: Assoreamento do Trecho 3 entre os meses de Março(ESQUERDA) e Setembro(DIREITA) de 2011 tendo destaque para as principais regiões com diferença de profundidade.**

Até Setembro de 2012, por conta da instalação de um novo terminal portuário denominado EMBRAPORT, houve a dragagem do canal entre as seções 19 e 20 em sua maior parte do tempo, começando com uma abertura para acesso das dragas na margem direita, seguindo até o desmorte do talude da margem direita, formando uma nova bacia de evolução resultando em valores que não retratam o Trecho 3. Por conta de ser um empreendimento privado, a região do terminal não será analisado neste trabalho.

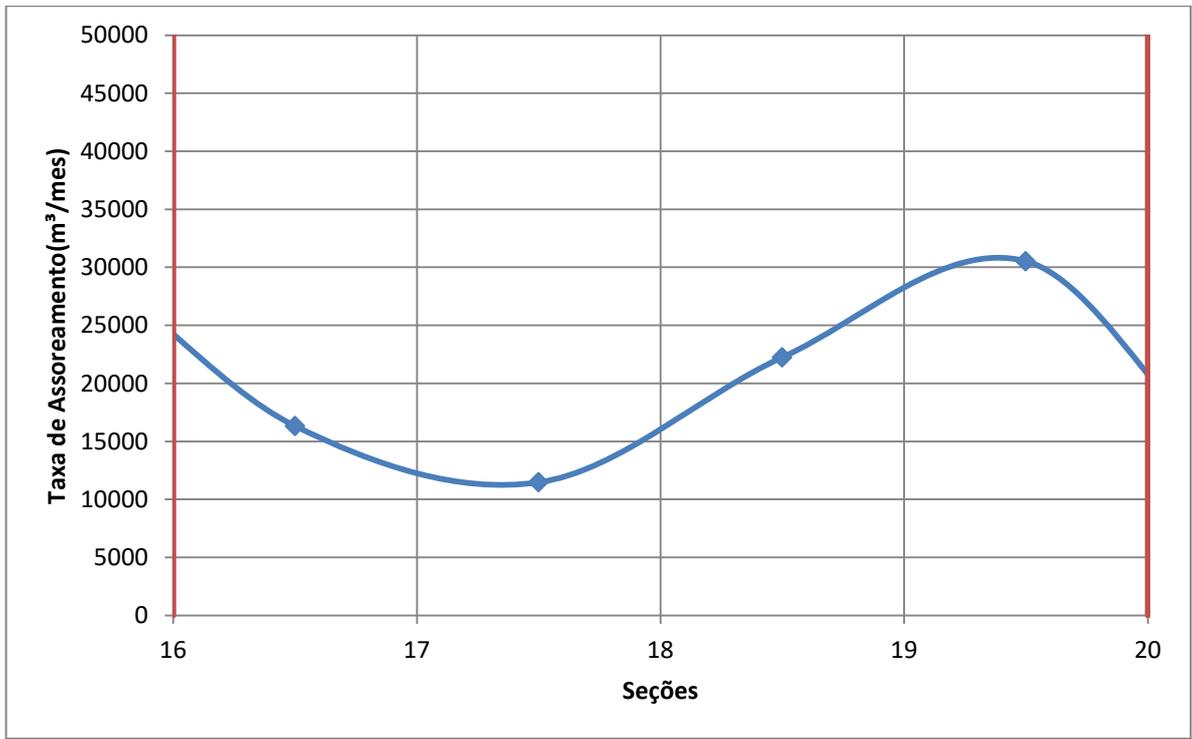
Analisando em outro momento, já com o canal dragado, a taxa de assoreamento passou a ser de 90.000 m<sup>3</sup>/mês, entre os levantamentos de Setembro de 2012 a Fevereiro de 2013(Figura 33), acumulando para o trecho aproximadamente 455.000 m<sup>3</sup> no intervalo de 5 meses. Neste período, o canal de navegação anterior a seção 19 permaneceu bem marcado, sofrendo pouca interferência de bancos ou desmoronamento dos taludes, no entanto a partir da seção 19, ocorreu um forte assoreamento no qual houve a redução de 1.1 metros no centro do canal e que em casos extraordinários atingem a margem oposta.



**Figura 33: Assoreamento ocorrido no intervalo de 5 meses entre Setembro de 2012(ESQUERDA) e Fevereiro de 2013(DIREITA).**

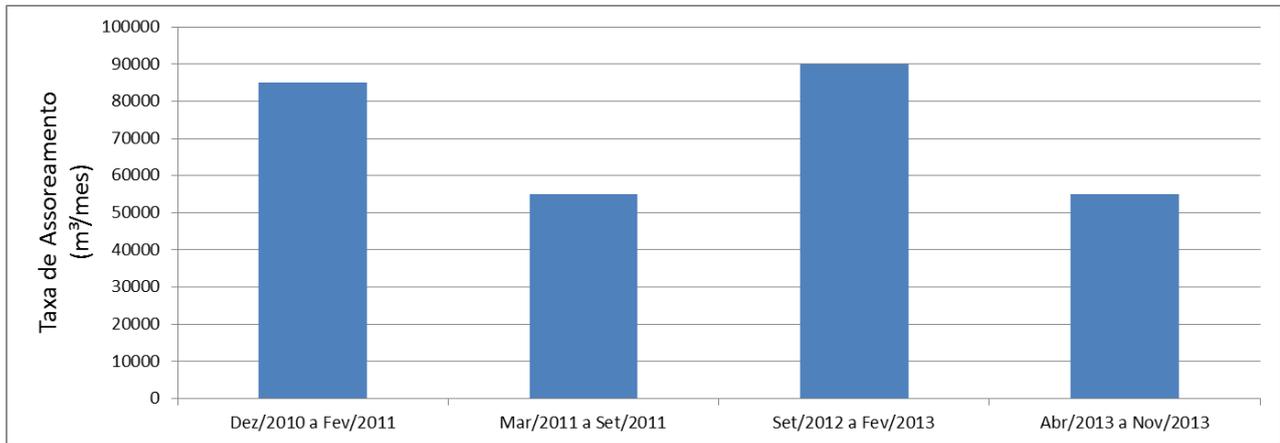
Nos meses de Abril a Novembro de 2013, últimos meses de dados, sua taxa de assoreamento passou a ser de 55.000 m<sup>3</sup>/mês, continuando um processo de assoreamento acelerado porém menor que nas análises anteriores, havendo o acúmulo de 378.000 m<sup>3</sup>.

Na Figura 34 será exibido as médias por seção da evolução temporal.



**Figura 34: Média do assoreamento feito por seção através do tempo no Trecho 3.**

Na Figura 35 serão apresentadas as taxas de Assoreamento para o Trecho 2 segmentadas de acordo com o período de análise.



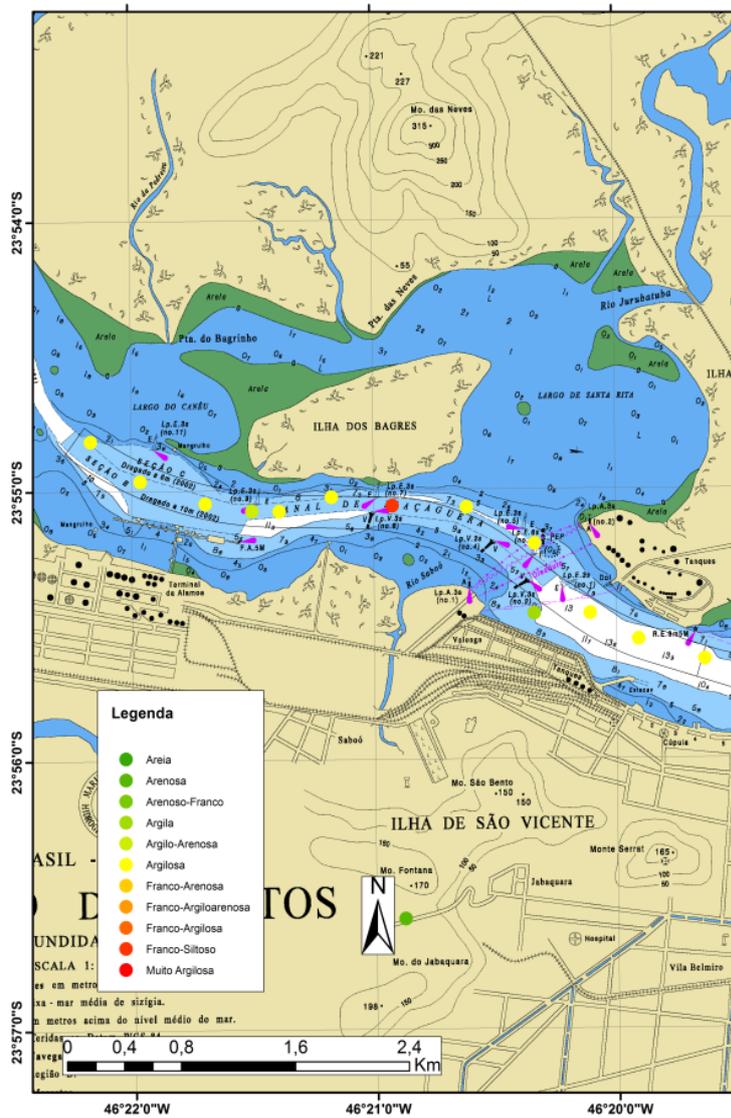
**Figura 35: Taxa de Assoreamento por período de análise do Trecho 3.**

#### 6.4 Trecho 4

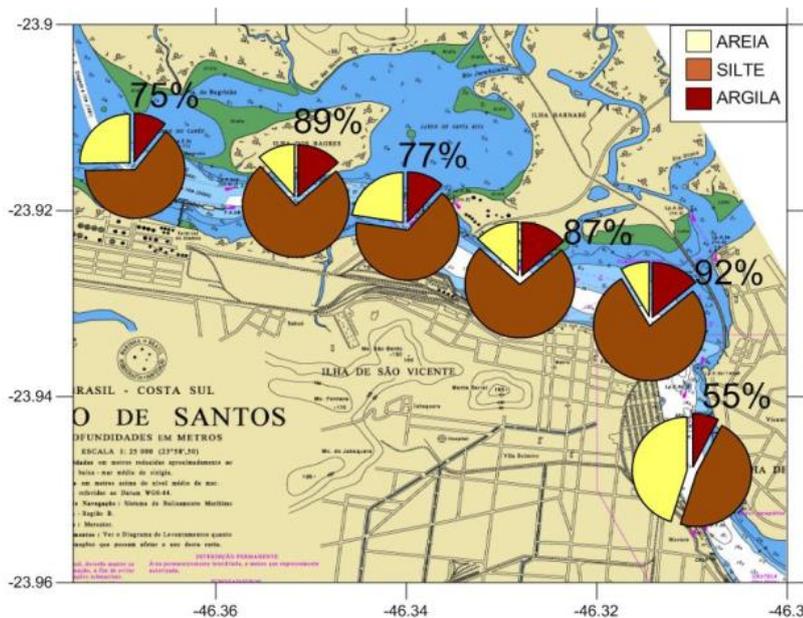
Este trecho é o mais interno e por isso sofre mais influencia da descarga fluvial, carga sedimentar e poluente de toda a baixada santista, principalmente do Rio Cubatão. Este setor possui um comprimento de aproximadamente 5 quilômetros e uma área de um 1.101.400 m<sup>2</sup> e seu talude e profundidade são semelhantes aos trechos anteriores.

Este é um canal sinuoso e por estar numa região de mangue, seus sedimentos finos e de acordo com a Tabela 3 que determinam as melhores inclinações para cada tipo de terreno, as condições do talude teriam que ser diferente, tendendo a ser mais horizontal do que foi determinado. Essa horizontalidade do talude é explicado pelo fato do solo não se sustentar, no caso o ângulo formado entre o plano e a normal ser maior que o ângulo de atrito, ocorre o deslizamento(TerzaghiK.;PeckR.B,1967).

Sua granulometria composta predominantemente por Argila como mostrado na Figura 36. Por ter sedimentos finos, formam-se bolsões de lama que não sendo percebidos pelas sondas, porém são passíveis de navegar quando estão no estado fluido, cuja densidade se encontra entre 1050 e 1300 kg/m<sup>3</sup> de acordo com WELLS E COLEMAN(1981).Nota-se que a presença de lama nesta região é uma constante pois FERREIRA(2013) verificou a presença de depósitos lamosos em campanhas realizadas no ano de 2011 (Figura 37).



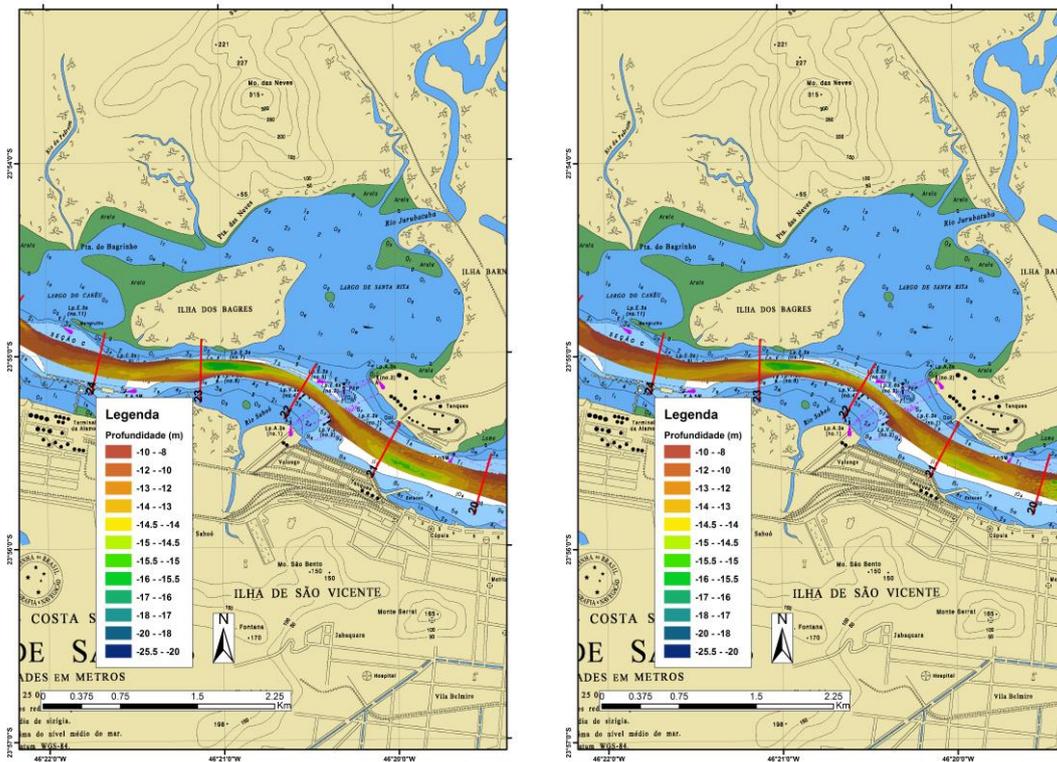
**Figura 36: Classificação granulométrica do Trecho 4 do Canal de Acesso do Porto de Santos de acordo com FRF(2008).**



**Figura 37: Resultado da análise granulométrica dos sedimentos de fundo coletados em junho de 2011 no canal do Porto de Santos. A porcentagem de finos em cada amostra está indicada próximo aos gráficos.(FERREIRA.2013)**

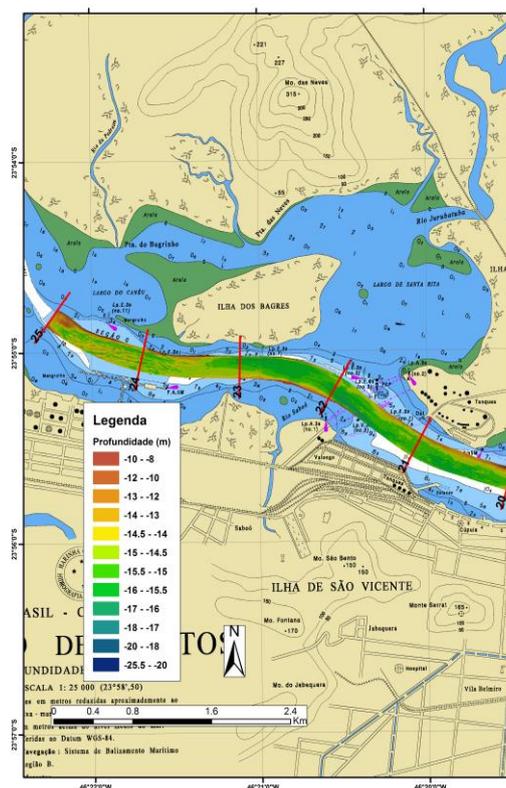
Com relação aos levantamentos do Trecho 4, em Outubro de 2010 o canal tinha uma profundidade que não ultrapassava os 12.5 metros em média, no entanto há uma região mais profunda que se localiza em frente a ilha dos Bagres, na margem direita do canal, porém na margem esquerda há formação de um grande banco com profundidade de 4 metros, próximo ao Rio Saboó que acaba por reduzir a largura útil do canal, havendo um estrangulamento do mesmo.

De Outubro a Dezembro de 2010, período no qual não houve obras no Trecho 4 como pode ser visto na Figura 38, foi estimado uma taxa de assoreamento de 155.000 m<sup>3</sup>/mês e taxa de erosão no valor de 15.000 m<sup>3</sup>/mês. Se compararmos a erosão, com a capacidade de reter sedimento, há causas que explicam seus valores dispare, que são: área de manguezal em seu entorno, baixa velocidade de escoamento e região de desembocadura de rios que percorrem a baixada santista.



**Figura 38: Comparação entre a batimetria de Outubro de 2010(ESQUERDA) e Dezembro de 2010(DIREITA) no Canal de Navegação.**

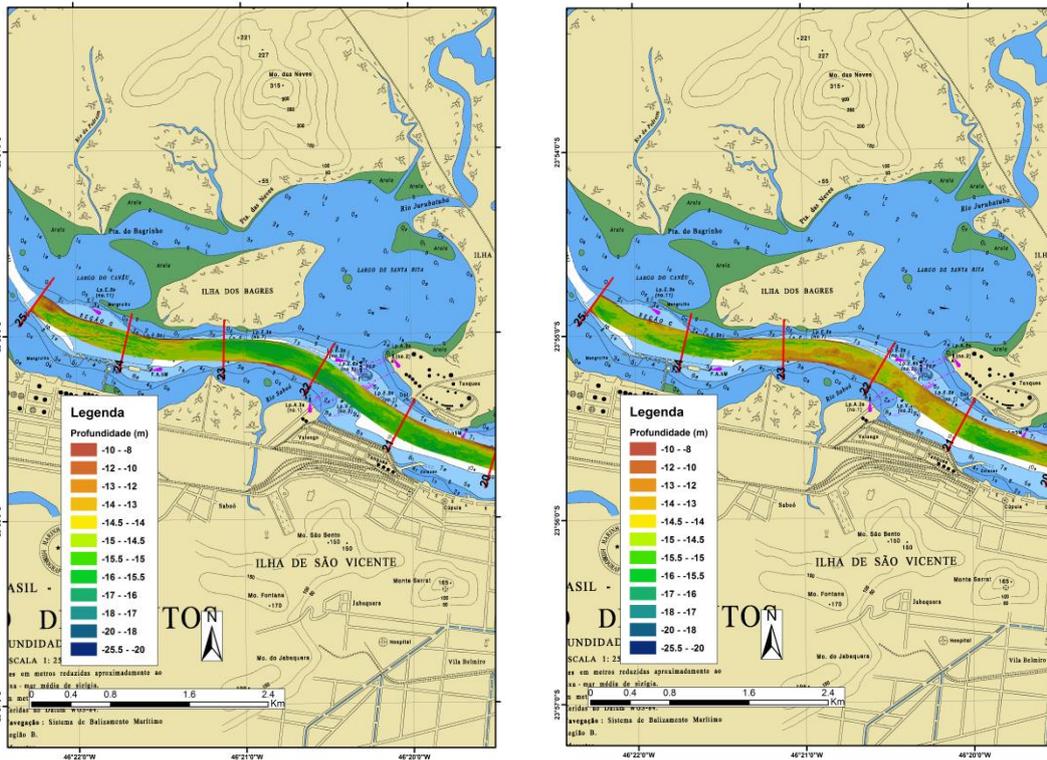
Por conta da instalação do projeto aquaviário, esta região nos anos de 2011 e 2012, passaram por grandes transformações. Com relação à profundidade no ano de 2011 foi o marco, para que novas transações pudessem ser realizadas, devido ao aprofundamento realizado e ao alargamento, dragando das seção 20 a 24, tendo atingido 16 metros de profundidade e passando de uma largura de 115m para 230m, como pode ser percebido na Figura 39.



**Figura 39: Aprofundamento realizado no Trecho 4, atingindo os 16 de calado mínimo em Março de 2012**

Para a determinação da taxa de assoreamento, em casos de obras portuárias é extremamente complicado, pois não há assoreamento devido à retirada de sedimento ser maior que a capacidade do canal possui em deposita-los, tendo se retirado do canal de navegação aproximadamente 4.000.000 m<sup>3</sup> para que o canal atinjam as características presente na Figura 39 que são referente aos levantamentos batimétrico de Março de 2012.

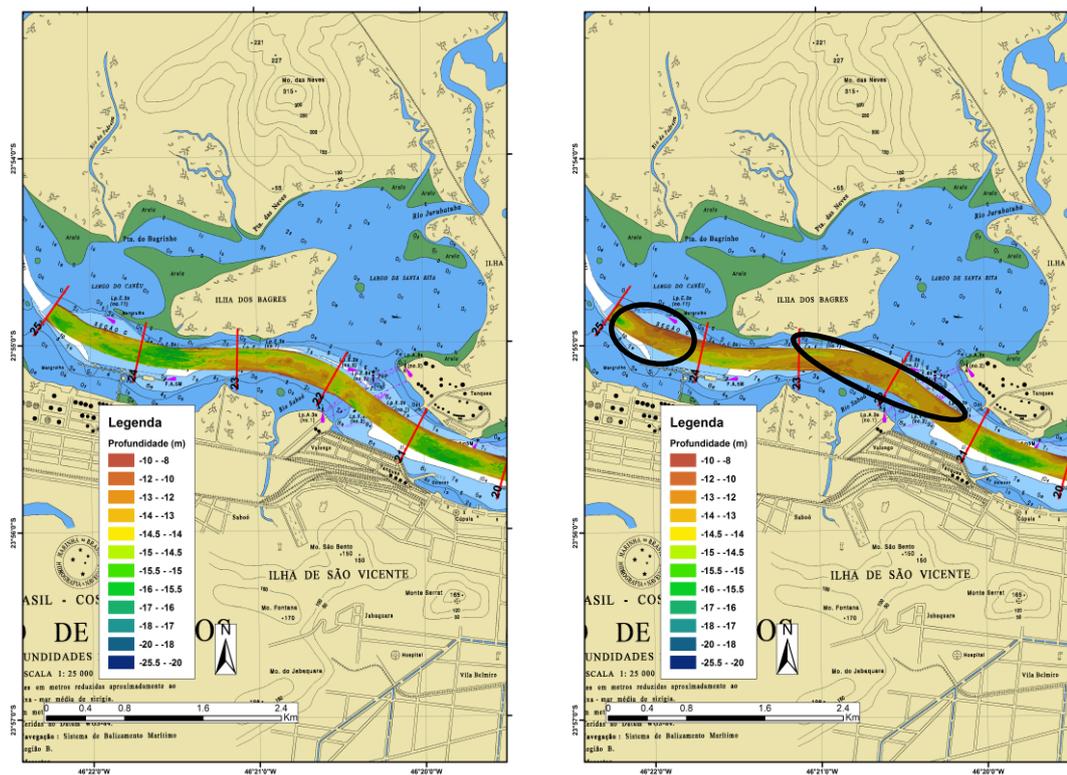
A partir do levantamento de Março de 2012, as áreas entre as seções 20 e 23 sofreram um assoreamento muito intenso ate Setembro de 2012, reduzindo em um intervalo de 6 meses, 1.30 metros de profundidade em média e em casos extremos 2.5 metros no canal de navegação, sua taxa de assoreamento foi de 115.000 m<sup>3</sup>/mês representando um aporte de 680.000m<sup>3</sup>. Foi identificado que as principais áreas deposicionais são no centro do Canal de Navegação e na margem esquerda da hidrovia como é verificado na Figura 40.



**Figura 40: Comparação entre as batimetria de Março(ESQUERDA) a Setembro(DIREITA) de 2012. Em destaque a região na qual houve o maior assoreamento.**

Do período de Setembro de 2012 a Setembro de 2013, não foi verificado através de uma análise visual operações de dragagem e foi estimado uma taxa de assoreamento na ordem de 100.000 m<sup>3</sup>/mês que ocorre de forma distribuída entre as seções 21 e 23 havendo o estrangulamento do Canal de Navegação e de forma pontual entre as seções 24 e 25 como é visto na Figura 41, acumulando 1.200.000 m<sup>3</sup> no canal de navegação no Trecho 4.

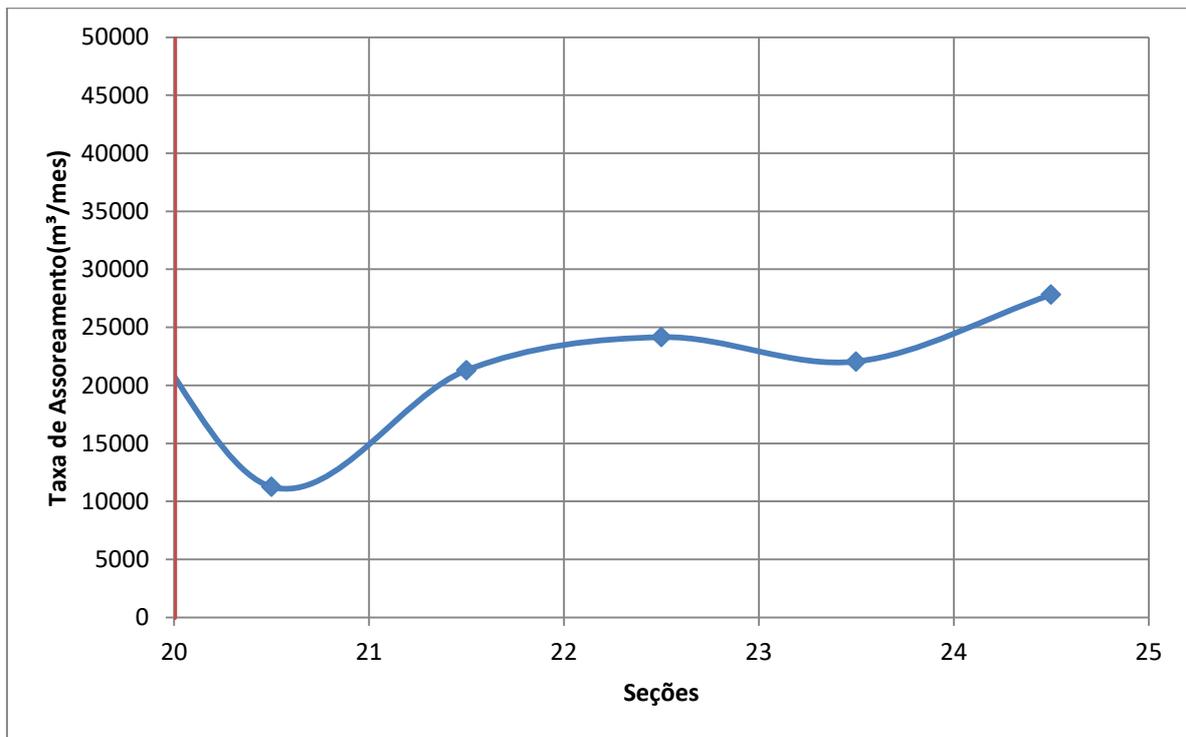
Há um comportamento peculiar entre as seções 20 e 21 e 23 e 24 pois existe a manutenção da profundidade de 15.3m e 14.6m respectivamente, sendo um forte indicativo de operação de dragagens de manutenção por estarem localizado em frente a terminais de contêineres e o Alamoia.



**Figura 41: Comparação entre os levantamentos de Setembro de 2012(ESQUERDA) e Setembro de 2013(DIREITA), com as principais zonas de deposição demarcadas em preto.**

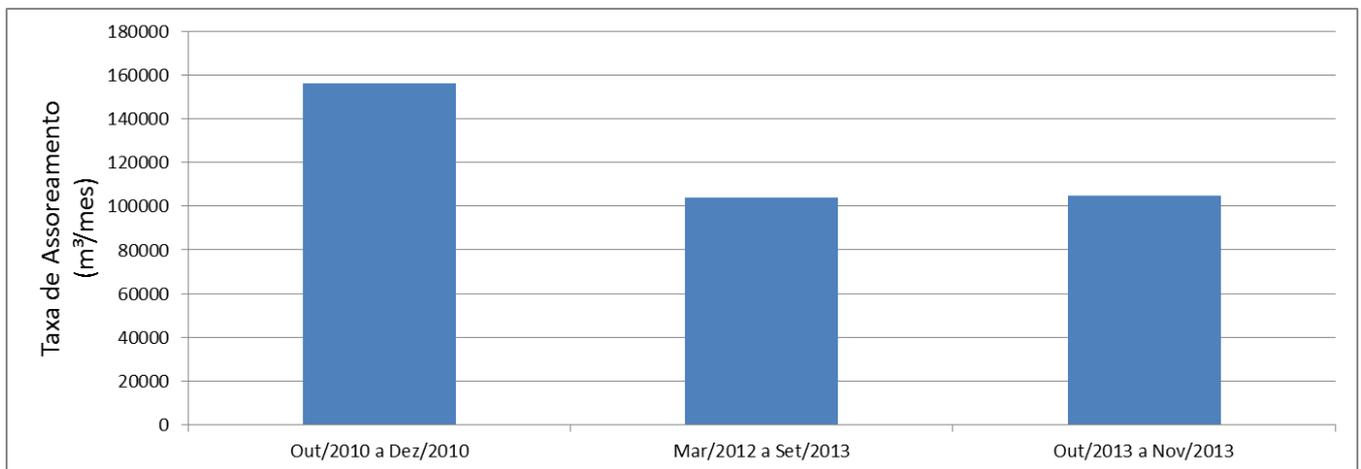
De Setembro para Outubro de 2013 a fim de retornar a profundidade estipulada do projeto, foram feitas dragagens principalmente das seções 20 a 24, na qual se situa o último terminal portuário do Trecho 4. No período de 1 mês restante, que compreende de Outubro a Novembro de 2013, houve um assoreamento de 104.000 m<sup>3</sup>/mês.

Na Figura 42 serão apresentadas as taxas de Assoreamento para o Trecho 2 segmentadas de acordo com o período de análise.



**Figura 42: Média do assoreamento feito por seção através do tempo no Trecho 4.**

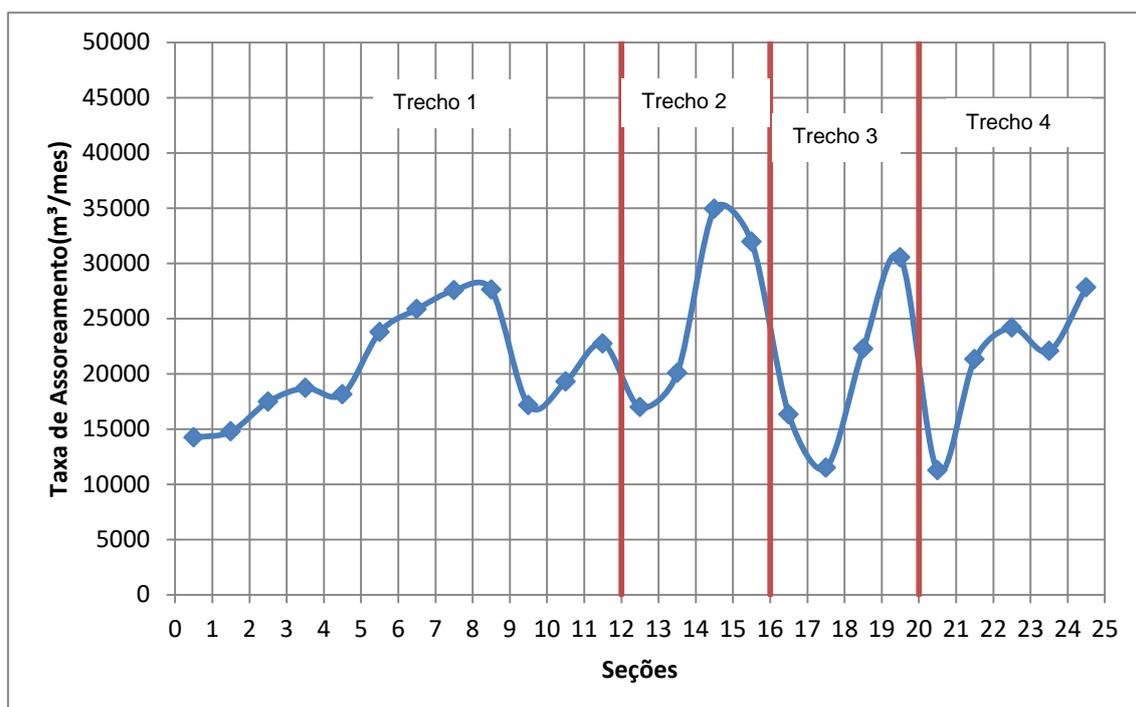
Na Figura 43 serão apresentadas as taxas de Assoreamento para o Trecho 4 segmentadas de acordo com o período de análise.



**Figura 43: Taxa de Assoreamento por período de análise do Trecho 4**

## 7. Conclusão

As taxas de assoreamento encontradas são referentes a uma média de todas as batimetrias entre Outubro de 2010 e Novembro de 2013 e tiveram diversos valores perante as condições que os sedimentos estão submetidos.



**Figura 44: Taxas de Assoreamento e Erosão para o Canal de Navegação do Porto de Santos.**

Para o Trecho 1 notamos 3 regiões distintas com relação ao aporte de sedimentos que resultam em taxas diferentes, temos as áreas entre as seções 0, 1 e 2, que apresentam uma grande estabilidade com relação a movimentação de sedimentos, em média sua taxa de assoreamento é de 14.000m³/mês.

As seções posteriores mesmo apresentando as mesmas forçantes oceanográficas, como maré, ondas e ventos, por estarem na plataforma continental apresentam em sua morfologia de fundo um ligeiro aprofundamento em relação aos anteriores e são uma área de transição até o banco que compõe a curvatura do Trecho 1. As Seções de 2 a 6 apresentam uma taxa de assoreamento de 20.000m³/mês que pode ter como causa principal o desprendimento dos sedimentos de seu talude sendo direcionados ao canal de navegação enquanto nas seções de 0 a 2 por não ser uma região encaixada, os sedimentos são dispersos

A região de aproximação da curva e a curva propriamente dita do Trecho 1, na qual estão presentes as seções de 6 a 9, sua taxa de assoreamento média é de 26.000 m<sup>3</sup>/mês. Ocorre à deposição em todas as regiões de forma semelhante, no entanto há maior assoreamento entre as seções 5 e 6 por conta de forçantes como ondas, maré e correntes que atuam no banco retirando sedimento do talude e da Baía de Santos e o depositando no canal.

As seções remanescentes do Trecho 1 apresentam pelo menos 1 característica física em comum, são seções com grandes profundidades, que não necessitam de monitoramento batimétrico constante. Apesar do seu assoreamento ser de 19.000m<sup>3</sup>/mês, há como resultado seções estáveis com relação a profundidade e a largura.

O Trecho 2 como foi descrito no capítulo anterior, apresentam semelhança quanto as condições geométricas do canal, no entanto há 2 regiões distintas, uma ao sul composta pelas seções de 12 a 14 com assoreamento de 17.000 m<sup>3</sup>/mês e uma mais ao norte composta pelas seções de 14 a 16 que tem uma taxa de assoreamento maior com valor de 30.000 m<sup>3</sup>/mês em suas seções.

O assoreamento ocorrido no Trecho 2 se dá principalmente entre as seções 14 a 16, apesar da profundidade atingida não se opor as profundidades navegáveis, no entanto os berços de atracação da margem esquerda, devem ter atenção devido a sua profundidade chegou a 13.4 metros, havendo uma predominância de depósitos sedimentares em detrimento a margem oposta que possui profundidade média maior que 15.8 metros.

No Trecho 3 ocorrem 2 processos dinâmicos diferentes resultando em processos de assoreamento diversos, enquanto as seções inferiores a 19 possuem um assoreamento médio de 16.500 m<sup>3</sup>/mês e a área superior entre as seções 19 e 20 possui um assoreamento de 35000 m<sup>3</sup>/mês. Esta deposição como foi dito anteriormente, ocorre na margem esquerda do canal de navegação imediatamente após a curva de 70 graus, na qual as profundidades se reduzem 2 metros na pior situação observada, possivelmente por conta da redução das velocidades.

O Trecho 4 é o mais difícil para uma quantificação da taxa de assoreamento e de erosão, pois houve muitos períodos de dragagens impactando diretamente na deposição de sedimentos, ou por operação inadequada das dragas ou revolvimento dos sedimentos. O assoreamento mensal do trecho foi de 22.700 m<sup>3</sup>/mês.

De acordo com relatório da ARGONÁUTICA(2013), verificou-se que o assoreamento médio, do canal com as mesmas características, são de 600.000 que se comparado com o assoreamento deste estudo, resultam em uma diferença de 10%.

Nota-se que o principal entrave para a expansão portuária quanto ao calado, será na porção estuarina do Canal de Navegação, devido ao grande assoreamento ocorrido e a baixa capacidade erosiva, os trechos de 1 a 4 correspondem a 46%,19%,15% e 20% do total assoreado no período de analisado. Dentre os trechos há que se atentar principalmente para as regiões entre as seguintes seção: de 5 a 9, de 14 a 16, 18 a 20 e 22 a 25 como é visto na Figura 45 a fim de mitigar o assoreamento e reduzir os custos com dragagens de manutenção.

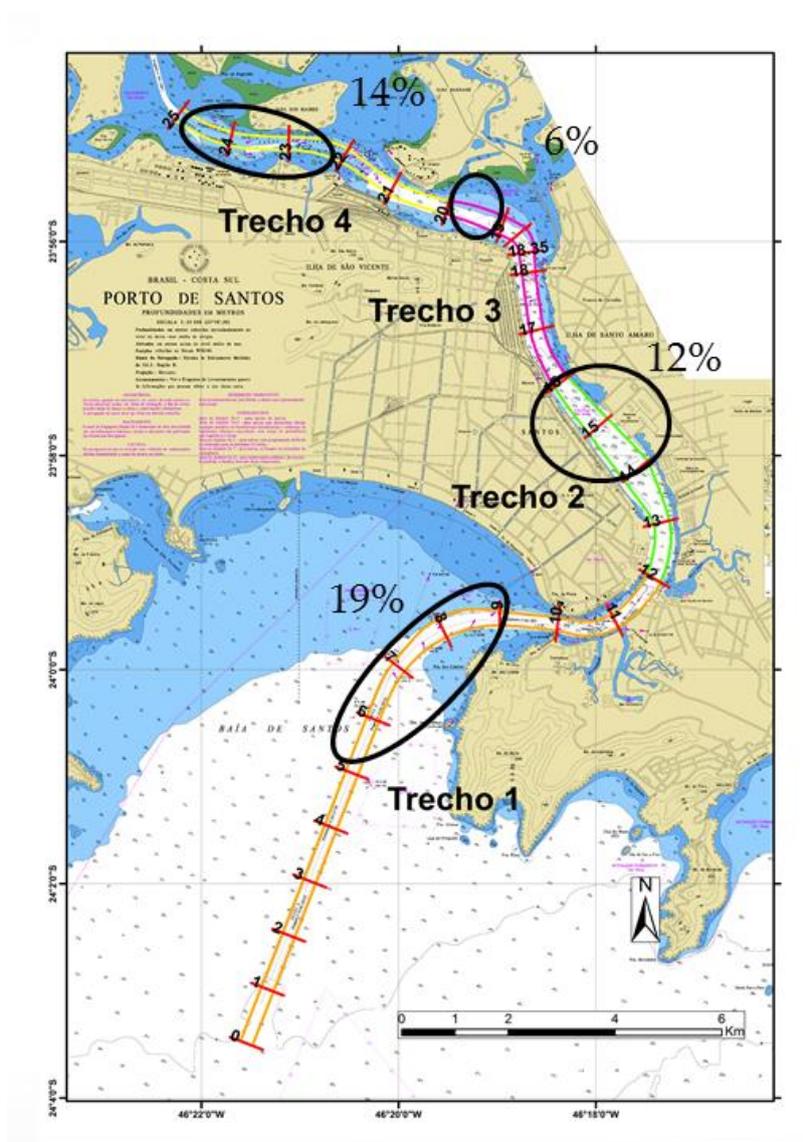


Figura 45: Porcentagem do Assoreamento que ocorre nas regiões demarcadas.

Os dados fornecidos pela SEP e utilizados neste trabalho foram satisfatórios para a proposta estabelecida, a qual foi determinação das taxas de assoreamento do Canal de Navegação do Porto de Santos. Uma das dificuldades encontradas foi o estabelecimento de quais batimetrias seriam usadas para cobrir integralmente o estuário para que posteriormente sejam feitas os MDE's.

O SIG se mostrou uma excelente ferramenta para o cálculo dos volumes assoreados e erodidos, além da visualização dos dados georeferenciados, auxiliando na tomada de decisão, que poderá ser potencializada quando um banco de dados como por exemplo: salinidade, característica dos sedimentos e dados químicos for implementado.

## 8. Referência Bibliográfica

ARGONÁUTICA, Engenharia e Pesquisas. *Estimativa da taxa de dragagem anual no canal de acesso ao Porto de Santos após a obra de aprofundamento para -15m DHN*, Companhia Docas Do Estado de São Paulo Porto de Santos – Autoridade Portuária, Julho 2013.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E., *Obras e Gestão de Portos e Costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental*. 2ª ed., São Paulo, Edgard Blucher Ltda., 2009.

BAPTISTELLI, S. C., 2008. *Análise crítica da utilização de modelagem matemática na avaliação da dispersão de efluentes leves no litoral da Baixada Santista* (Estado de São Paulo) Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 314 pp.

CÂMARA, G. et al. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. UNICAMP SAGRES, 1997. v. único

CARVALHO, N.O. *Hidrosedimentologia Prática*. CPRM –Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Rio de Janeiro, 1994.

FERREIRA, Tobias Ramalho dos Santos- *Ocorrência de Lama Fluida no Porto de Santos*/ Tobias Ramalho dos Santos Ferreira. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

FRF (2008) Fundação Ricardo Franco “*DRAGAGEM DE APROFUNDAMENTO DO CANAL DE NAVEGAÇÃO, BACIAS DE EVOLUÇÃO E BERÇOS*”

JOVITO, M – *Seminário sobre gestão de sedimentos, Assoreamento e Dragagem 2014*

[http://licenciamento.ibama.gov.br/Dragagem/Dragagem%20%20Porto%20de%20Santos/EIA\\_Dragagem\\_Porto\\_Santos2/Anexo%20A%20%20Projeto%20de%20Dragagem/Anexo%20VI](http://licenciamento.ibama.gov.br/Dragagem/Dragagem%20%20Porto%20de%20Santos/EIA_Dragagem_Porto_Santos2/Anexo%20A%20%20Projeto%20de%20Dragagem/Anexo%20VI)  
/ acessado 31/01/2016

<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2012/09/mudanca-no-tempo-deixa-o-mar-agitado-e-provoca-ressaca-em-santos.html> (acessado 21/09/2016)

IVIG (2014), Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais IVIG/COPPE/UFRJ “*Modelo Matemático Aprimorado de Quantificação de Assoreamento nos Acessos Aquaviários no Portos Contemplados – Porto de Santos – SP*”

KOTTEK, M. J.; GRIESER, C.; BECK, B.; RUDOLF, F., “*World Map of the Köppen Geiger climate classification updated*”. Journal Meteorology, vol. 15, pp. 259263,2006.

MANNING,A. J.,LANGSTON,W.J., JONAS,P.J.C. “*A review of sediment dynamics in the Severn Estuary: Influence of flocculation*” Marine Pollution Bulletin, v. 61, pp. 37 51, 2010

MANNING,A. J.,LANGSTON,W.J., JONAS,P.J.C. “*A review of sediment dynamics in the Severn Estuary: Influence of flocculation*” Marine Pollution Bulletin, v. 61, pp. 37 51, 2010

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo, EDUSP. 2002.

NAVIGARE NECESSE. *Execução de Obras dos Sistemas de Disposição Oceânica de Esgotos Submarinos: Subsistemas 1 e 2 de Praia Grande (SP)*. São Paulo, Junho de 2014.

PERILLO, G.M.E. *Geomorphology and sedimentology of Estuaries*: na introduction. In PERILLO, G.M.E (Ed.). *Geomorphology and sedimentology of Estuaries*. The Netherlands: Elsevier Science B.V. 1995. p 1-16.

PERILLO, G.M.E. *Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries*. In PERILLO, G.M.E. (Ed.). *Geomorphology and sedimentology of Estuaries*. The Netherlands: Elsevier Science B.V. 1995. p 17-47.

PIANC, “*Approach Channels – A guide for desing: Final rep. Of the joint Working Group PIANC and IAPH in cooperation with IMPA and IALA*”, Supplement of PIANC Bulletin,n.95,1997

PIANC PTC II. *Navigation in muddy areas*. Excerpt from Bulletin No. 43. Report of Working Group 3a. pianc, Brussels, 19821983.

PRANDLE, D. *Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology*. University of Wales. Cambrigde. New York. 248p. 2009.

PRITCHARD, D.W. *Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay Estuarine System*. Journal of Marine Research, New Haven, v.11, n.1a, p. 106123, 1952.

ROVERSI, F. *Estudo Hidrodinâmico e de Renovação das Águas do Sistema Estuarino de Santos / Fernando Roversi – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.*

SUGUIO, K. 1980. *Rochas sedimentares*. São Paulo. Edgar Blucher. 500p.

TERZAGHI.K.;PECK.R.B. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2ª edição, John Wiley & Sons, Inc. 1967, 729p.

WELLS, J. T., COLEMAN, J. M *grained sediment dynamics, coast of Surinam*, South Journal of Sedimentary Petrology, v. 51, n. 4, pp. 1053 1068, 1981.

## 9. Apendice

**APENDICE 1 - Área 2D referente aos levantamentos batimétricos das seções presentes no Trecho 1 do Canal de Acesso do Porto de Santos.**

Seção	Área 2D (m <sup>2</sup> )	Seção	Área 2D (m <sup>2</sup> )
0 a 1	126434	9 a 10	222917
1 a 2	220000	10 a 11	244239
2 a 3	220000	11 a 12	255886
3 a 4	220000		
4 a 5	220000		
5 a 6	155143		
6 a 7	231430		
7 a 8	292151		
8 a 9	321635		

**APENDICE 2 - Área 2D referente aos levantamentos batimétricos das seções presentes no Trecho 2 do Canal de Acesso do Porto de Santos.**

Seção	Área 2D (m <sup>2</sup> )
12 a 13	270547
13 a 14	387546
14 a 15	478688
15 a 16	364605

**APENDICE 3 - Área 2D referente aos levantamentos batimétricos das seções presentes no Trecho 3 do Canal de Acesso do Porto de Santos.**

<b>Seção</b>	<b>Área 2D (m<sup>2</sup>)</b>
<b>16 a 17</b>	<b>246811</b>
<b>17 a 18</b>	<b>232736</b>
<b>18 a 18350</b>	<b>86951</b>
<b>18350 a 18685</b>	<b>102644</b>
<b>18685 a 19</b>	<b>98763</b>
<b>19 a 20</b>	<b>291650</b>

**APENDICE 4 - Área 2D referente aos levantamentos batimétricos das seções presentes no Trecho 4 do Canal de Acesso do Porto de Santos.**

<b>Seção</b>	<b>Área 2D (m<sup>2</sup>)</b>
<b>20 a 21</b>	<b>229258</b>
<b>21 a 22</b>	<b>229323</b>
<b>22 a 23</b>	<b>243226</b>
<b>23 a 24</b>	<b>225326</b>
<b>24 a 25</b>	<b>229549</b>

**APENDICE 5 - Tabela referente a média do assoreamento ocorrido entre os levantamentos batimétricos.**

Comparação	Intervalo (meses)	S0 - S1	S1 - S2	S2 - S3	S3 - S4	S4 - S5	S5 - S6	S6 - S7
		Assoreamento						
Out_2010_Dez_2010	2	7764	7240	1550	0	0	0	13508
Dez_2010_Jan_2011	1	1229	8436	14688	0	1588	7299	9535
Jan_2011_Fev_2011	1	4593	349	24889	0	8871	6172	7908
Fev_2011_Mar_2011	1	4281	18062	27928	36056	34680	44539	39229
Mar_2011_Jun_2011	4	9125	18287	34168	60552	64706	86030	71050
Jun_2011_Set_2011	3	1922	7561	9154	7262	6240	18741	16113
Set_2011_Mar_2012	6	0	0	0	0	0	0	0
Mar_2012_Set_2012	6	11	308	302	474	352	2002	7008
Set_2012_Out_2012	1	29439	8351	26814	14085	7160	4295	2209
Out_2012_Dez_2012	2	2863	1246	3766	13420	23677	22970	23851
Dez_2012_Jan_2013	1	85973	61704	26348	3242	3713	14580	34589
Jan_2013_Fev_2013	1	0	0	1082	15985	20065	2549	28
Fev_2013_Abr_2013	2	7102	18551	18529	17600	23514	36296	47261
Abr_2013_Mai_2013	1	2102	1492	875	4305	9063	6320	7247
Mai_2013_Jun_2013	1	7816	14904	12453	7410	2304	1519	10267
Jun_2013_Set_2013	3	26416	31143	50577	35381	47715	46642	55638
Set_2013_Out_2013	1	0	827	11	6183	9854	36461	30995
Out_2013_Nov_2013	1	22752	37810	43856	43745	44144	43751	62988
<b>Média (m<sup>3</sup>/mês)</b>		14226	14767	17470	18979	19228	23760	25849

<b>Comparação</b>	Intervalo (meses)	S7 - S8	S8 - S9	S9 - S10	S10 - S11	S11 - S12
		Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento
<b>Out_2010_Dez_2010</b>	2	30627	23796	14335	16957	22571
<b>Dez_2010_Jan_2011</b>	1	10679	14602	11384	8684	19309
<b>Jan_2011_Fev_2011</b>	1	1647	5741	5375	28812	21620
<b>Fev_2011_Mar_2011</b>	1	25888	37246	14515	20744	27282
<b>Mar_2011_Jun_2011</b>	4	91548	102993	64566	18537	56660
<b>Jun_2011_Set_2011</b>	3	26753	26732	11965	10222	10215
<b>Set_2011_Mar_2012</b>	6	0	0	0	0	0
<b>Mar_2012_Set_2012</b>	6	12499	17899	7904	2833	31065
<b>Set_2012_Out_2012</b>	1	3777	7285	1628	6577	3987
<b>Out_2012_Dez_2012</b>	2	23237	12234	9554	4878	3259
<b>Dez_2012_Jan_2013</b>	1	16766	6960	3230	8578	9860
<b>Jan_2013_Fev_2013</b>	1	6902	63865	60513	78733	53186
<b>Fev_2013_Abr_2013</b>	2	40144	12430	150	80	2500
<b>Abr_2013_Mai_2013</b>	1	10707	7450	37424	62312	55540
<b>Mai_2013_Jun_2013</b>	1	17446	2954	592	2882	9071
<b>Jun_2013_Set_2013</b>	3	52595	37708	20427	7882	12787
<b>Set_2013_Out_2013</b>	1	29173	82703	8494	20486	7875
<b>Out_2013_Nov_2013</b>	1	67880	6815	19629	28512	39536
<b>Média (m³/mês)</b>		27545	27613	17158	19277	22725

Comparação	Intervalo (meses)	S12 - S13	S13 - S14	S14 - S15	S15 - S16
		Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento
<b>Out_2010_Dez_2010</b>	2	8245	8712	18255	19049
<b>Dez_2010_Jan_2011</b>	1	17636	31201	16647	12675
<b>Jan_2011_Fev_2011</b>	1	1743	8558	55048	35568
<b>Fev_2011_Mar_2011</b>	1	60298	73135	130442	75380
<b>Mar_2011_Jun_2011</b>	4	4077	3531	23110	23754
<b>Jun_2011_Set_2011</b>	3	10215	10187	26163	30318
<b>Set_2011_Mar_2012</b>	6	0	0	0	0
<b>Mar_2012_Set_2012</b>	6	188	1995	17766	13611
<b>Set_2012_Out_2012</b>	1	38363	68034	66182	60204
<b>Out_2012_Dez_2012</b>	2	3179	9261	22261	49069
<b>Dez_2012_Jan_2013</b>	1	29696	8760	30740	1149
<b>Jan_2013_Fev_2013</b>	1	5013	6865	7166	24263
<b>Fev_2013_Abr_2013</b>	2	0	0	0	0
<b>Abr_2013_Mai_2013</b>	1	29770	39726	77393	77543
<b>Mai_2013_Jun_2013</b>	1	1426	1180	6337	8566
<b>Jun_2013_Set_2013</b>	3	991	3855	8947	9438
<b>Set_2013_Out_2013</b>	1	14824	18038	30290	8413
<b>Out_2013_Nov_2013</b>	1	45790	27975	21835	61888
<b>Média (m³/mês)</b>		16966	20063	34911	31931

Comparação	Intervalo (meses)	S16 - S17	S17 - S18	S18 - S18350	S18350-S18685	S18685 - S19	S19 - S20
		Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento
<b>Out_2010_Dez_2010</b>	2	0	0	0	0	0	0
<b>Dez_2010_Jan_2011</b>	1	12016	12521	1285	13158	8053	16414
<b>Jan_2011_Fev_2011</b>	1	21412	9469	3726	6147	5816	62262
<b>Fev_2011_Mar_2011</b>	1	48038	40500	14315	43738	50249	0
<b>Mar_2011_Jun_2011</b>	4	4550	3004	2	1777	4394	23113
<b>Jun_2011_Set_2011</b>	3	7671	8872	16803	16973	5271	22293
<b>Set_2011_Mar_2012</b>	6	17637	10205	2064	5214	3099	28489
<b>Mar_2012_Set_2012</b>	6	261	1937	961	395	934	268
<b>Set_2012_Out_2012</b>	1	28559	10535	3676	11274	9291	64066
<b>Out_2012_Dez_2012</b>	2	12626	6711	3105	4104	2358	63492
<b>Dez_2012_Jan_2013</b>	1	8186	4771	6203	15767	14041	29571
<b>Jan_2013_Fev_2013</b>	1	10836	14789	3213	2604	3382	30678
<b>Fev_2013_Abr_2013</b>	2	34809	39816	25589	8241	10640	0
<b>Abr_2013_Mai_2013</b>	1	15014	1524	1804	2577	4016	49395
<b>Mai_2013_Jun_2013</b>	1	11387	8639	1694	3909	2081	3310
<b>Jun_2013_Set_2013</b>	3	2472	2097	1084	2673	2008	12571
<b>Set_2013_Out_2013</b>	1	10151	7342	245	1434	2867	32827
<b>Out_2013_Nov_2013</b>	1	31850	12309	5019	11273	7673	19080
<b>Média (m<sup>3</sup>/mês)</b>		16322	11473	5341	8898	8010	30522

Comparação	Intervalo (meses)	S20 - S21	S21 - S22	S22 - S23	S23 - S24	S24 - S25
		Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento	Assoreamento
<b>Out_2010_Dez_2010</b>	2	-33606	-36901	-28624	-27305	-29532
<b>Dez_2010_Jan_2011</b>	1	0	0	0	0	0
<b>Jan_2011_Fev_2011</b>	1	0	0	0	0	0
<b>Fev_2011_Mar_2011</b>	1	0	0	0	0	0
<b>Mar_2011_Jun_2011</b>	4	0	0	0	0	0
<b>Jun_2011_Set_2011</b>	3	0	0	0	0	0
<b>Set_2011_Mar_2012</b>	6	0	0	0	0	0
<b>Mar_2012_Set_2012</b>	6	-11877	-39675	-47746	-9613	-4345
<b>Set_2012_Out_2012</b>	1	-7408	-12252	-19104	-25136	-29696
<b>Out_2012_Dez_2012</b>	2	-16650	-18724	-8884	-32870	-43370
<b>Dez_2012_Jan_2013</b>	1	-598	-3895	-9348	-11935	-21367
<b>Jan_2013_Fev_2013</b>	1	-9285	-33956	-47494	-36129	-42044
<b>Fev_2013_Abr_2013</b>	2	-16423	-20105	-16244	-33404	-29922
<b>Abr_2013_Mai_2013</b>	1	-24320	-31480	-32035	-20457	-38467
<b>Mai_2013_Jun_2013</b>	1	-147	-84	-3878	-9235	-21232
<b>Jun_2013_Set_2013</b>	3	-18116	-25198	-25845	-11013	-13347
<b>Set_2013_Out_2013</b>	1	0	0	0	0	0
<b>Out_2013_Nov_2013</b>	1	-7745	-12116	-26515	-25556	-32669
<b>Média (m³/mês)</b>		13289	21308	24156	22059	27817

