



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

RAFAEL PINCHEMEL SALLES

A SEDIMENTAÇÃO NO CANAL DO PARAGUAÇU

Salvador

2010

RAFAEL PINCHEMEL SALLES

A SEDIMENTAÇÃO NO CANAL DO PARAGUAÇU

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Landim Dominguez

Salvador
2010

TERMO DE APROVAÇÃO

RAFAEL PINCHEMEL SALLES

A SEDIMENTAÇÃO NO CANAL DO PARAGUAÇU

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

José Maria Landim Dominguez – Orientador
Doutor em Geologia e Geofísica Marinha pela Universidade de Miami
Universidade Federal da Bahia

Arno Brichta
Doutor em Geologia pela Universidade Freiburg (Albert- Ludwigs)
Universidade Federal da Bahia

Fernando Genz
Doutor em Geologia pela Universidade Federal da Bahia.
Universidade Federal da Bahia

Salvador, 09 de dezembro de 2010.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Rogério e Rita de Cássia e ao meu irmão Cássio.

Ao Professor Landim pela orientação.

Aos colegas do Laboratório de Estudos Costeiros.

Aos colegas do curso de Oceanografia, especialmente a Raissa Campos e Camilla Caricchio.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica (PIBIC).

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
SUMÁRIO	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMO	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 ÁREA DE ESTUDO	5
4 MATERIAIS E MÉTODOS	7
4.1 LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DE DADOS SÍSMICOS	7
4.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS GRANULOMÉTRICOS	8
4.3 INTEGRAÇÃO DE DADOS HIDRODINÂMICOS E SEDIMENTOLÓGICOS	11
5 RESULTADOS	13
5.1 LEVANTAMENTO SÍSMICO	13
5.1.1 INTERPRETAÇÃO DOS PERFIS SÍSMICOS OBTIDOS	13
5.1.2 BATIMETRIA	17
5.1.3 ESPESSURA SEDIMENTAR – MAPA DE ISÓPACAS	18
5.1.4 COEFICIENTE DE REFLEXÃO	19
5.2 SEDIMENTO SUPERFICIAL DE FUNDO	20
5.2.1 TEOR DE CASCALHO	20
5.2.2 TEOR DE AREIA	21
5.2.3 TEOR DE LAMA	23
5.2.4 TEOR DE SILTE	24
5.2.5 TEOR DE ARGILA	25
5.2.6 MEDIANA – D50	26
5.2.7 FÁCIES SEDIMENTARES	27
5.3 TESTEMUNHOS RASOS	28
5.3.1 TESTEMUNHO T1	28
5.3.2 TESTEMUNHO T2	29
5.4 HIDRODINÂMICA DO CANAL DO PARAGUAÇU	30

6 DISCUSSÃO	32
6.1 ACUMULAÇÃO DE SEDIMENTOS	32
6.2 TEXTURA SEDIMENTAR	34
6.3 RESSUSPENSÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	35
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Localização do estuário do Rio Paraguaçu na Baía de Todos os Santos - BTS. Destaque para a Baía de Iguape e Canal do Paraguaçu (adaptado de Genz, 2006).	2
Figura 02 – Área de estudo.	5
Figura 03 – Linhas sísmicas realizadas.	7
Figura 04 – Pontos de coleta das amostras superficiais de fundo.	9
Figura 05 – Amostrador van-Veen utilizado para a coleta de sedimentos de fundo (A) e testemunho raso coletado no Canal do Paraguaçu (B).	8
Figura 06 – Pontos de coleta dos testemunhos rasos.	11
Figura 07 – Localização dos perfis sísmicos apresentados.	13
Figura 08 – Perfil 34i. Perfil não interpretado (A) e perfil interpretado (B).	14
Figura 09 – Perfil 34n. Perfil não interpretado (A) e perfil interpretado (B).	15
Figura 10 – Perfil 35c. Perfil não interpretado (A) e perfil interpretado (B). SA = Substrato acústico; M = Múltipla.	16
Figura 11 – Perfil 35n. Perfil não interpretado (A) e perfil interpretado (B).	16
Figura 12 – Mapa batimétrico do Canal do Paraguaçu.	17
Figura 13 – Mapa de isópacas do Canal do Paraguaçu e vizinhanças.	18
Figura 14 - Distribuição espacial dos valores do coeficiente de reflexão do substrato.	19
Figura 15 – Distribuição dos teores de cascalho dos sedimentos superficiais de fundo.	20
Figura 16 – Distribuição dos teores de areia dos sedimentos superficiais de fundo.	21
Figura 17 – Perfil sísmico do Canal do Paraguaçu com destaque para as <i>sand waves</i> .	22
Figura 18 – Distribuição dos teores de lama dos sedimentos superficiais de fundo.	23
Figura 19 – Distribuição dos teores de silte dos sedimentos superficiais de fundo.	24
Figura 20 – Distribuição dos teores de argila dos sedimentos superficiais de fundo.	25
Figura 21 – Distribuição espacial da mediana do sedimento superficial de fundo.	26
Figura 22 – Padrão de distribuição das fácies sedimentares texturais.	27
Figura 23 – Testemunho T1.	28
Figura 24 – Testemunho T2.	29
Figura 25 – Localização das seções transversais de monitoramento do Canal do Paraguaçu com as velocidades médias das correntes em toda seção (adaptado de Genz, 2006).	30

RESUMO

Trabalhos realizados no sistema estuarino do Rio Paraguaçu, localizado na parte oeste da Baía de Todos os Santos indicam uma contradição nos resultados obtidos, uma vez que os estudos sedimentológicos apontam para uma sedimentação predominantemente lamosa nesta região, enquanto a hidrodinâmica da área é considerada moderadamente elevada. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o papel das forçantes hidrodinâmicas na sedimentação do Canal do Paraguaçu, por meio da integração de dados geofísicos, sedimentológicos e hidrodinâmicos em sistema de informações geográficas. Foram realizados levantamentos sísmicos e coletadas amostras de sedimento superficial de fundo e testemunhos rasos na área de estudo. Os dados hidrodinâmicos foram obtidos a partir de trabalhos pretéritos. A partir deste conjunto de dados foram confeccionados mapas mostrando a espessura dos sedimentos depositados no Canal do Paraguaçu e a distribuição espacial dos principais parâmetros estatísticos do sedimento, bem como determinadas as fácies sedimentares. A espessura sedimentar média do Canal do Paraguaçu é de cerca de 20 metros e a textura dos sedimentos depositados ao longo do Canal é lamo-arenosa. Observa-se que as velocidades de corrente existentes na área de estudo são capazes de ressuspender os sedimentos finos de fundo, principalmente na extremidade leste do Canal do Paraguaçu e em períodos de sizígia, contudo essa remobilização é dificultada pela elevada profundidade do Canal e pela presença de sedimentos coesivos que, uma vez depositados, apresentam grande resistência à erosão pelas correntes de fundo. Também foi possível observar a ocorrência de acumulações de gás livre nos sedimentos da área de estudo.

Palavras-chave: estuário, hidrodinâmica, acumulação de sedimentos, sísmica de alta resolução, Baía de Todos os Santos.

1 INTRODUÇÃO

Estuários são ambientes altamente dinâmicos, nos quais ocorrem mudanças constantes em resposta às forçantes naturais. Tratam-se de ambientes de transição entre o oceano e o continente que apresentam uma grande complexidade devido à descarga de água doce na parte interna, à entrada de água do mar e ao transporte de sedimentos em suspensão e nutrientes orgânicos e inorgânicos no seu interior. Estes locais desempenham um importante papel no desenvolvimento urbano, social e econômico das regiões costeiras (MIRANDA *et al*, 2002).

Uma das definições mais usadas para estuários é a de Pritchard (1952), adaptada por Dyer (1997), que considera o estuário como sendo “um corpo de água costeiro semi-fechado com ligação livre com o oceano aberto, estendendo-se rio acima até o limite da influência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental” (MIRANDA *et al*, 2002).

Os processos hidrodinâmicos que controlam a sedimentação em ambientes estuarinos são representados pelas correntes fluviais, pelas correntes de maré e pelas ondas. A interação entre estes processos varia temporal e espacialmente no interior do estuário, dessa forma, a distribuição da energia total produzida por eles também varia, resultando em uma variação granulométrica nos depósitos sedimentares estuarinos (DALRYMPLE *et al*, 1992; READING, 1996; ROSSETTI, 2008).

Assim sendo, o estuário pode ser subdividido em três zonas distintas: (i) zona interna, dominada por processos fluviais de alta energia, onde ocorre a deposição de sedimentos grossos; (ii) zona central, dominada por processos de baixa energia devido ao equilíbrio entre processos marinhos e fluviais, ocorrendo a deposição de sedimentos finos; e (iii) zona externa, dominada por processos marinhos de alta energia, como ondas e correntes de maré, onde ocorre a deposição de sedimentos grossos (DALRYMPLE *et al*, 1992). Portanto, a transição das fácies sedimentares ao longo de um estuário reflete as variações da energia hidrodinâmica deste ambiente.

Entretanto, cada estuário apresenta particularidades que estão associadas à sua morfologia de fundo, à descarga fluvial e aos regimes de maré, de ondas e de ventos. Esses fatores podem ser mais ou menos importantes dependendo do estuário.

O sistema estuarino do Rio do Paraguaçu, localizado na parte oeste da Baía de Todos os Santos, é composto por 3 segmentos: baixo curso do rio, Baía de Iguape e Canal do Paraguaçu (Fig. 01) (GENZ *et al*, 2008).

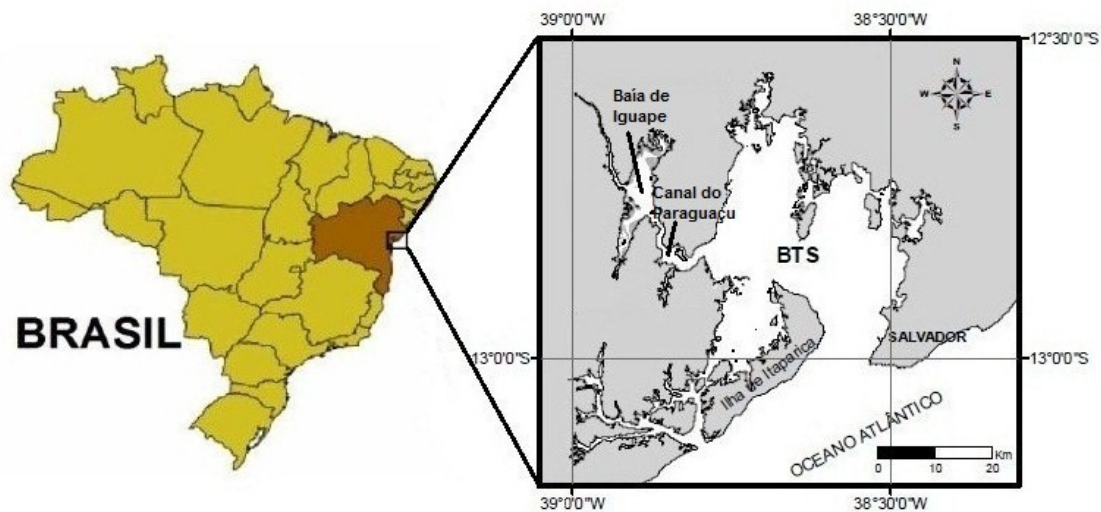


Figura 01 – Localização do estuário do Rio Paraguaçu na Baía de Todos os Santos - BTS. Destaque para a Baía de Iguape e Canal do Paraguaçu (adaptado de GENZ, 2006).

Os trabalhos neste estuário se iniciaram na década de 70, com BRICHTA (1977), que estudou a sedimentação na foz do Rio Paraguaçu com base em 72 amostras de sedimento de fundo. Nesse trabalho sugeriu-se a existência de 4 fácies sedimentares principais: (i) arenosa, mapeada próximo as margens; (ii) areno-argilosa, predominante ao longo do Canal do Paraguaçu; (iii) argilosa, localizada à frente da desembocadura do rio; e (iv) conchífera, na qual as conchas se apresentavam cobertas e com os interstícios preenchidos por material argiloso. Também se sugeriu que as correntes de maré dominavam a distribuição e a deposição dos sedimentos locais e a desembocadura do Rio Paraguaçu foi considerado um ambiente de fraca energia.

O estudo da sedimentação na Baía de Iguape realizado por AVANZO (1977), com base em 93 amostras, identificou 6 subfácies sedimentares na região. Estas estão subordinadas às fácies de areia quartzosa e lama e se distribuem em dois setores: um grande corpo deposicional raso na forma de leque, situado na desembocadura do baixo curso do Rio Paraguaçu, e um setor adjacente, formado por canais profundos que se conectam ao Canal do Paraguaçu. As fácies identificadas apresentam uma transição

gradual de areia quartzosa para lama à medida que se distancia da desembocadura do baixo curso do Rio Paraguaçu na Baía de Iguape, isso refletiria o decréscimo da influência fluvial e o aumento da influência da maré.

LESSA *et al.* (2000) reavaliaram a sedimentação na Baía de Todos os Santos a partir da revisão de trabalhos anteriores a fim de identificar a sequência cronológica da deposição das fácies sedimentares de fundo. Para o estuário do Rio Paraguaçu foi proposta a existência de uma fácies sedimentar transgressiva e duas fácies sedimentares regressivas. A fácies transgressiva é areno-lamosa e ocorre ao longo do Canal do Paraguaçu. Já as fácies regressivas são areia fluvial e lamosa, mapeadas na Baía de Iguape.

Por fim, GENZ (2006) caracterizou a hidrodinâmica do estuário do Rio Paraguaçu, apontando que suas características de mistura e de correntes variam conforme o ciclo da maré e a descarga fluvial. Em sizígia, as velocidades de corrente são mais elevadas e o perfil da circulação residual é todo de vazante. Enquanto que em quadratura, as velocidades são mais fracas e o perfil residual das correntes é típico da circulação gravitacional. Ao longo do Canal do Paraguaçu foram constatadas correntes de intensidades moderada à elevada, com velocidades médias da ordem de 0,50 m/s em seções transversais ao Canal durante maré vazante de sizígia.

Os trabalhos supracitados indicam uma contradição nos resultados obtidos, uma vez que não mostram a relação clássica entre o tamanho do grão e os níveis de energia do ambiente. Normalmente, em áreas que apresentam elevada hidrodinâmica, como o Canal do Paraguaçu, é de se esperar uma maior deposição de partículas grossas, entretanto os estudos sedimentológicos apontam para uma sedimentação predominantemente lamosa nesta região.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em investigar a contradição existente entre a sedimentação lamosa e hidrodinâmica elevada do Canal do Paraguaçu.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos incluem:

- Caracterizar a acumulação de sedimentos no Canal do Paraguaçu;
- Determinar a textura dos sedimentos superficiais de fundo da área de estudo; e
- Avaliar a influência da dinâmica estuarina na ressuspensão e transporte dos sedimentos ao longo do Canal do Paraguaçu e vizinhanças.

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho corresponde ao Canal do Paraguaçu localizado no sistema estuarino do Rio Paraguaçu, entre as latitudes 12°40'S e 12°60'S e entre as longitudes 38°45'W e 38°56'W (Fig. 02).

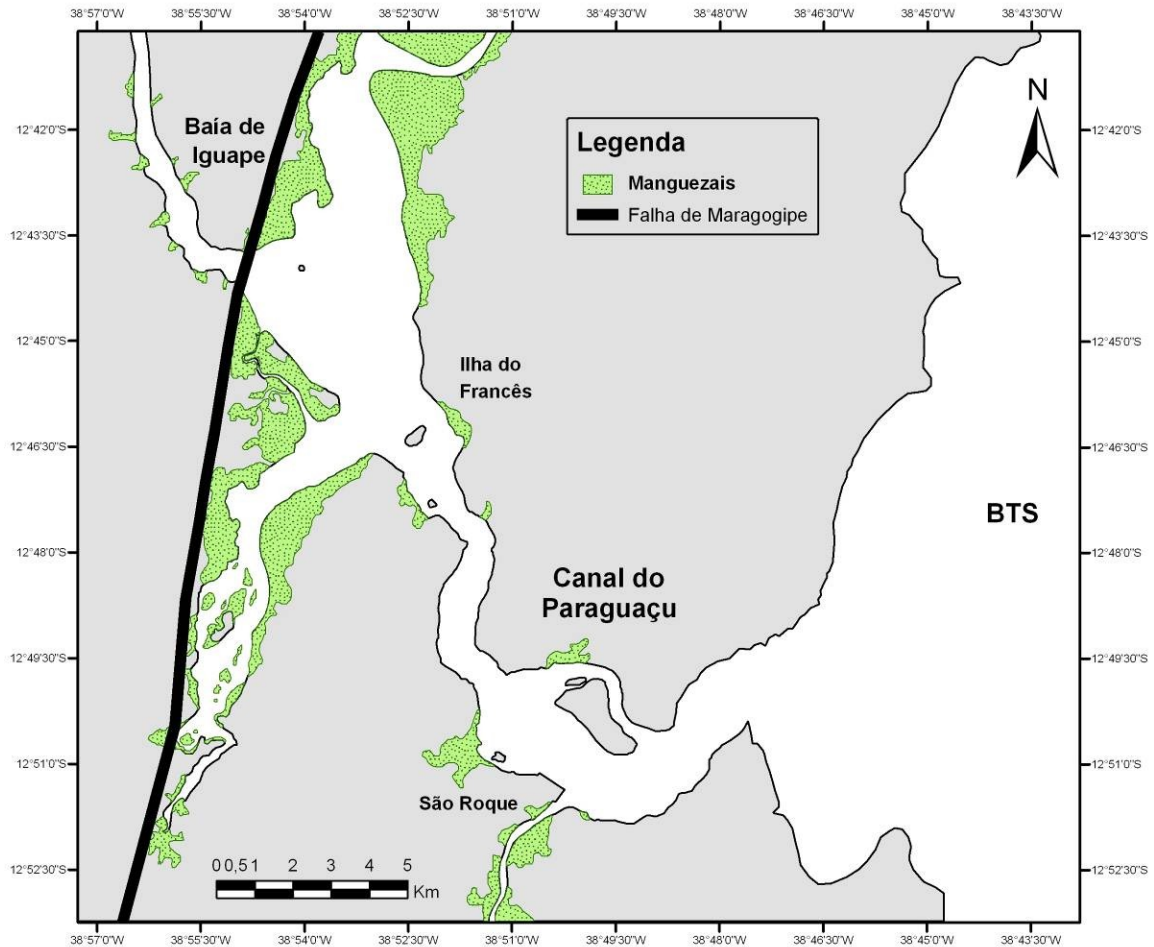


Figura 02 - Área de estudo.

O Canal do Paraguaçu está encaixado em arenitos eólicos da Formação Sergi (Bacia do Recôncavo) e tem sua origem associada ao afogamento, durante o Holoceno Médio, de um vale fluvial controlado por um sistema de falhas, como a Falha de Maragogipe, localizadas na porção oeste da Bacia do Recôncavo. (BRICHTA, 1977; CARVALHO, 2000).

Este canal, que estabelece a ligação entre a Baía de Iguape e a Baía de Todos os Santos, apresenta cerca de 18 km de comprimento, possui 43 km² de área e comporta a maior parte do volume do estuário do Rio Paraguaçu. Em relação à profundidade, a

região mais rasa do Canal se localiza em frente a São Roque e as maiores profundidades ocorrem junto à garganta situada a jusante da Ilha do Francês. A profundidade média do Canal é 20 m. (GENZ, 2006).

O Rio Paraguaçu possui uma área de drenagem de 56.300 km² (LESSA *et al*, 2009) e é o principal afluente da Baía de Todos os Santos, entretanto não é capaz de transportar muito sedimento, pois até hoje não preencheu a Baía de Iguape, tendo construído apenas um delta de cabeceira de baía (CARVALHO, 2000).

Atualmente, a vazão do Rio Paraguaçu está quase totalmente controlada pela operação das comportas da Barragem de Pedra do Cavalo, construída em 1986. Essa redução da descarga fluvial pode ter reduzido ainda mais o fornecimento de sedimentos para o estuário, visto que a contribuição dos rios a jusante da barragem é pequena (GENZ, 2006).

A vazão média anual do Rio Paraguaçu é 62,4 m³/s, sendo as maiores vazões registradas entre os meses de novembro a maio, com freqüentes cheias entre dezembro e março, período de ocorrência de chuvas na bacia de drenagem do rio (GENZ, 2006).

A maré da região é classificada como semi-diurna e sua influência é sentida ao longo de todo o Canal do Paraguaçu. Em sizígia, a onda de maré ao se propagar pelo Canal sofre amplificação e apresenta assimetria positiva, caracterizada por um tempo de maré enchente maior do que o tempo de maré vazante, isso resulta em intensidades de correntes maiores na vazante e menores na enchente. A salinidade ao longo do Canal é superior a 30 e existe um intenso gradiente de salinidade na Baía de Iguape. (GENZ, 2006; LESSA *et al*. 2001).

A estratificação da coluna d'água no Canal do Paraguaçu muda de acordo com o ciclo da maré: na maré de sizígia o estuário é classificado com bem misturado e na maré de quadratura como parcialmente misturado (GENZ, 2006).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Na execução desta pesquisa foram obedecidas as seguintes etapas metodológicas:

4.1 LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DE DADOS SÍSMICOS

Para execução do presente trabalho foram utilizados dados geofísicos de sísmica rasa de alta resolução do Canal do Paraguaçu e dos setores norte e sul da Baía de Iguape, que foram coletados durante levantamento realizado pelo Laboratório de Estudos Costeiros (LEC/CPGG/UFBA), no âmbito do Projeto Transfer (CNPq/CT-PETRO), em duas campanhas amostrais (maio de 2008 e janeiro de 2009). Neste levantamento foi utilizado o perfilador de sub-fundo (SB-216S, EdgeTech) operando na frequência de 2 a 16 kHz e foram adquiridos 51 perfis, totalizando 74 km de imageamento (Fig. 03).

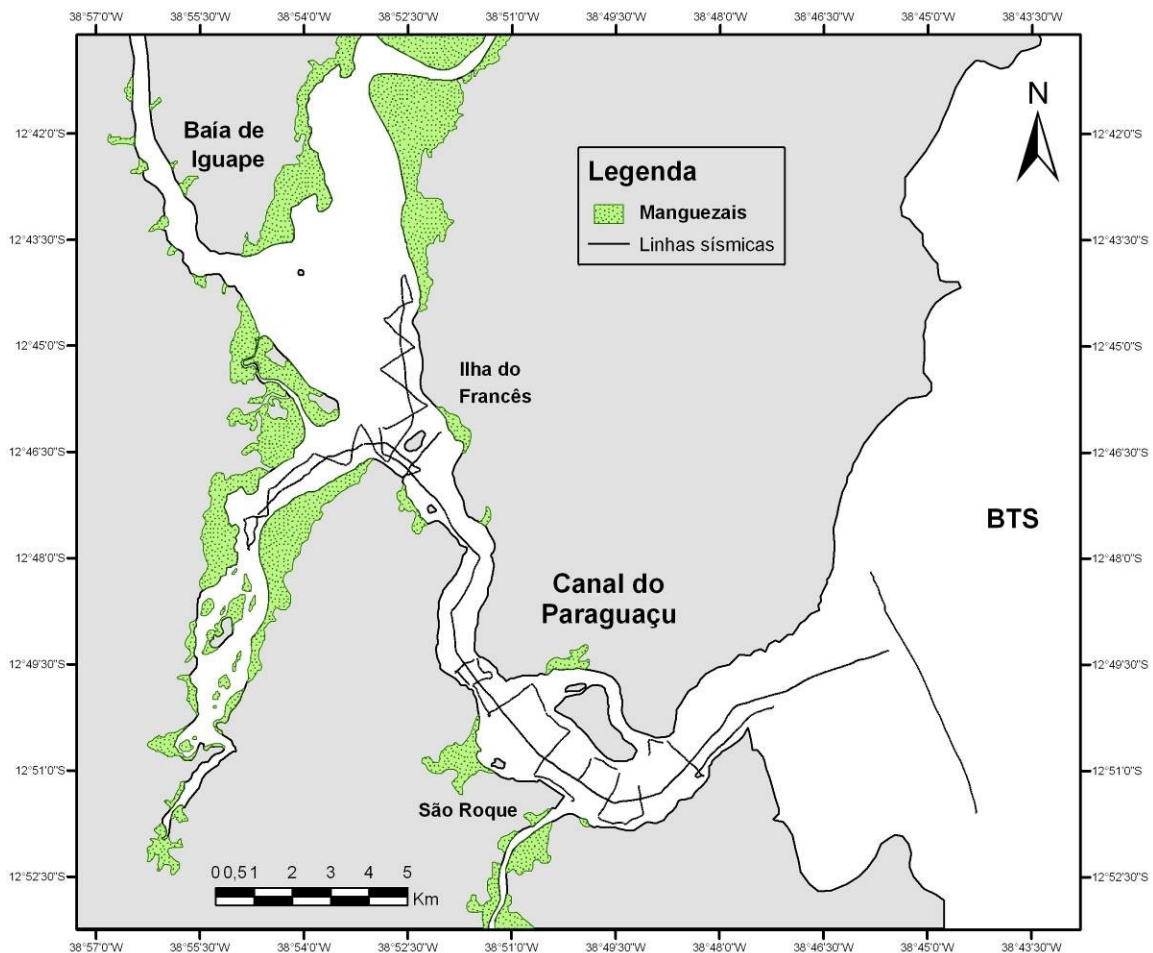


Figura 03 – Linhas sísmicas realizadas.

A interpretação dos registros sísmicos obtidos com o perfilador de sub-fundo foi feita utilizando o software SonarWIZ.MAP®. Dessa forma, foi possível determinar a

espessura mínima do pacote sedimentar presente no Canal do Paraguaçu e nas regiões vizinhas. As formas de leito presentes no fundo ao longo do Canal também foram observadas nessa interpretação. Em seguida, os dados de espessura do pacote sedimentar foram exportados para o *software* Surfer 8® e interpolados pelo método Curvatura Mínima (Minimal Curvature). Os resultados foram exportados para o aplicativo ArcGis 9.2® (ESRI) para a confecção do mapa de isópacas que representa a distribuição espacial da espessura dos sedimentos acumulados na região estudada.

Ainda a partir dos registros sísmicos foram extraídos os valores dos coeficientes de reflexão do substrato e dados de batimetria, utilizando o aplicativo Discover®. Em adição aos dados batimétricos obtidos a partir da interpretação dos registros sísmicos, foram ainda extraídas as cotas batimétricas da carta náutica N° 1107 (Baía de Todos os Santos - Parte Oeste) na escala de 1:29.996 (DHN, 1978). Estes dados foram interpolados pelo método Curvatura Mínima no *software* Surfer 8® e produzidos os mapas batimétrico e do coeficiente de reflexão da região estudada utilizando o aplicativo ArcGis 9.2®.

4.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS GRANULOMÉTRICOS

As amostras de sedimento superficial de fundo utilizadas neste trabalho foram coletadas em duas campanhas amostrais (janeiro de 2009 e dezembro de 2009) realizadas pelo Laboratório de Estudos Costeiros. As amostras foram coletadas com o auxílio de um amostrador do tipo van-Veen (Fig. 05 - A) e cobrem toda a extensão do Canal do Paraguaçu e da Baía de Iguape (Fig. 04). Na primeira e segunda campanha amostral foram coletadas, respectivamente, 90 e 94 amostras de sedimento superficial, totalizando 184 amostras.

Algumas estações amostrais selecionadas para coleta de sedimento foram definidas com base na interpretação dos registros sísmicos e posicionadas nas mesmas coordenadas geográficas onde foram identificadas feições interessantes nos perfis de modo a auxiliar na sua interpretação.

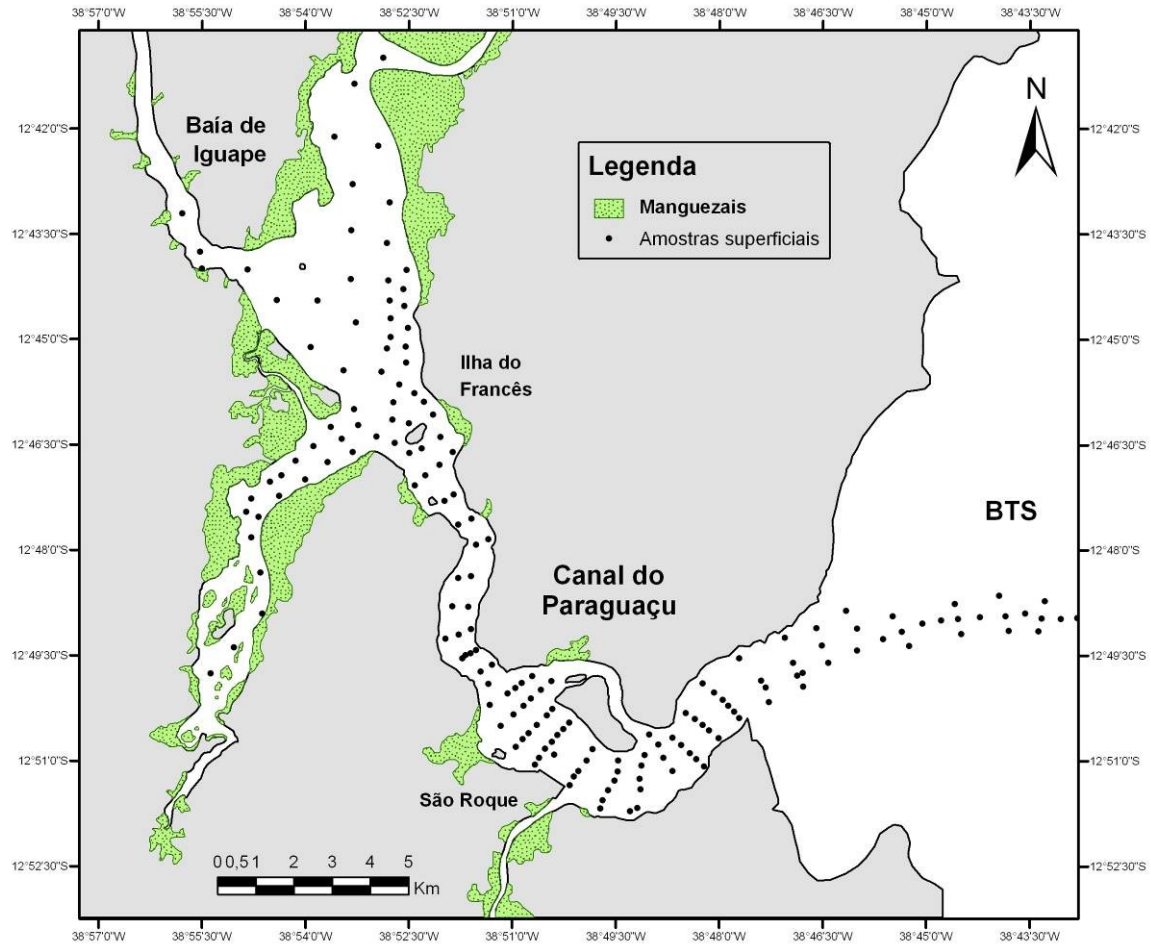


Figura 04 - Pontos de coleta das amostras superficiais de fundo.

As análises granulométricas das amostras de sedimento foram realizadas no Laboratório de Estudos Costeiros, utilizando um Analisador de Partículas a Laser HORIBA®, modelo LA-950. Os teores de cascalho, areia e lama, e os parâmetros estatísticos mediana e desvio-padrão, foram determinados a partir do aplicativo GRADISTAT V 5.0® (BLOTT & PYE, 2001). Estes parâmetros foram calculados utilizando a metodologia proposta por FOLK & WARD (1957). As amostras de sedimento também foram classificadas visualmente, de acordo com a sua composição em predominantemente siliciclásticas e predominantemente bioclásticas.

Os dados obtidos foram exportados para o *software* Surfer 8® e interpolados pelo método Curvatura Mínima, e os resultados foram exportados para o aplicativo ArcGis 9.2® para a elaboração de mapas com a distribuição espacial dos principais parâmetros texturais do sedimento da região estudada.

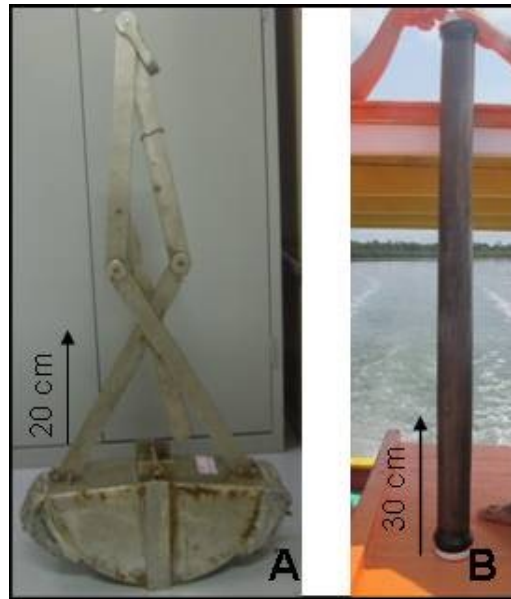


Figura 05 - Amostrador van-Veen utilizado para a coleta de sedimentos de fundo (A) e testemunho raso coletado no Canal do Paraguaçu (B).

Os dados texturais do sedimento superficial de fundo foram classificados em fácies sedimentares segundo o esquema de FOLK (1974) e, posteriormente, comparados com dados pretéritos da região obtidos por BRICHTA (1977) e AVANZO (1977), a fim de se verificar se ocorreram mudanças no padrão de sedimentação.

Como os registros sísmicos exibiram baixa penetração do sinal acústico, devido à presença de gás no sedimento, 02 testemunhos rasos com cerca de 1,50 m de comprimento (Fig. 05 - B) foram coletados para complementar a investigação da sedimentação sub-superficial do Canal do Paraguaçu. Esta coleta ocorreu em setembro de 2010, e se deu por meio de mergulho autônomo, em duas estações amostrais definidas com base nos registros sísmicos (Fig. 06). A estação T1 foi localizada entre o início do Canal e a Baía de Iguape e a estação T2 situada próxima à localidade de São Roque.

No Laboratório de Estudos Costeiros (LEC/UFBA) os testemunhos foram abertos com uma serra circular, fotografados e descritos macroscopicamente. Também foram coletadas amostras de sedimento ao longo dos testemunhos em intervalos de cerca de 20 cm para a realização de análises granulométricas.

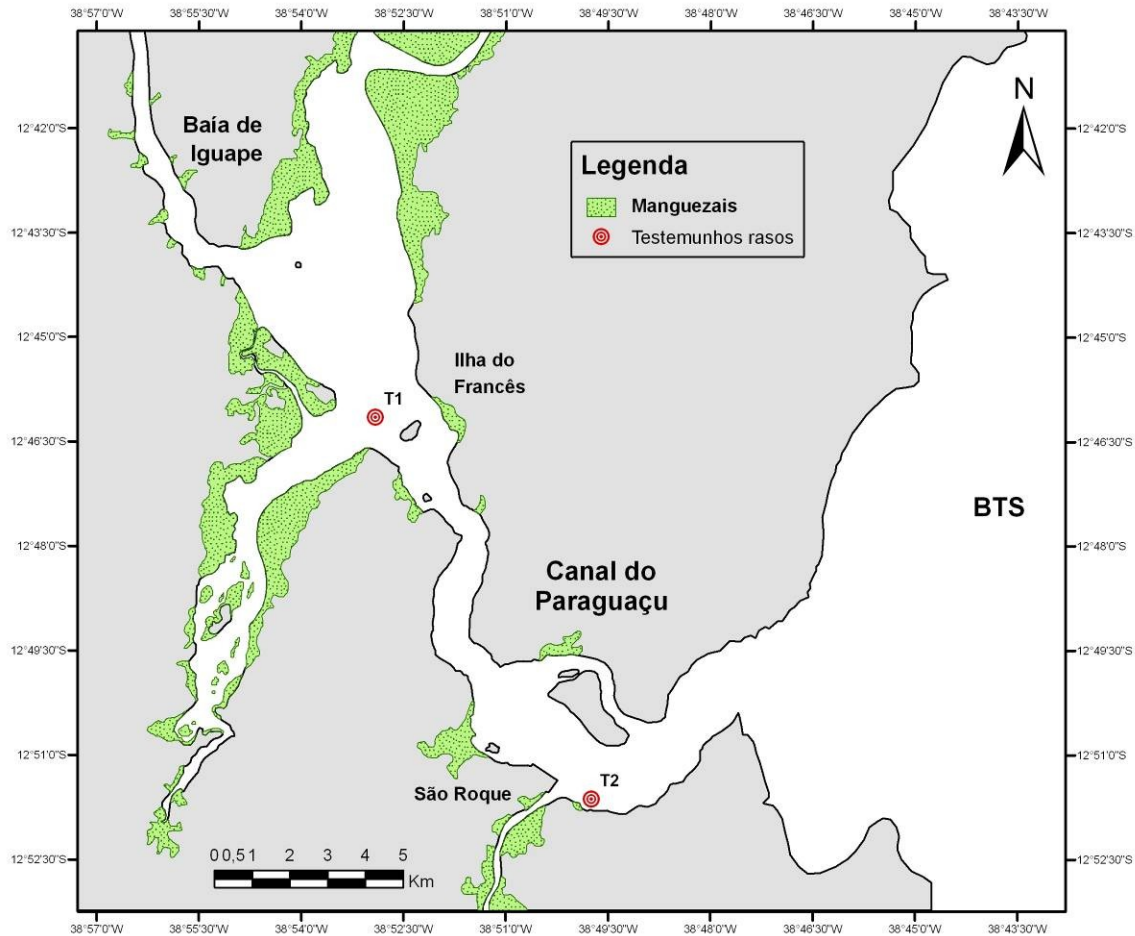


Figura 06 - Pontos de coleta dos testemunhos rasos.

4.3 INTEGRAÇÃO DE DADOS HIDRODINÂMICOS E SEDIMENTOLÓGICOS

As informações referentes à caracterização hidrodinâmica do estuário do Rio Paraguaçu foram extraídas principalmente da Tese de Doutorado de Fernando Genz (2006) e relacionadas à dinâmica de sedimentos estuarinos, a fim de se compreender a sedimentação do Canal do Paraguaçu, visto que a hidrodinâmica é fundamental para se compreender os processos sedimentares.

Embora existam relações empíricas associando o tamanho médio do grão ao início do movimento das partículas sedimentares depositadas no leito de canais estuarinos (HEISE *et al*, 2010), no presente trabalho não foi possível realizar uma abordagem quantitativa que correlacionasse dados de velocidade crítica estimada com a velocidade crítica medida, pois não existe na literatura dados de medições de velocidades críticas de cisalhamento para o Canal do Paraguaçu.

Neste trabalho, os dados geofísicos, batimétricos, sedimentológicos e hidrodinâmicos do Canal do Paraguaçu foram analisados de forma integrada, utilizando Sistema de Informações Geográficas.

5 RESULTADOS

5.1 LEVANTAMENTO SÍSMICO

5.1.1 INTERPRETAÇÃO DOS PERFIS SÍSMICOS OBTIDOS

As Figuras 08, 09, 10 e 11 apresentam alguns perfis sísmicos obtidos durante o levantamento sísmico no Canal do Paraguaçu e nos setores norte e sul da Baía de Iguape e sua respectiva interpretação a título de ilustração. A localização destes perfis é apresentada na Figura 07.

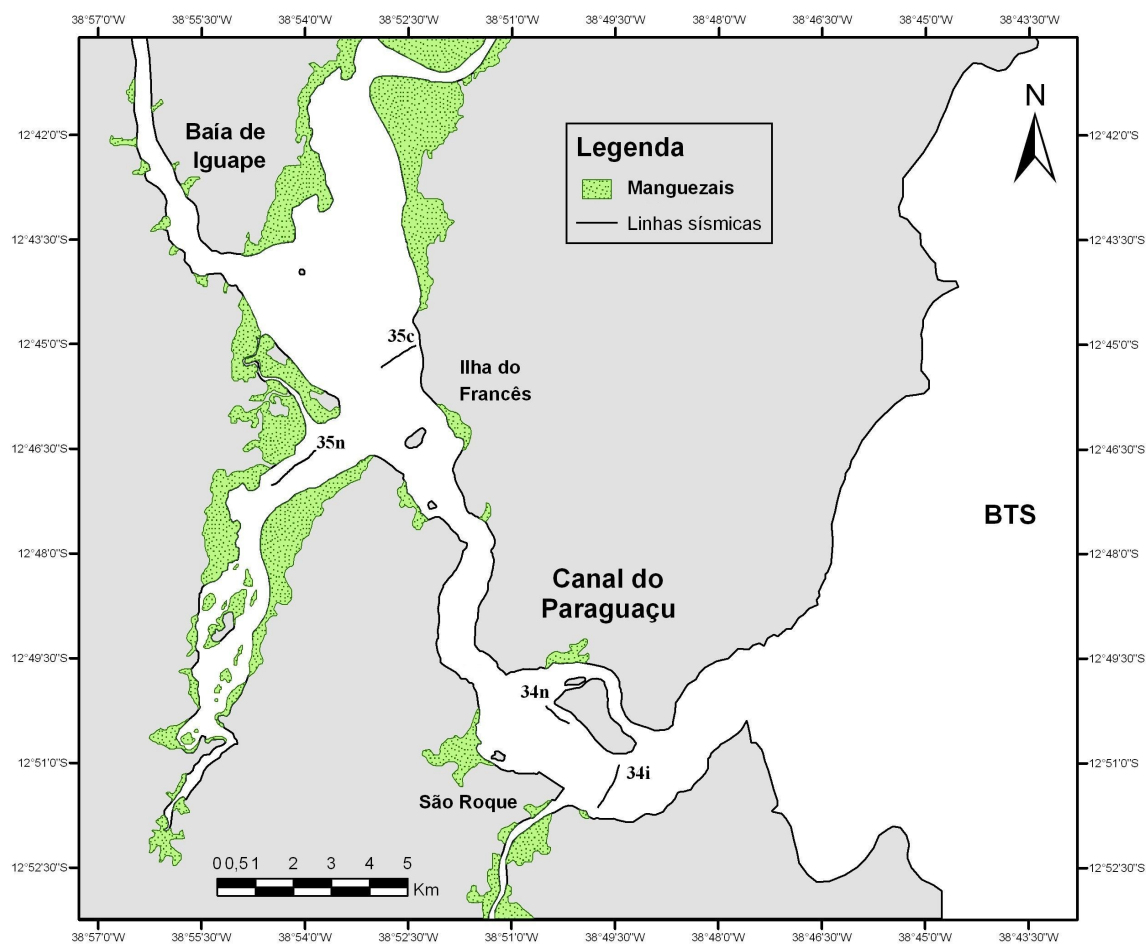


Figura 07 – Localização dos perfis sísmicos apresentados nesta seção.

A partir da interpretação dos perfis sísmicos foi possível observar e demarcar o substrato acústico (embasamento) a fim de se determinar a espessura sedimentar mínima depositada no Canal do Paraguaçu e regiões vizinhas. A observação do grau de penetração do sinal acústico permitiu a sua associação com a textura do sedimento superficial de fundo.

Vale ressaltar que a interpretação dos perfis sísmicos foi dificultada devido à fraca penetração dos sinais acústicos em sub-superfície, devido à ocorrência de gás, provavelmente metano, proveniente da decomposição da matéria orgânica nos sedimentos da região, conforme relatado por CARVALHO (2000).

A Figura 08 apresenta o perfil sísmico 34i, que é transversal ao Canal do Paraguaçu (Fig. 07). Neste perfil é possível observar um fundo uniforme com moderada penetração do sinal acústico em superfície, caracterizando, dessa forma, um fundo recoberto por sedimentos areno-lamosos. Contudo, no lado esquerdo do perfil (SW) observa-se em sub-superfície a fraca penetração das ondas acústicas. Isto está relacionado ao acúmulo de gases nos sedimentos, que cria o efeito de “cobertor acústico” e impede a penetração do sinal sísmico. A espessura sedimentar mínima encontrada neste perfil é de cerca de 10 metros.

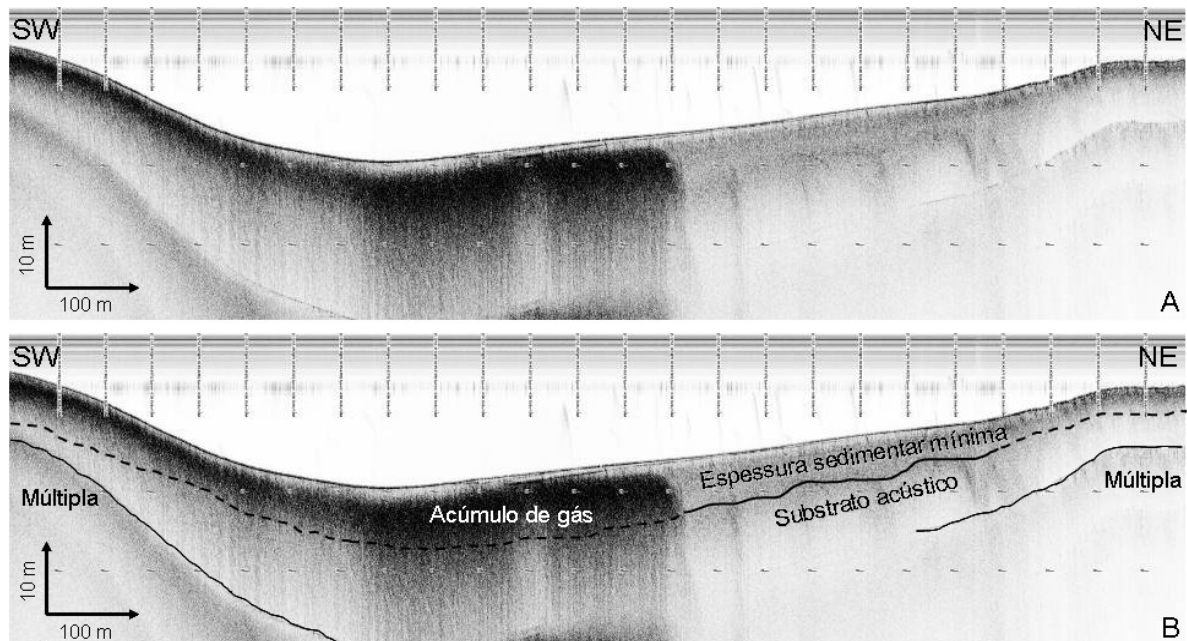


Figura 08 – Perfil 34i. Perfil não interpretado (A) e perfil interpretado (B).

A Figura 09 apresenta o perfil sísmico 34n, que é longitudinal ao Canal do Paraguaçu e localizado próximo à sua margem oeste (Fig. 07). No lado esquerdo deste perfil (NW), é possível observar um fundo irregular com baixa rugosidade e nenhuma penetração do sinal acústico. Esta feição está relacionada a afloramentos rochosos com pouca sedimentação em sua superfície. No lado direito (SE) do perfil, é possível observar um fundo uniforme com fraca penetração do sinal sísmico em sub-superfície associada à

presença de gás no sedimento. A espessura sedimentar mínima encontrada em parte deste perfil é de cerca de 10 metros.

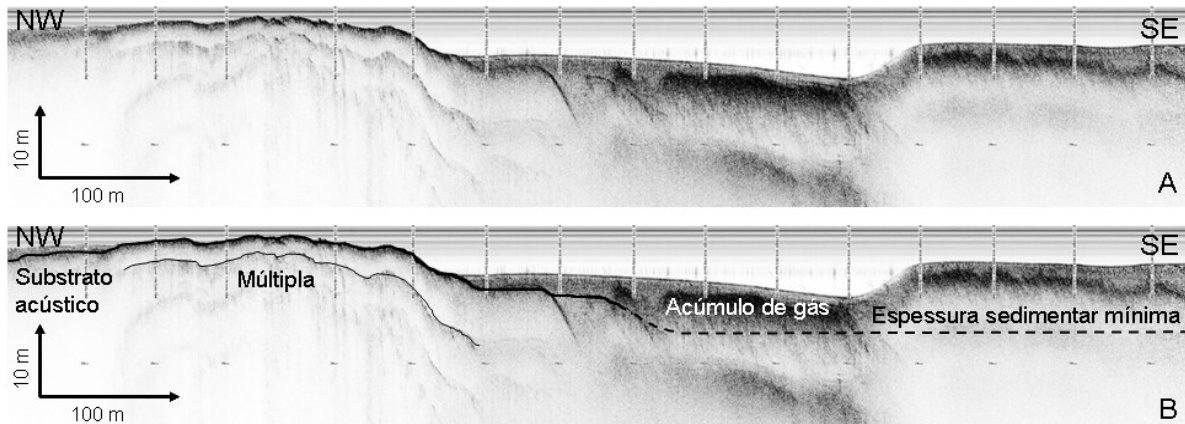


Figura 09 – Perfil 34n. Perfil não interpretado (A) e perfil interpretado (B).

Os perfis longitudinais realizados na parte central do Canal do Paraguaçu também revelaram o acúmulo de gás nos sedimentos em toda a extensão do Canal.

A Figura 10 apresenta o perfil sísmico 35c, localizado no setor norte da Baía de Iguape (Fig. 07). Neste perfil, observa-se um fundo uniforme no lado esquerdo (SE) com moderada penetração do sinal acústico, característico de sedimentos finos, e um fundo irregular no lado direito (NW) sem penetração do sinal acústico, característico de sedimentos cascalhosos e/ou arenosos. Esta feição está associada ao delta de cabeceira de baía localizado na Baía de Iguape e descrito em trabalhos anteriores.

Em sub-superfície foi possível observar a ocorrência de uma zona de fraca penetração da onda acústica, que não parece estar associada à acumulação de gases nos sedimentos, mas possivelmente à presença de sedimentos de textura mais arenosa depositados no passado.

A espessura sedimentar mínima encontrada neste perfil é de cerca de 10 metros.

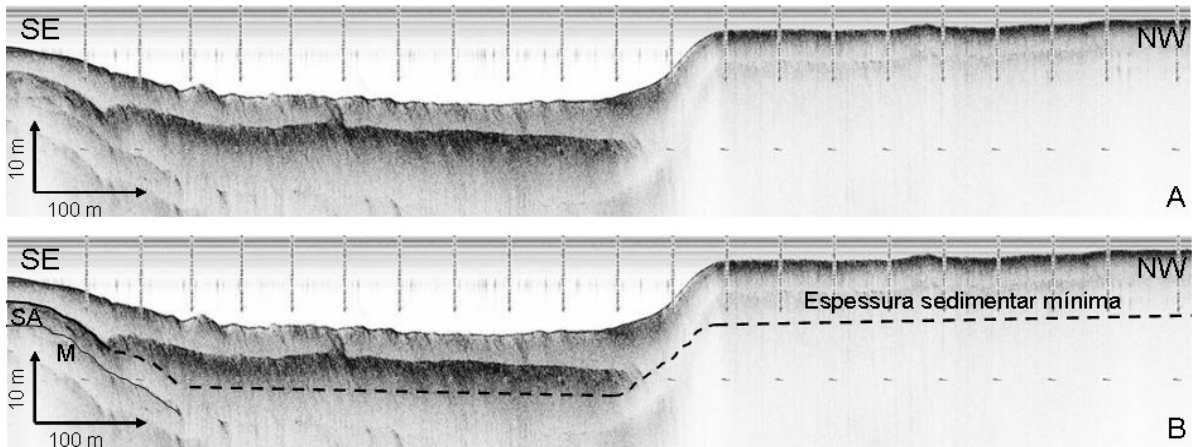


Figura 10 – Perfil 35c. Perfil não interpretado (A) e perfil interpretado (B). SA = Substrato acústico; M = Múltipla.

A Figura 11 apresenta o perfil sísmico 35n, localizado no setor sul da Baía de Iguape. Neste perfil é possível observar um fundo uniforme com moderada penetração do sinal acústico em superfície, característico de sedimentos finos. O embasamento (substrato acústico) apresenta um relevo irregular. Acumulações de gás são visíveis nos sedimentos do lado direito (E) do perfil.

A espessura sedimentar mínima encontrada neste perfil é de cerca de 12 metros.

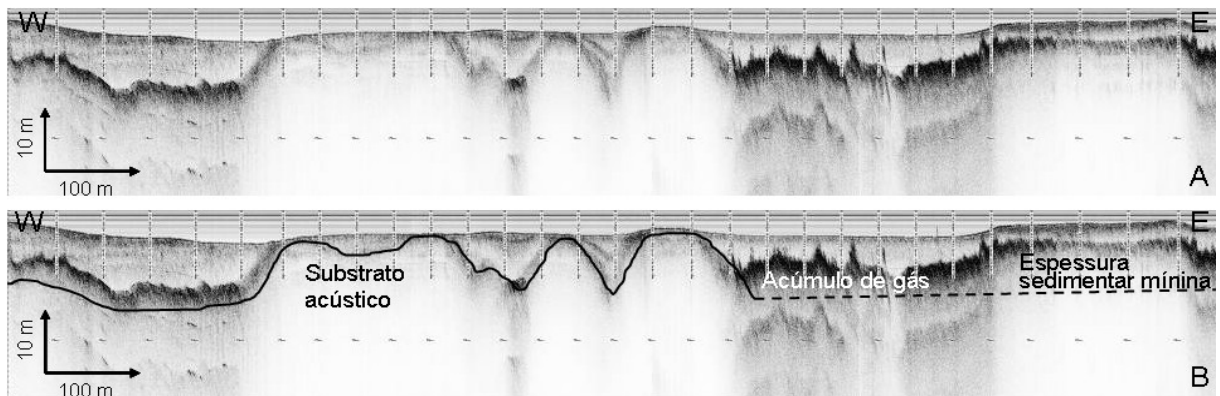


Figura 11 – Perfil 35n. Perfil não interpretado (A) e perfil interpretado (B).

5.1.2 BATIMETRIA

A batimetria do Canal do Paraguaçu obtida a partir dos registros sísmicos e da carta náutica N° 1107 da DHN é apresentada na Figura 12. A batimetria encontrada está de acordo com a apresentada em trabalhos anteriores realizados no estuário do Rio Paraguaçu.

De modo geral, a área de estudo apresenta grande variabilidade batimétrica, sendo as profundidades inferiores a 20 metros mais representativas ao longo Canal do Paraguaçu. As maiores profundidades situam-se a jusante da Ilha do Francês, trecho no qual ocorre estreitamento do Canal e exibe profundidades de até 32 metros, e na desembocadura do Rio Paraguaçu.

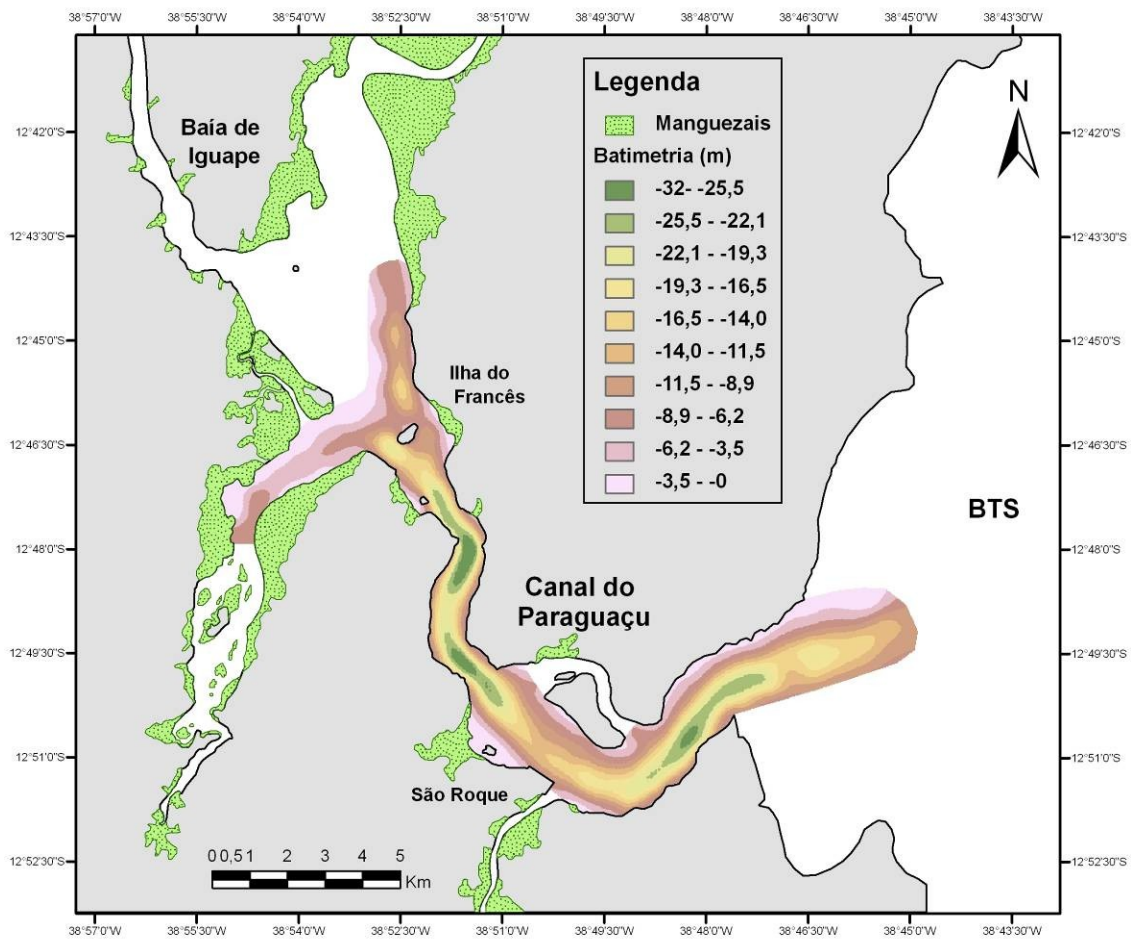


Figura 12 – Mapa batimétrico do Canal do Paraguaçu.

5.1.3 ESPESSURA SEDIMENTAR – MAPA DE ISÓPACAS

A Figura 13 apresenta a espessura sedimentar mínima estimada para os sedimentos holocênicos depositados no Canal do Paraguaçu e áreas vizinhas, obtida a partir da interpretação dos registros sísmicos.

As regiões com maiores espessuras de sedimento estão localizadas na Baía de Iguape e início do Canal do Paraguaçu, com valores de 15 metros; e no trecho final do Canal, que apresenta valores de 20 metros. A espessura de sedimento é pequena no trecho médio de Canal, onde ocorre seu estreitamento.

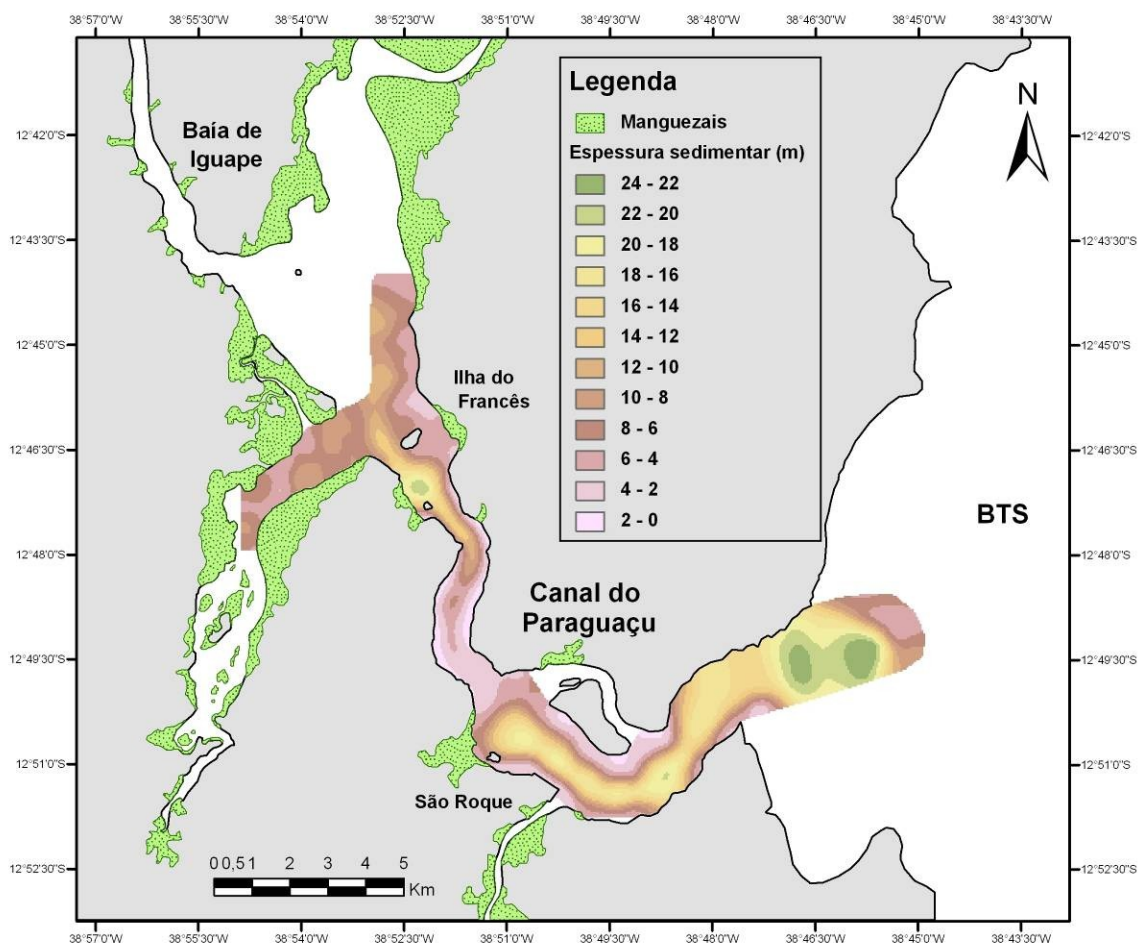


Figura 13 – Mapa de isópacas do Canal do Paraguaçu e vizinhanças.

5.1.4 COEFICIENTE DE REFLEXÃO

Os valores do coeficiente de reflexão obtidos (Fig. 14), que expressam à porcentagem do sinal acústico refletido pelo leito, variaram entre 42% e 91%. Os valores mais baixos do coeficiente estão associados a sedimentos finos e são predominantes ao longo do Canal do Paraguaçu, enquanto os valores mais altos estão relacionados a sedimentos mais grossos e ocorrem nos setores norte e sul da Baía de Iguape.

Dessa forma, de acordo com o coeficiente de reflexão, a distribuição dos sedimentos superficiais de fundo na área de estudo é a seguinte: os sedimentos finos se concentram no Canal do Paraguaçu e os sedimentos grossos na Baía de Iguape.

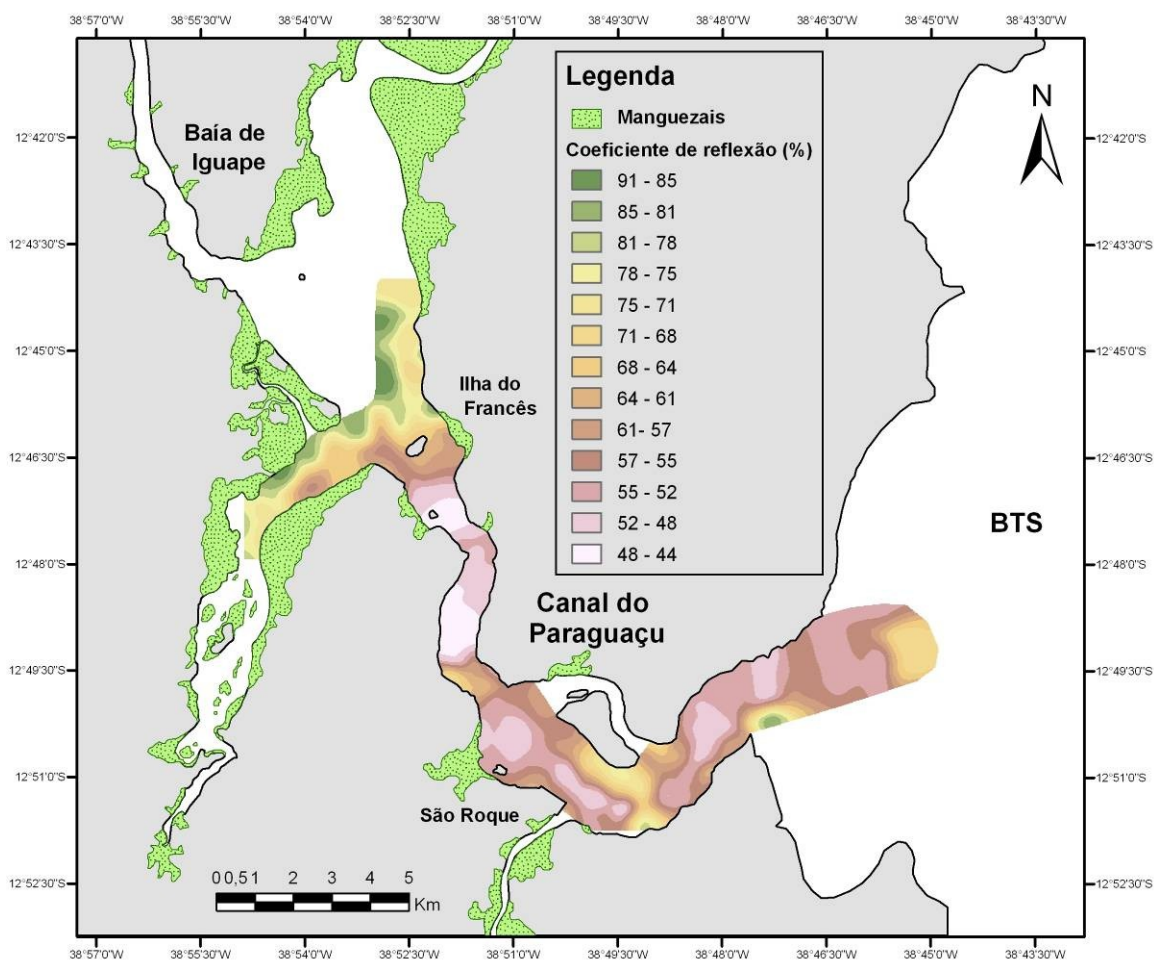


Figura 14 - Distribuição espacial dos valores do coeficiente de reflexão do substrato.

5.2 SEDIMENTO SUPERFICIAL DE FUNDO

5.2.1 TEOR DE CASCALHO

O teor de cascalho dos sedimentos superficiais do fundo da área de estudo variou de zero a 80% (Fig. 15). Na Baía de Iguape são encontrados em média os maiores teores de cascalho da área de estudo, que diminuem à medida que se adentra o Canal do Paraguaçu. Ao longo do Canal esta fração do sedimento não é muito representativa, sendo os maiores teores observados nas margens de modo muito localizado.

Na Baía de Iguape a fração cascalho do sedimento é composta principalmente por grãos de quartzo enquanto no Canal do Paraguaçu fragmentos de conchas de organismos marinhos são dominantes.

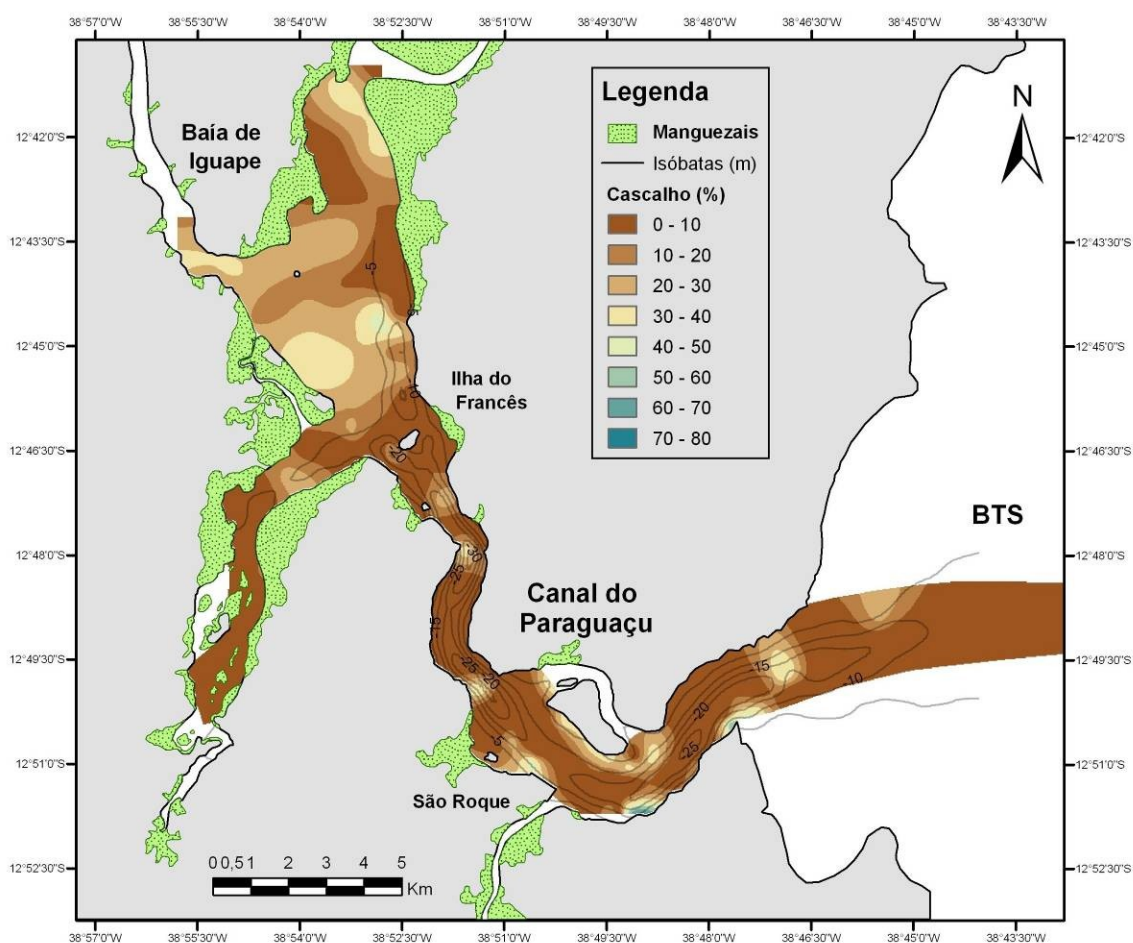


Figura 15 – Distribuição dos teores de cascalho dos sedimentos superficiais de fundo.

5.2.2 TEOR DE AREIA

O teor de areia dos sedimentos superficiais do fundo do Canal do Paraguaçu e da Baía de Iguape é apresentado na Figura 16. Observa-se que na Baía de Iguape se concentram os maiores teores de areia da área de estudo, compondo o delta de cabeceira de estuário descrito em trabalhos anteriores.

À medida que se adentra o Canal do Paraguaçu estes teores diminuem, contudo observam-se dois trechos do Canal com elevadas concentrações de areia: (i) ao lado da Ilha do Francês e (ii) no trecho médio do Canal, onde este é estreito.

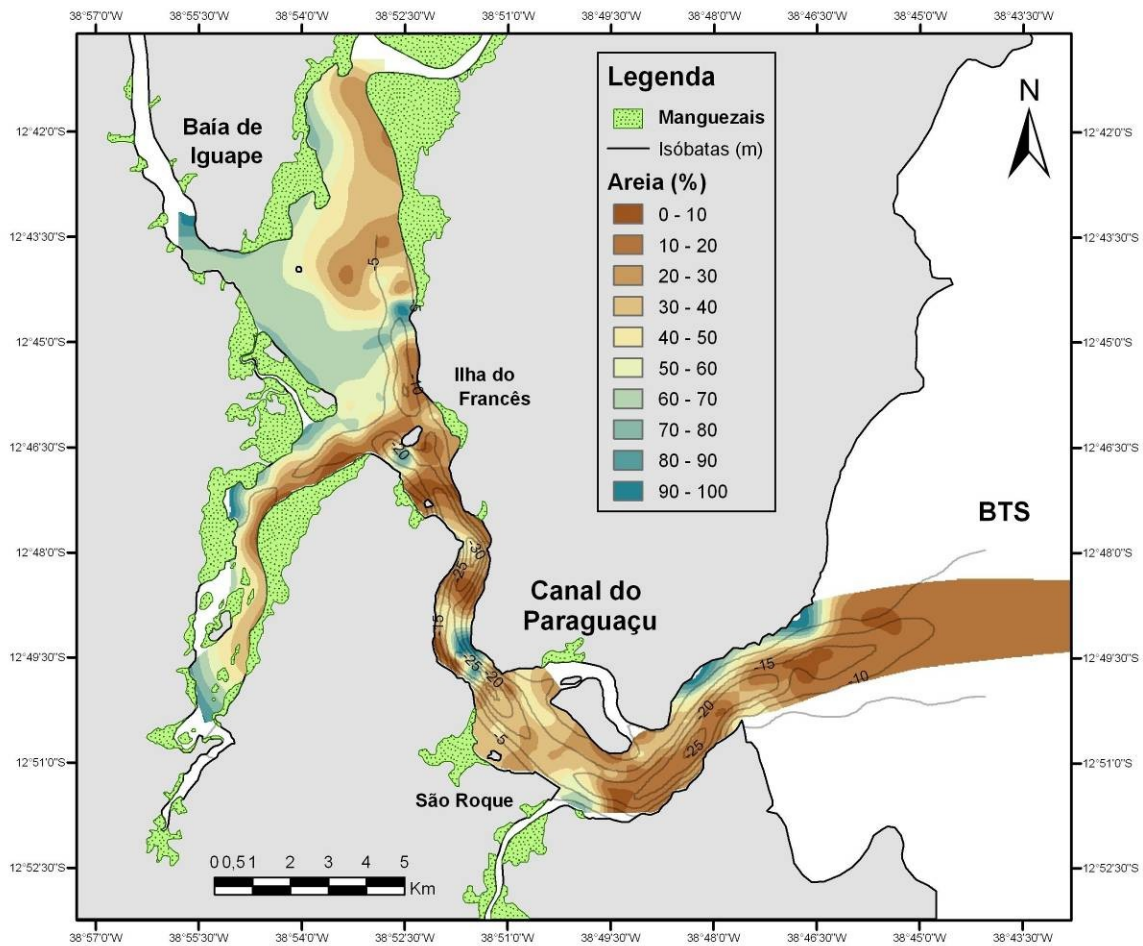


Figura 16 – Distribuição dos teores de areia dos sedimentos superficiais de fundo.

Neste segundo trecho os registros sísmicos longitudinais ao Canal do Paraguaçu revelaram a presença de ondas de areia (*sand waves*) (Fig. 17).

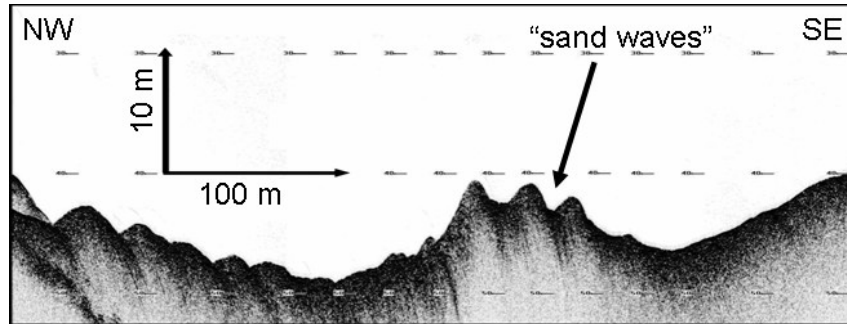


Figura 17 – Perfil sísmico do Canal do Paraguaçu com destaque para as *sand waves*.

No Canal do Paraguaçu as *sand waves* ocorrem a aproximadamente 30 metros de profundidade e são compostas predominantemente pela fração areia quartzosa média. Essas estruturas se dispõem de forma perpendicular aos fluxos oscilantes relacionados à maré e possuem cerca de 30 metros de comprimento de onda, 2 metros de altura e são simétricas.

5.2.3 TEOR DE LAMA

A Figura 18 mostra o teor de lama dos sedimentos superficiais do fundo da área de estudo. O padrão de distribuição da fração lama é oposto ao observado para os teores de areia. Os menores teores da região estudada ocorrem na Baía de Iguape e aumentam à medida que se adentra o Canal do Paraguaçu. Ao longo do Canal as concentrações de lama são elevadas, com ressalva para o trecho ao lado da Ilha do Francês; o trecho médio do Canal, onde estão presentes as “sand waves”; e nas margens do trecho final do Canal.

Em relação à profundidade, observa-se de modo geral um maior acúmulo da fração lama nas partes mais profundas do Canal.

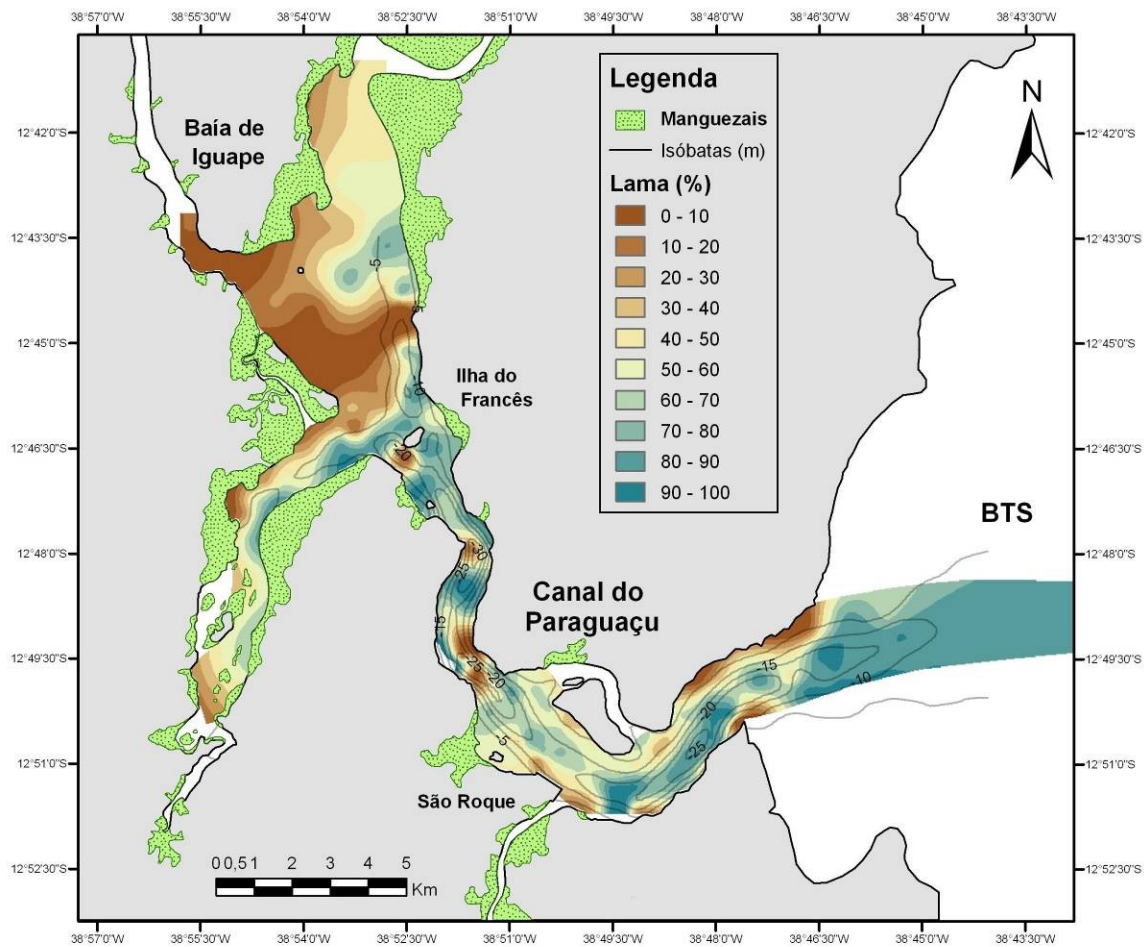


Figura 18 – Distribuição dos teores de lama dos sedimentos superficiais de fundo.

Para melhorar a observação da distribuição espacial do sedimento fino, a fração lamosa foi dividida em fração siltosa e fração argilosa.

5.2.4 TEOR DE SILTE

O teor de silte dos sedimentos superficiais do fundo da Baía de Iguape e do Canal do Paraguaçu é apresentado na Figura 19. O padrão de distribuição espacial desta fração do sedimento é similar ao observado para a fração lamosa, evidenciando que a lama do Canal do Paraguaçu e vizinhanças é composta, predominantemente, por partículas da fração silte.

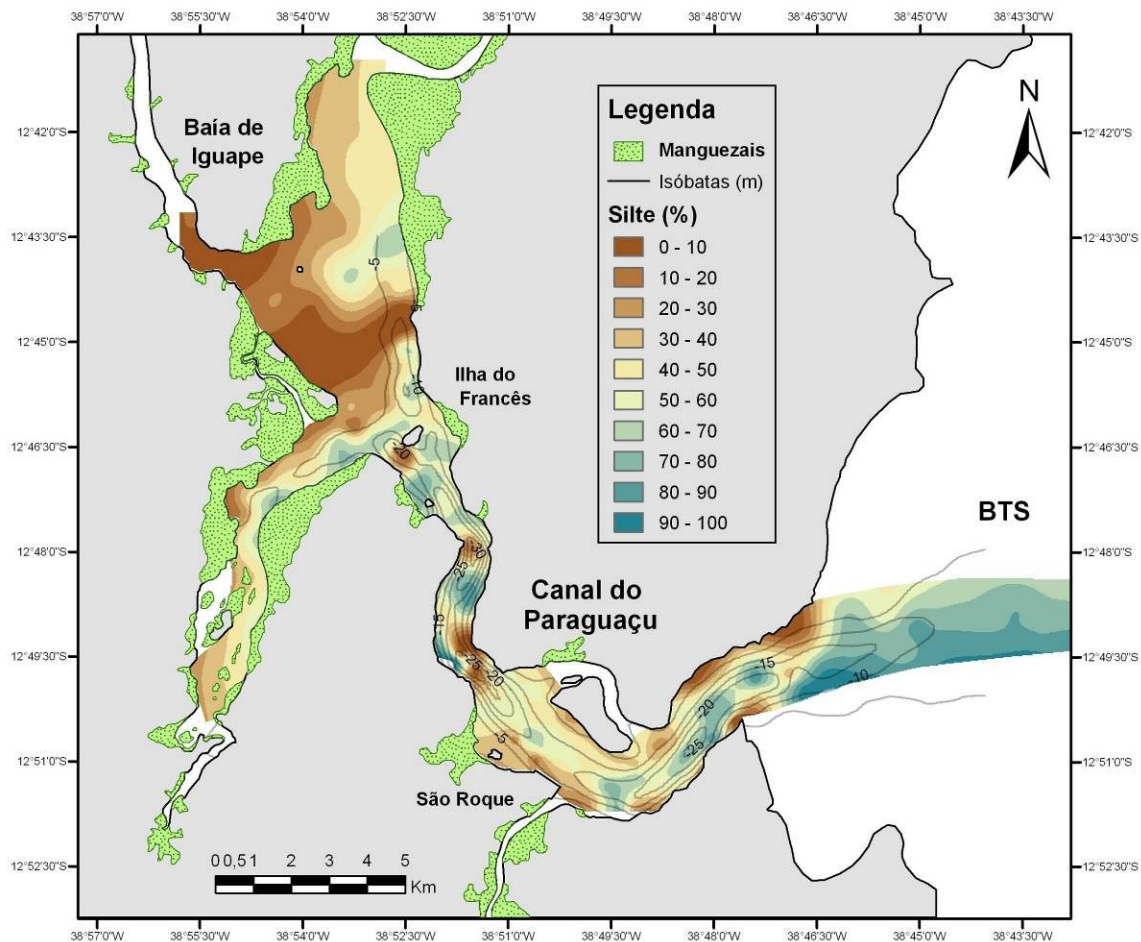


Figura 19 – Distribuição dos teores de silte dos sedimentos superficiais de fundo.

5.2.5 TEOR DE ARGILA

O teor de argila dos sedimentos superficiais do fundo da área de estudo variou de zero a 50% (Fig. 20), com as maiores concentrações nas margens de alguns trechos do Canal do Paraguaçu.

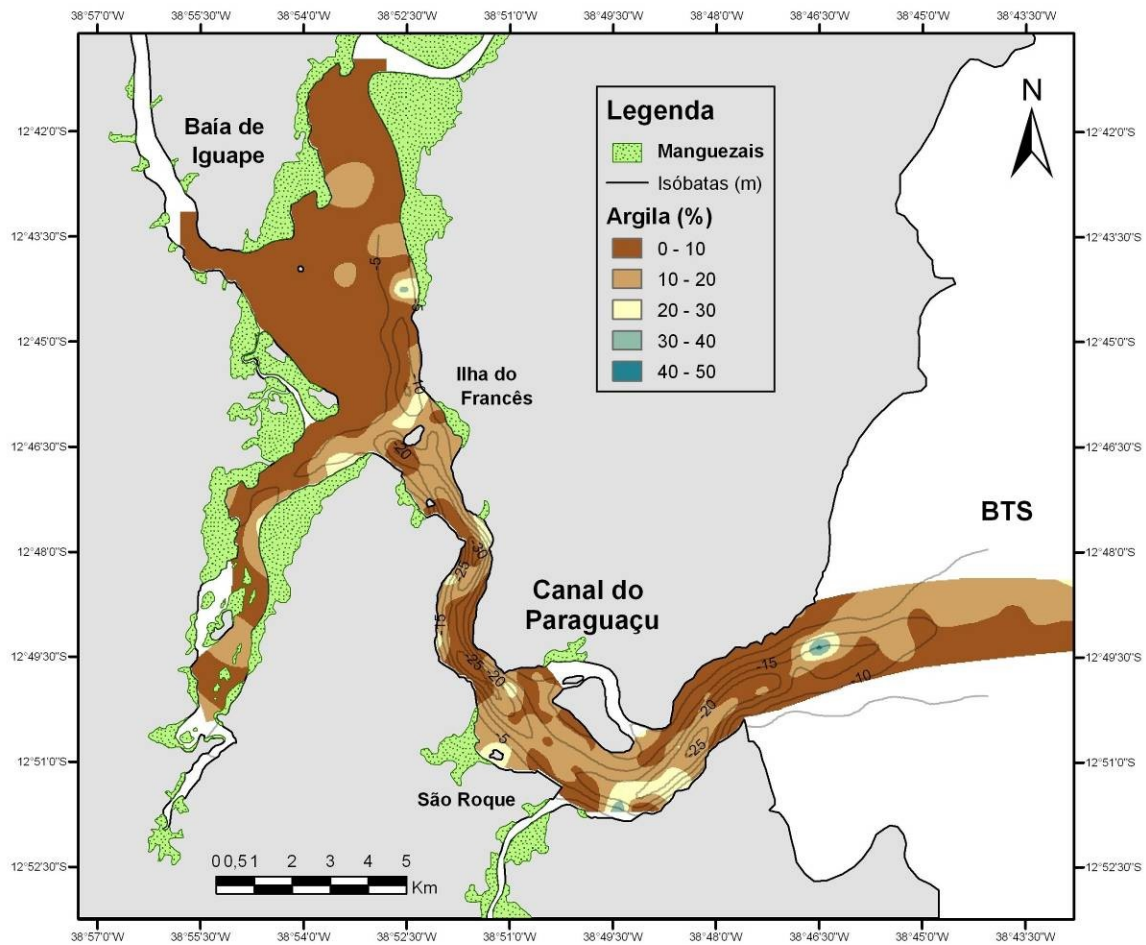


Figura 20 – Distribuição dos teores de argila dos sedimentos superficiais de fundo.

5.2.6 MEDIANA – D50

O padrão de distribuição da mediana ao longo do Canal do Paraguaçu e na Baía de Iguape é apresentado na Figura 21. Observa-se uma maior concentração de sedimentos grossos (e.g. fração areia) na Baía de Iguape e em alguns trechos do Canal, principalmente associados às margens. Já os sedimentos finos (e.g. fração lama) ocorrem em maiores concentrações nos trechos inicial e final do Canal e na desembocadura do rio, sendo dessa forma, predominantes ao longo do Canal do Paraguaçu.

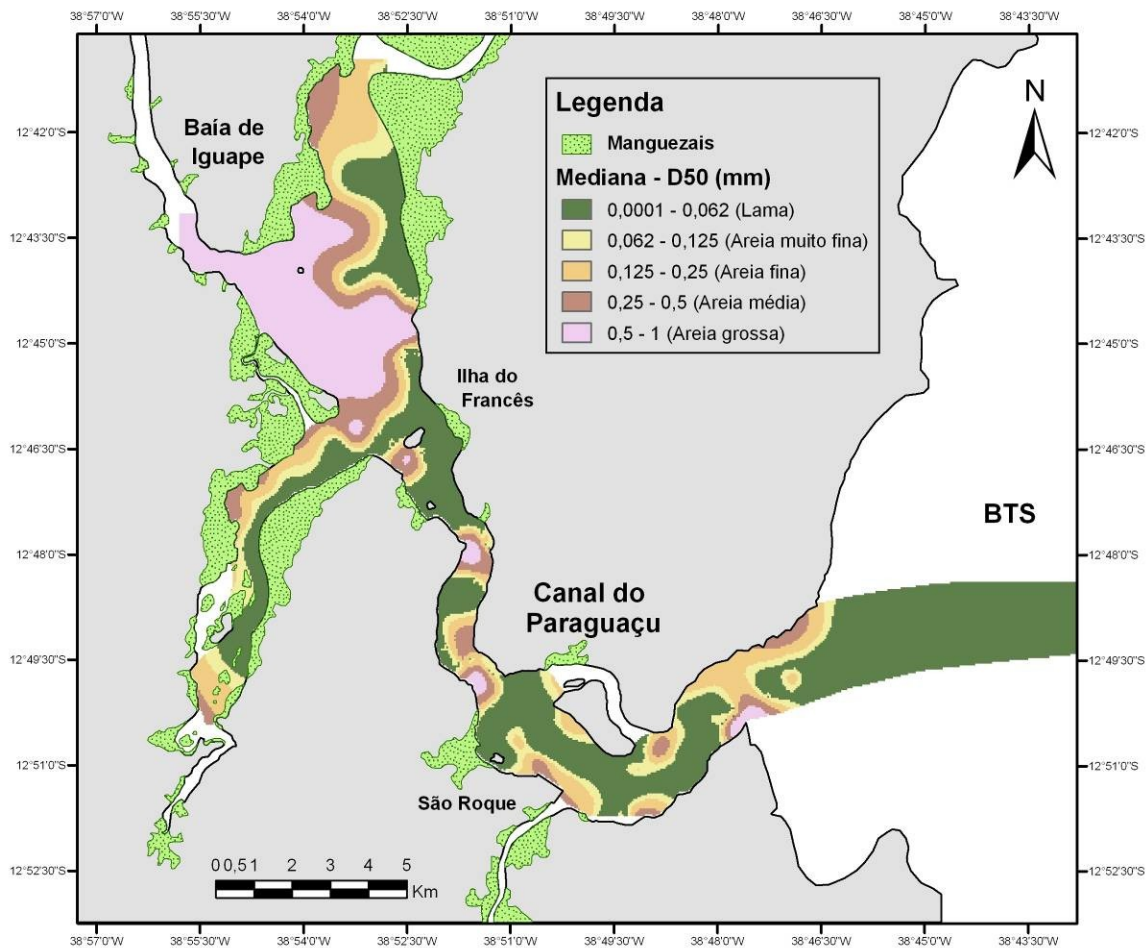


Figura 21 – Distribuição espacial da mediana do sedimento superficial de fundo.

5.2.7 FÁCIES SEDIMENTARES

A Figura 22 apresenta o padrão de distribuição das fácies sedimentares texturais ao longo do Canal do Paraguaçu e vizinhanças, baseado no esquema de classificação proposto por FOLK (1974). As fácies sedimentares da região variaram entre lama e cascalho arenosa.

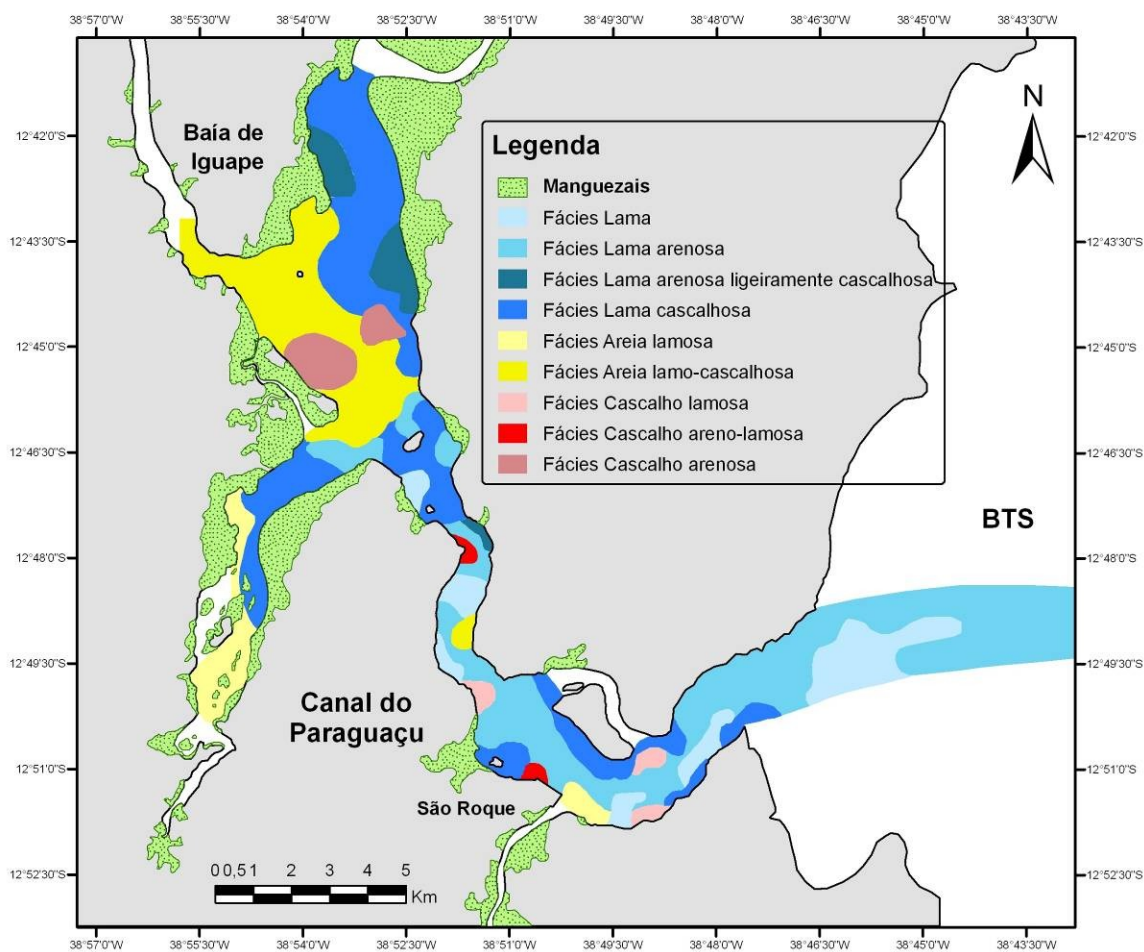


Figura 22 – Padrão de distribuição das fácies sedimentares texturais.

Em relação à distribuição das fácies sedimentares na área de estudo, observa-se a predominância da fácies areia lamosa cascalhosa e lama cascalhosa na Baía de Iguape e da fácies lama arenosa no Canal do Paraguaçu.

As demais fácies ocorrem em menores proporções na área de estudo e estão principalmente associadas às suas margens.

5.3 TESTEMUNHOS RASOS

A descrição dos testemunhos rasos é apresentada a seguir:

5.3.1 TESTEMUNHO T1

O testemunho T1 (Fig. 23), coletado entre a Baía de Iguape e o início do Canal do Paraguaçu (Fig. 06), possui 1,50 m de comprimento e apresenta uma lama compacta ao longo de toda sua extensão sem variação aparente na textura do sedimento. Neste testemunho também foram observados um acamamento planar evidenciado por variações na cor do sedimento e uma fina camada rica em matéria orgânica a 90 cm de profundidade.

A análise granulométrica das amostras coletadas ao longo de T1 revelou elevados teores de lama, concordando dessa forma, com a análise macroscópica. As maiores concentrações de areia (e.g. fração areia muito fina) foram observadas nos primeiros centímetros do testemunho.

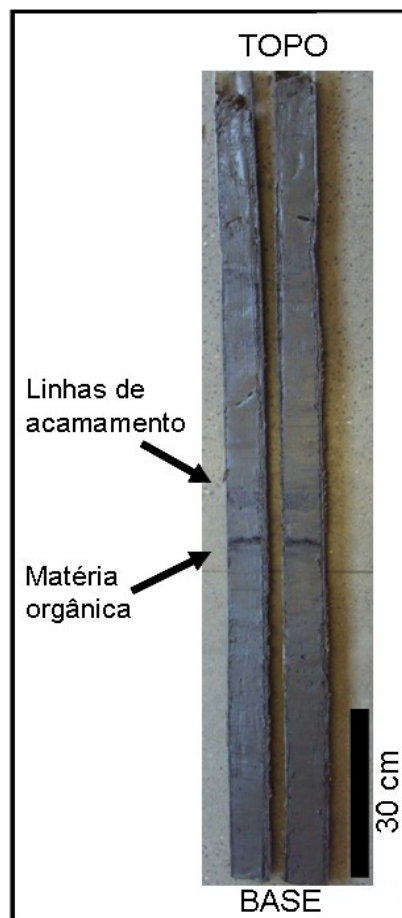


Figura 23 – Testemunho T1.

5.3.2 TESTEMUNHO T2

O testemunho T2 (Fig. 24) foi coletado próximo à cidade de São Roque, no trecho final do Canal do Paraguaçu (Fig. 06), e possui 1,25 m de comprimento. Macroscopicamente, este testemunho apresentou uma camada areno-lamosa no topo abaixo da qual predominou apenas uma lama compacta. Também foi observada a presença de pequenas conchas de bivalves a 60 – 70 cm de profundidade.

A análise granulométrica das amostras coletadas ao longo de T2 mostrou elevado teor de areia (e.g. fração areia fina) no topo do testemunho. No restante do testemunho os teores de lama e areia se mantiveram aproximadamente constantes. A distribuição dos teores de areia e lama com a profundidade revela que o contato entre a camada areno-lamosa e lamosa ocorre a aproximadamente 5 cm de profundidade.

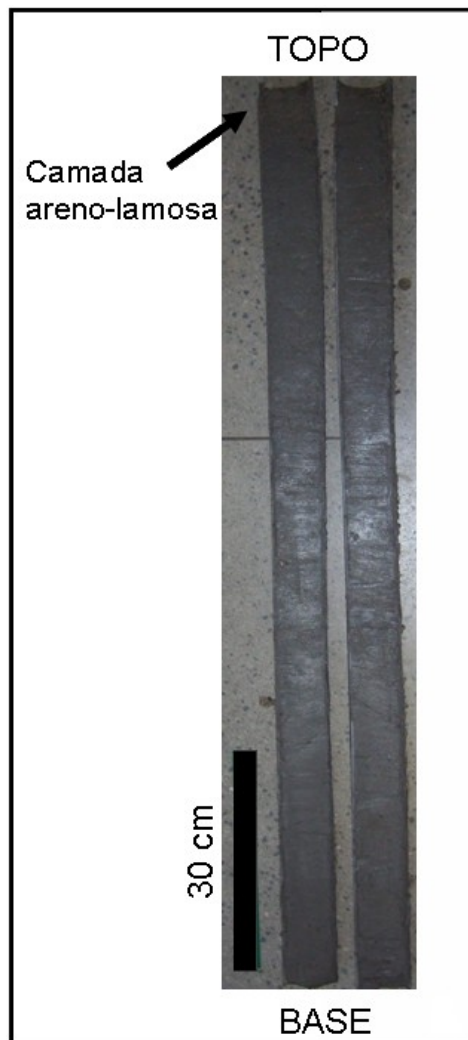


Figura 24 – Testemunho T2.

5.4 HIDRODINÂMICA DO CANAL DO PARAGUAÇU

Os estudos sobre a hidrodinâmica do Canal do Paraguaçu realizados por GENZ (2006) basearam-se em medições das velocidades de corrente e outros parâmetros hidrográficos, como salinidade, temperatura e turbidez da coluna d'água em diferentes condições de maré e descarga fluvial.

As velocidades de correntes foram medidas durante o monitoramento de ciclos completos da maré em três seções transversais ao Canal. A seção I localizou-se na extremidade oeste do Canal do Paraguaçu, a seção II no trecho médio do Canal, entre São Roque e a Ilha do Francês, e a seção III à montante da Ilha do Francês (Fig. 25).

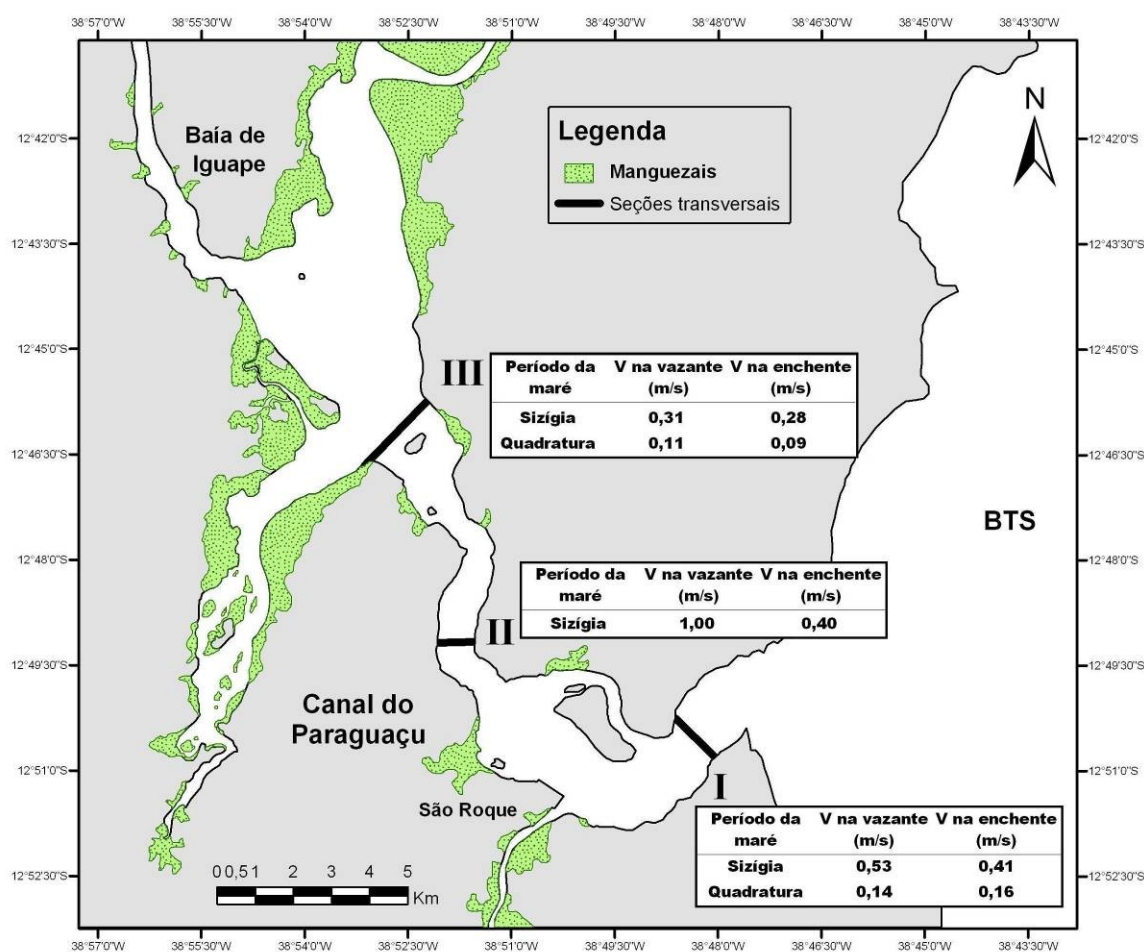


Figura 25 – Localização das seções transversais de monitoramento do Canal do Paraguaçu com as velocidades médias das correntes para toda seção transversal em I e III. As velocidades da seção II não representam uma média para toda seção (adaptado de GENZ, 2006).

A partir da observação das velocidades das correntes ao longo do Canal do Paraguaçu encontradas por GENZ (2006) para toda a seção transversal é possível notar que as velocidades de corrente em sizígia são consideravelmente superiores às de quadratura. Nota-se também que durante períodos de sizígia as velocidades de vazante são mais elevadas do que as de enchente.

Fazendo uma comparação entre as velocidades das três seções transversais, constata-se que as maiores velocidades de corrente ocorrem na seção transversal II. Isso pode estar relacionado ao estreitamento do Canal do Paraguaçu nesta região. Já as menores velocidades ocorrem na seção III, localizada na extremidade oeste do Canal, na saía de Baía de Iguape.

As velocidades médias encontradas nas seções transversais em períodos de vazante em sizígia podem ser consideradas moderadamente fortes, dessa forma, apresentam uma maior capacidade na remobilização dos sedimentos de fundo.

6 DISCUSSÃO

6.1 ACUMULAÇÃO DE SEDIMENTOS

A interpretação dos perfis sísmicos do Canal do Paraguaçu e vizinhanças indicou que as maiores acumulações de sedimento ocorrem nos trechos inicial e final do Canal e na Baía de Iguape (Fig. 13). A espessura sedimentar mínima encontrada nesta interpretação para os setores norte e sul da Baía de Iguape coincide com a espessura de sedimentos obtida por CARVALHO (2000), com valores entre 10 e 12 metros de sedimento depositado.

A acumulação de sedimentos verificada no Canal do Paraguaçu está de acordo com o raciocínio geológico relacionado à formação e preenchimento dos estuários durante o Quaternário e com a história evolutiva da Baía de Todos os Santos proposta por DOMINGUEZ e BITTENCOURT (2009).

Esta acumulação provavelmente se deu da seguinte forma: por volta de 20 mil anos atrás, período em que o nível relativo do mar alcançou um mínimo de 120 metros abaixo do atual e conhecido como Último Máximo Glacial, a Baía de Todos os Santos e a plataforma continental do estado da Bahia encontravam-se expostas subaereamente. Nesta ocasião, o Rio Paraguaçu desaguava na borda da plataforma continental, provavelmente em frente à Baía de Todos os Santos - o local exato da saída do Rio Paraguaçu ainda não é conhecido por falta de detalhamento batimétrico e sonográfico (DOMINGUEZ e BITTENCOURT, 2009). Nesta época o Rio Paraguaçu escavou o substrato rochoso da parte oeste da Baía dando origem a um vale fluvial.

Após o Último Máximo Glacial, houve uma transgressão marinha, conhecida como Última Transgressão, que causou uma elevação no nível do mar de até cerca de 4 metros acima do atual no estado da Bahia, resultando na inundação da plataforma continental, da Baía de Todos os Santos e do vale fluvial escavado pelo Rio Paraguaçu.

Este evento possibilitou o preenchimento do estuário do Canal do Paraguaçu com sedimentos transgressivos, dando origem a uma suposta fácies areno-lamosa transgressiva depositada ao longo do Canal do Paraguaçu e descrita por LESSA *et al.* (2000). A maior acumulação desses sedimentos transgressivos se deu no trecho final do Canal, extremidade leste, na forma de um delta de maré enchente.

No Holoceno Médio e Superior, após o máximo da Última Transgressão, o nível do mar começou a descer, possibilitando que os sedimentos fluviais transportados pelo Rio

Paraguaçu chegassem até à Baía de Iguape, se acumulando na forma de um delta fluvial (CARVALHO, 2000), e ao início do Canal do Paraguaçu. Estes sedimentos regressivos compõem as fácies de areia fluvial e fácies lamosa, também descritas por LESSA *et al.* (2000), a qual está progradando da Baía de Iguape em direção ao Canal do Paraguaçu.

Associando as espessuras sedimentares encontradas na área de estudo (Fig. 13) à distribuição espacial das fácies sedimentares (Fig. 22), observa-se que os sedimentos que se acumulam na Baía de Iguape correspondem a fácies areia lamosa cascalhosa, concordando dessa forma com as fácies sedimentares propostas por LESSA *et al.* (2000). Já a acumulação na extremidade leste do Canal do Paraguaçu corresponde predominantemente a fácies lama arenosa, não estando de acordo com a fácies transgressiva sugerida por LESSA *et al.* (2000) para esta região.

DIAS (2003) e LESSA e DIAS (2009) ao reavaliarem a distribuição das fácies texturais associadas aos sedimentos de fundo da Baía de Todos os Santos, sugeriram que a lama encontrada ao longo do Canal do Paraguaçu representa uma janela estratigráfica relacionada a depósitos lamosos transgressivos que atualmente afloram no fundo do Canal em decorrência da erosão dos sedimentos depositados mais recentemente. Entretanto, o levantamento sísmico efetuado na região não mostrou qualquer evidência de erosão dos sedimentos superficiais de fundo e exposição de sedimentos depositados sub-superficialmente.

As ocorrências de estruturas de gás nos sedimentos da área de estudo, reveladas por meio do levantamento sísmico com perfilador de sub-fundo, estão distribuídas principalmente ao longo da região central do Canal do Paraguaçu e nas suas margens sul e sudoeste (Fig. 08) e no setor sul da Baía de Iguape (Fig. 11). A textura dos sedimentos nestas regiões é predominantemente lamosa, o que possibilita a acumulação do gás em sub-superfície, pois dificulta o seu escape para a coluna d'água.

Assim como as estruturas de gás mapeadas nos sedimentos da Baía de Todos os Santos (informação verbal de Raissa H. S. Campos), este gás muito provavelmente é o metano e sua origem é biogênica, ou seja, está associada à degradação da matéria orgânica pela atividade bacteriana em baixas temperaturas nos sedimentos do Canal do Paraguaçu, conforme foi sugerido por CARVALHO (2000).

6.2 TEXTURA SEDIMENTAR

A partir da observação dos mapas com a distribuição espacial dos parâmetros texturais do sedimento (Fig. 15, 16, 18 e 21), das fácies sedimentares (Fig. 22) e dos coeficientes de reflexão (Fig. 14), constata-se que a textura sedimentar predominante na Baía de Iguape é arenosa, enquanto que ao longo do Canal do Paraguaçu ela é lamosa e composta predominantemente por partículas da fração silte. As frações mais grossas (e.g. cascalho) que ocorrem no Canal do Paraguaçu estão associadas às suas margens.

Dessa forma, os sedimentos da área de estudo podem ser classificados mais adequadamente, segundo os critérios de FOLK (1974), como areia lamosa cascalhosa, na Baía de Iguape, e lama arenosa, no Canal do Paraguaçu.

Tanto os sedimentos arenosos que se acumulam na Baía de Iguape, como aqueles presentes no Canal do Paraguaçu são compostos por partículas siliciclásticas, formadas principalmente a partir da erosão de rochas do embasamento e transportadas pelo Rio Paraguaçu até o local de deposição e, secundariamente, pela erosão localizada das rochas sedimentares da bacia sedimentar do Recôncavo principalmente dos arenitos eólicos do Grupo Brotas (Formação Sergi). Contudo, a fração cascalho, pouco representativa na área de estudo (Fig. 15), apresentou origem mista, com predominância de sedimentos siliciclásticos na Baía de Iguape e de componentes bioclásticos (e.g. fragmentos de conchas) no trecho final do Canal do Paraguaçu.

Deve ser dado destaque as elevadas concentrações de sedimentos grossos (e.g. fração areia) que ocorrem no setor norte da Baía de Iguape e no trecho médio do Canal do Paraguaçu (Fig. 21). Segundo observações de campo realizadas por Fernando Genz, essas regiões apresentam algumas particularidades. A distribuição dos sedimentos observada no setor norte da Baía de Iguape pode estar associada à descarga fluvial do baixo curso do Rio do Paraguaçu, que é direcionada para esta região. Já as acumulações de sedimentos grossos existentes no trecho médio do Canal, associadas principalmente às margens das regiões curvadas, podem estar relacionadas a grande turbulência observada nessas áreas (informação verbal de Fernando Genz).

Os testemunhos rasos coletados no Canal do Paraguaçu (Fig. 23 e 24) revelaram uma diminuição do teor de areia (e. g. frações muito fina e fina) com o aumento da

profundidade. Dessa forma, pode-se afirmar que o sedimento sub-superficial do Canal é predominantemente lamoso.

As fácies sedimentares do Canal do Paraguaçu e da Baía de Iguape propostas neste trabalho (Fig. 22) apresentam similaridades com as fácies sugeridas por AVANZO (1977), para a Baía de Iguape, e por BRICHTA (1977), para o Canal do Paraguaçu.

Na Baía de Iguape observa-se a predominância de fácies sedimentares arenosas e lamosas e um decréscimo da granulometria dos sedimentos da desembocadura do baixo curso do Rio Paraguaçu no sentido da entrada do Canal do Paraguaçu, conforme sugerido por AVANZO (1977).

No Canal do Paraguaçu observa-se que as fácies arenosas e cascalhosas encontram-se próximas as margens do Canal, enquanto que a fácies lamo-arenosa ocorre na região central do Canal e a fácies lama na sua desembocadura. Distribuição esta semelhante à sugerida por BRICHTA (1977).

As pequenas diferenças observadas na distribuição e no contato entre as diferentes fácies sedimentares resultam provavelmente de melhorias na localização das estações de coleta, devido a utilização de GPS, e das ferramentas de geoprocessamento, que possibilitaram um mapeamento mais preciso da região estudada.

6.3 RESSUSPENSÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

A erosão/ressuspensão e o transporte de sedimentos por fluidos aquosos é função de fatores relacionados às condições hidrodinâmicas locais, que levam em consideração a turbulência e velocidade das correntes, e às propriedades das partículas sedimentares, como tamanho e coesão (REINECK e SINGH, 1980). Para que ocorra erosão e transporte de partículas depositadas no leito de um canal é necessário que as tensões de cisalhamento exercidas pelas correntes de fundo causadas pelas marés sejam maiores que os valores críticos característicos da granulometria dos sedimentos do leito (LEEDER, 1999).

No entanto, em depósitos sedimentares predominantemente lamosos, como é o caso do Canal do Paraguaçu, o processo de erosão das partículas finas depende, principalmente, das propriedades dos sedimentos, de modo que a tensão crítica de cisalhamento passa a ser dependente da coesão entre as partículas de lama (SANCHEZ & LEVACHER, 2008). Os sedimentos classificados como coesivos são

constituídos por uma mistura de partículas da fração fina (e.g. argila, silte e areia fina) e matéria orgânica (HUANG *et al.*, 2006) e, segundo o diagrama clássico de HJULSTROM (1935), a velocidade de corrente necessária para removê-los do fundo, uma vez depositados, deve ser maior do que a velocidade no momento da sua deposição.

Em adição a coesão, a profundidade também é um fator que deve ser considerado no estudo da mobilidade das partículas sedimentares depositadas no leito, uma vez que a intensidade da velocidade das correntes diminui com o aumento da profundidade. Dessa forma, quanto maior for a profundidade de um canal, maiores serão as velocidades necessárias para mobilizar os sedimentos de fundo de um determinado diâmetro.

O Canal do Paraguaçu apresenta grandes profundidades, o que possibilita o estabelecimento de regiões calmas no fundo do Canal. Essas regiões agem como armadilhas aprisionando os sedimentos finos (e.g. lama) e favorecendo sua deposição. Como as velocidades críticas de cisalhamento em locais profundos são mais reduzidas e os sedimentos lamosos apresentam elevada coesão, a remobilização das partículas sedimentares depositadas no leito do Canal do Paraguaçu é aparentemente dificultada.

Todavia, GENZ *et al.* (2004) observaram a formação de duas zonas de intensa turbidez durante um período de cheia no Rio Paraguaçu. Uma localizada na extremidade oeste do Canal do Paraguaçu, próximo a Baía de Iguape, e outra na extremidade leste do Canal, próximo a Baía de Todos os Santos. As elevadas concentrações de sedimentos em suspensão nestas duas regiões foram associadas a processos distintos.

Na saída da Baía de Iguape as altas concentrações de sedimento estavam associadas à massa d'água fluvial, correspondendo assim, aos sedimentos oriundos da drenagem do Rio Paraguaçu. Esse evento também foi observado por SANTOS (2005), que relacionou as altas concentrações de sedimentos em suspensão na Baía de Iguape a baixos valores de salinidade. Já na desembocadura do estuário do Rio Paraguaçu, o aumento na concentração dos sedimentos em suspensão na coluna d'água estava associado à ressuspensão dos sedimentos finos depositados no fundo.

Os dados das concentrações de sedimentos em suspensão na coluna d'água obtidos por GENZ (2006) para as três seções transversais localizadas no Canal do Paraguaçu (Fig. 22) indicaram que em períodos de maré de sizígia ocorre uma grande

ressuspensão de sedimento, principalmente na seção I – localizada na desembocadura do Canal. Em quadratura a concentração dos sedimentos em suspensão é reduzida e os maiores valores são observados próximos ao fundo. Este padrão segue o descrito por SCHOELHAMER (2001), o qual associa as velocidades de corrente na maré de sizígia à ressuspensão do sedimento fino inconsolidado do fundo de estuários.

Assim, o sedimento fino ressuspenso em sizígia pode ser transportado para fora do estuário do Paraguaçu, uma vez que o padrão da circulação residual com domínio do fluxo de vazante promove a exportação de sedimentos para a Baía de Todos os Santos. Por outro lado, a circulação gravitacional que se desenvolve em quadratura permite a retenção dos sedimentos finos ressuspenso no estuário (DYER, 1995), que podem se acumular próximo ao fundo do Canal em períodos de estufa de maré.

Um episódio interessante descrito por GENZ (2006), e decorrente da quebra da estratificação da coluna d'água devido à passagem da maré de quadratura para sizígia, foi a ocorrência da precipitação dos sedimentos finos em suspensão, associados à massa d'água fluvial, e sua acumulação junto ao fundo da Baía de Iguape.

Esse fato se deve à ocorrência de processos de floculação dos sedimentos finos em suspensão, que consiste na agregação das partículas menores para formar partículas maiores em decorrência de mudanças nas propriedades físico-químicas da água, como a mudança de salinidade. Dessa forma, a densidade das partículas aumenta e, como consequência, a sua velocidade de deposição (WOLANSKI, 1996).

MOURA (1979) relatou que o forte gradiente de salinidade existente na Baía de Iguape favorece a floculação dos sedimentos finos e possibilita a sua deposição e retenção no estuário do Rio Paraguaçu. E GENZ (2006) considerou essa situação pouco comum no Canal do Paraguaçu, associando-a a morfologia diferenciada do estuário do Rio Paraguaçu, que tem a Baía de Iguape quase transversal ao canal do baixo curso do rio e a batimetria acentuada dos canais da baía e do Canal do Paraguaçu.

As *sand waves* (ondas de areia) (Fig. 13) são formas de leito que resultam da ação de correntes modelando os sedimentos arenosos inconsolidados e estão associadas a ambientes de elevada hidrodinâmica. A presença dessas estruturas no trecho médio do Canal do Paraguaçu pode estar associada tanto ao estreitamento do Canal nesta região, permitindo que as correntes atinjam grandes velocidades e sejam capazes de

modelar os sedimentos depositados, como a grande turbulência existente nesta região do Canal (informação verbal de Fernando Genz).

Observa-se nos registros que as formas de leito sobre as quais as *sand waves* se encontram apresentam uma orientação no sentido de enchente, enquanto que as *sand waves* apresentam-se aproximadamente simétricas, indicando neste caso intensidades de fluxos de mesma ordem de grandeza em ambos os sentidos do Canal do Paraguaçu. Como essas feições de grande escala não são afetadas por variações de curto período (PAOLO & MAHIQUES, 2008), é provável que as mesmas sejam formadas preferencialmente durante as marés de sizígia, quando o fluxo intenso das correntes de fundo é capaz de modelar o leito.

A distribuição granulométrica dos sedimentos ao longo dos estuários é alterada continuamente pela erosão e transporte de sedimentos, entretanto, no estuário do Rio Paraguaçu isso parece ser um pouco diferente, visto que os sedimentos mais grossos parecem ficar retidos na Baía de Iguape, na forma de um delta de cabeceira de baía (CARVALHO, 2000). Isso ocorre, pois nesta região as correntes fluviais desaceleram promovendo a deposição e acúmulo dos sedimentos grossos (e.g. fração areia) e as correntes de maré não são capazes de remobilizá-los.

As areias encontradas ao longo das margens do Canal do Paraguaçu podem ter uma origem local, provenientes da erosão dos arenitos da Formação Sergi. Já os sedimentos mais finos (e.g. fração lama) existentes no Canal têm provavelmente uma origem mista e são oriundos tanto do rio Paraguaçu, quanto da Baía de Todos os Santos. Estes sedimentos, como já mencionado, uma vez depositados são mais dificilmente remobilizados devido ao seu caráter mais coesivo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração entre os registros provenientes dos levantamentos sísmicos e os dados granulométricos da área de estudo mostram que a espessura dos sedimentos lamo-arenosos depositados no Canal do Paraguaçu é de cerca de 20 metros. Também foi possível observar a ocorrência de acumulações de gás livre nos sedimentos da área de estudo.

A textura dos sedimentos superficiais de fundo da área de estudo pode ser classificada como areia lamosa cascalhosa, na Baía de Iguape, e lama arenosa, no Canal do Paraguaçu.

A ressuspensão, o transporte e a deposição de sedimentos em estuários são controlados por uma série de processos complexos, dentre os quais a ação das marés e o padrão de circulação residual exercem um importante papel (DYER, 1995). Dessa forma, a aparente contradição entre a sedimentação predominantemente lamosa e a hidrodinâmica elevada existente no Canal do Paraguaçu pode ser explicada pelos seguintes fatores: (i) grande influência da maré na circulação, retenção e acumulação dos sedimentos finos no Canal do Paraguaçu; (ii) velocidades das correntes de fundo na maior parte do Canal ineficientes para a remoção destes sedimentos, uma vez depositados, devido ao seu caráter coesivo; e (iii) batimetria acentuada do Canal, que possibilita a existência de regiões abrigadas as quais favorecem a acumulação dos sedimentos finos.

Assim, apesar do estuário do Rio Paraguaçu estar sujeito a correntes de maré moderadamente elevadas, o fundo do Canal do Paraguaçu pode ser considerado um ambiente de baixa energia ambiental e, portanto, dominado pela acumulação de sedimentos lamo-arenosos.

Entre as recomendações para futuros trabalhos estão: (i) o mapeamento com maior grau de detalhamento das estruturas de gás presentes no sedimento do Canal do Paraguaçu e da Baía de Iguape, com ênfase na determinação da composição e origem do gás; (ii) a complementação do levantamento sísmico transversal do trecho médio do Canal, que por problemas técnicos não pode ser concluído antes da finalização deste trabalho; e (iii) a investigação detalhada dos processos erosivos e de transporte de sedimentos depositados no leito, como a medição das velocidades críticas de cisalhamento no Canal do Paraguaçu e sua correlação com as velocidades críticas

calculadas com base em dados sedimentológicos, a fim de complementar os dados aqui apresentados.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVANZO, P.E., 1977. **A Sedimentação no Setor Central da Baía de Maragogipe**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal da Bahia.

BLOTT, S.J.; PYE, K., 2001. Gradstat: a grain-size distribution and statistic package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surface Processes Landforms**. 26:1237-1248.

BRICHTA, A., 1977. **A Sedimentação na Foz do Rio Paraguaçu**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal da Bahia.

CARVALHO, J.B., 2000. **Caracterização morfoestratigráfica do preenchimento sedimentar da Baía de Iguape, Bahia – Influência das variações eustáticas do nível do mar e atividades tectônicas recentes**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal da Bahia.

DALRYMPLE R.W.; ZAITLIN B.A.; BOYD R., 1992. Estuarine Facies Models: Conceptual Basis and Stratigraphic Implications. **Journal of Sedimentary Petrology**, 62 (6): 1130-1146.

DHN, Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1978. **Carta Náutica da Baía de Todos os Santos – Parte Oeste – Nº 1107**. Marinha do Brasil.

DIAS, K.A., 2003. **Estudos das Texturas Sedimentares da Superfície de Fundo Oceânico da Baía de Todos os Santos**. Monografia (Graduação em Geologia). Universidade Federal da Bahia.

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P., 2009. Geologia. In: Andrade, J.B.; Hatje, V., 2009. **Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos**. Salvador: EDUFBA.

DYER, K. R., 1995. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G.M.E., 1995. **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries**. Netherlands: Elsevier Science.

FOLK, R.L.; WARD, W.C., 1957. Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27(1) : 3-26.

FOLK, R.L., 1974. The petrology of sedimentary rocks. **Hemphill Publishing Co.**, Austin, Texas, USA.

GENZ, F., 2006. **Avaliação dos Efeitos da Barragem Pedra do Cavalo sobre a Circulação Estuarina do Rio Paraguaçu**. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Federal da Bahia.

GENZ, F., et al., 2004. The Impact of an Extreme Flood upon the Mixing Zone of the Todos os Santos Bay, Northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, Special Issue 39. 707-712.

GENZ, F., *et al.*, 2008. Vazão Mínima para Estuários: Um Estudo de Caso no Rio Paraguaçu/BA. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Brasil.

HEISE, B. et al., 2010. Patterns of potential sediment erosion in the Pearl River Estuary. **Journal of Marine Systems**, doi:10.1016/j.jmarsys.2010.02.006

HUANG, J. *et al.*, 2006. Cohesive Sediment Transport In.: Yang, C.T., 2006. **Erosion and Sedimentation Manual**. Denver.

LEEDER, M.R., 1999. **Sedimentology and sedimentary basins: from turbulence to tectonics**. London: Blackwell Science.

LESSA G.C., *et al.*, 2000. A Reevaluation of the Late Quaternary Sedimentation in Todos os Santos Bay (BA), Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 72(4):573-590.

LESSA, G.C., *et al.*, 2001. The Tides and Tidal Circulation of Todos os Santos Bay, Northeast Brazil: a general characterization. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 73(2):245-261.

LESSA, G.C.; DIAS, K.A., 2009. Distribuição espacial das litofácies de fundo da Baía de Todos os Santos. **Quaternary and Environmental Geosciences**, 01(2):84-97.

LESSA, G.C., *et al.*, 2009. Oceanografia Física. In: Andrade, J.B.; Hatje, V., 2009. **Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos**. Salvador: EDUFBA.

MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B., 2002. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: EdUSP, 419.

MOURA, P.L., 1979. **Material em suspensão na Bahia de Todos os Santos**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal da Bahia.

PAOLO, F.S.; MAHIQUES, M.M., 2008. Utilização de métodos acústicos em estudos de dinâmica costeira: exemplo na desembocadura lagunar de Cananéia. **Revista Brasileira de Geofísica**, 26(2):211-225.

READING, H.G., 1996. **Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy**. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science, 688.

REINECK, H.E.; SINGH, I.B., 1980. **Depositional sedimentary environments**. 2nd, Berlin: Springer-Verlag, 551.

ROSSETTI, D.F., 2008. Ambientes estuarinos. In.: Silva *et al.* 2008. **Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil**. São Paulo: Beca.

SANCHEZ, M., LEVACHER, D., 2008. Erosion of a mud from the Loire estuary by a flow. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**. 67:597–605

SANTOS, C.B., 2005. **Contribuição aos estudos da carga sedimentar em suspensão na Baía de Todos os Santos**. Monografia (Graduação em Geologia). Universidade Federal da Bahia.

SCHOELHAMER, D.H., 2001. Influence of Salinity, Bottom Topography, and Tides on Locations of Estuarine Turbidity Maxima in Northern San Francisco Bay. Elsevier Science, 343-357. Disponível em: <<http://ca.water.usgs.gov/abstract/sfbay/elsevier0102.pdf>>. Acessado em 15/07/2010.

WOLANSKI E., *et al.*, 1996. Fine-sediment Dynamics in the Mekong River Estuary, Vietnam. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 43: 565-582.