

## Análise e interpretação morfológica a partir de seções sísmicas rasas na porção central da baía de Marajó - PA

Lidiane Cristina Lima de Araújo, Odete Fátima Machado da Silveira, Alberto Leandro de Melo (FAOC–UFPA)

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The shallow seismic is one of the most advantageous methods of investigation of sub-seabed, as it uses a high frequency spectra to generate high resolution images of geological features. Therefore, the study aims to recognize and interpret the bottom morphology in the middle portion of the Baía de Marajó from shallow seismic together with the production of bathymetric profiles. The survey consisted of seven transects from the Baía do Sol to Ilha Santana composed and treated throughout the Surfer 9, Adobe Photoshop CS3, Subbottom Discovery 3.33 softwares and compared with bathymetric profiles. The acoustic pattern of the seismic unit proved to be uniform in all three sections in order to rank them as silt-clay and sand. The relation between morphological characteristics of seismic sections with the bathymetric, indicate two areas (west and east) in the Baía de Marajó with differences in sediment dynamics and movement. Predominates in the western sector banks, channels and sand bars deposited under a regime of strong hydrodynamic. In the east is more smooth and embossed with channels located along the banks with finer sediments.

### Introdução

Dentre os fenômenos mais importantes na Geofísica para estudos dos fundos oceânicos é a propagação de ondas acústicas ou sonoras (AYRES NETO, 2001). A sísmica rasa é um dos principais métodos de investigação do fundo e sub-fundo marinho tendo como vantagens a aquisição de dados sobre a disposição estrutural das camadas sedimentares abaixo desse fundo utilizando-se de espectros de maior frequência que à sísmica de fundo, gerando como produto final, imagens sísmicas de alta definição das feições geológicas (como as do Quaternário), a fim de investigar processos sedimentares, na exploração de possíveis depósitos minerais e ainda em estudos de cunho biológico, dentre outros (SOUZA, 2006).

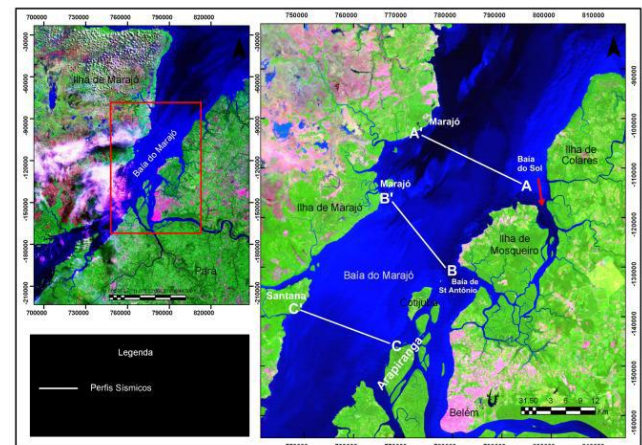
Em se tratando de sedimentos, a velocidade de propagação de ondas acústicas é função de duas constantes, os módulos de compressão e rigidez sendo os fatores controladores destes parâmetros nos sedimentos marinhos a porosidade, pressão de

confinamento, grau de saturação e temperatura, apresentadas por Woods apud Passos (2008).

Partindo desse princípio este trabalho tem por objetivo a análise de perfis sísmicos de alta resolução na porção central da Baía de Marajó e o reconhecimento da morfologia superficial de fundo a partir das seções sísmicas presentes, e a comparação desses perfis sísmicos com a morfologia encontrada nas cartas náuticas da DHN.

### Localização e caracterização geral da área

A área de estudo (Fig. 1) se insere no complexo estuarino marajoara abrangendo o rio Pará e a Baía de Marajó compreendendo trechos transversais que inicia na Baía do Sol, próximo a ilha de Colares, até a ilha de Arapiranga com uma extensão aproximada de 57,41 Km. Os trechos estão localizados entre as latitudes 1°01'19,302" a 1°15'15,612" S e as longitudes de 48°21'38,73" a 48°45'30,936"W da baía do Marajó no Estado do Pará, referindo-se à parte média do estuário do rio Pará.



**Fig. 1-** Localização dos perfis sísmicos e batimétricos coletados entre a Baía do Sol e Arapiranga. Em A-A': Perfil Baía do Sol-Marajó; B-B': Marajó-Baía de St Antônio e, C-C': Arapiranga-Santana.

O setor do rio Pará, entre a região de Belém e a costa sul-sudeste da ilha de Marajó, consiste num estuário iniciando na baía das Bocas (delta de Boiuçu/Breves), prossegue pelo rio Pará, onde recebe toda a massa de águas do rio Tocantins incluindo a baía de Guajará, a altura do emboque dos rios Guamá/Mojú/Acará/Capim, passando à alongada boca do complexo estuarino terminal onde se inicia a baía de Marajó (AB" SABER, 2006; MARTINS, 2007).

As variações do nível dos rios Pará e Tocantins e de seus afluentes são significativas durante o ano e estas estão relacionadas ao regime de chuvas a que a região da baía de Marajó está sujeita. Estas variações são periódicas e obedecem a um ciclo anual de fenômenos de enchentes e vazantes que influenciam diretamente nos parâmetros físico-químicos da região a ressaltar a salinidade, apresentando no período de vazante uma média que varia de 33 a 35 ‰ enquanto que no período de enchente este valor pode ficar entre 12 e 20 ‰ (DIEGUES, 1973; CORRÊA, 2005).

Diégues (1973) propôs que durante o período de baixa descarga, compreendida entre os meses de junho a dezembro, os ventos predominantes são os de direção SE, com velocidades entre 2,5 e 5,2 m/s. No período de alta descarga, predominam os ventos de NE, com velocidades médias superiores as de vazante, entre 5,2 e 7,7 m/s.

A amplitude e duração das marés, bem como a intensidade das correntes, são função da quantidade de chuva, da intensidade dos ventos reinantes e das variações das direções das correntes nos canais, igarapés, rios e bancos. Segundo dados da DHN (1976) a corrente de enchente possui direção aproximada de SSW, nas proximidades da baía de Marajó. A velocidade das correntes de marés, no estuário da baía de Marajó e em suas cercanias, pode exceder a 250 cm/s. Suas amplitudes variam dependendo do ponto considerado, em Salinópolis a média da maré é de 2,75m, variando de 0,1 a 5,5m; na ilha do Mosqueiro, próximo a Belém, a média é de 1,84m, com variações entre 0,2 a 3,6m e no canal de Breves a média é de 0,69m, com variações entre 0,1 e 1,2m, entre a maré baixa e a maré alta.

Muitos dos estuários do mundo são influenciados, em maior ou menor grau, pelas correntes de marés. A energia destas correntes de marés serve como mecanismo de mistura entre as águas doces provenientes dos rios e as águas salgadas oriundas do ambiente marinho, bem como a resuspensão, transporte e deposição dos sedimentos, a formação de canais e bancos e a redistribuição de contaminantes que possam existir na área.

## Método

A área de abrangência de perfilagem acústica analisada consiste de sete transectos sendo três referentes ao trecho Baía do Sol-Marajó (Baía do Sol-Marajó000, Baía do Sol-Marajó001 e Baía do Sol-Marajó002), dois ao trecho Marajó-Baía de Santo Antônio (Marajó- Baía de Santo Antônio 000 e Marajó- Baía de Santo Antônio 001) e dois abrangendo o trecho Arapiranga-Santana (Arapiranga-Santana000 e Arapiranga-Santana001) com aproximadamente 21,80 Km, 16,64 Km e 18,97 Km, respectivamente, de perfilagem sísmica contínua cada um (Fig. 1). Para a aquisição dos dados foi utilizado o perfilador de subfundo do tipo chirp modelo SB-512i (X-Star) que emite o espectro de frequências na faixa de 0.5-12 kHz em pulsos FM WB ao longo de um intervalo de tempo pré-definido sendo equipado com um estabilizador hidrodinâmico e um flutuador para adaptar-se a velocidade média do sinal acústico que foi de 1.500

m/s tanto para a água quanto para o sedimento a fim de registrar a profundidade dos refletores sísmicos.

O tratamento dos dados foi realizado no software Discovery Subbottom 3.33 (Versão Demo), da EdgeTech o qual permitiu a visualização mais próxima do real da morfologia e dos estratos presentes. Contudo, foi necessário ainda o uso dos softwares: Surfer versão 9 e Adobe Photoshop CS3, nos quais foi possível compor os transectos para então serem analisados os perfis Baía do Sol-Marajó, Marajó-Baía de Santo Antônio e Arapiranga-Santana todos dispostos transversalmente ajustados em uma única escala gráfica e, por fim, efetuada a identificação, delimitação dos refletores presentes e as feições morfológicas registradas, respectivamente com base num maior detalhamento das imagens.

## Resposta e interpretação das seções sísmicas

A análise da arquitetura foi prejudicada em virtude do fraco sinal em subsuperfície em grande parte dos perfis. Portanto foi realizada uma comparação entre a morfologia encontrada nos perfis sísmicos e aquela recuperada das cartas náuticas da Marinha do Brasil onde foram reconhecidos os refletores sísmicos estabelecendo, dentro dos padrões de resposta acústica, a identificação das superfícies sísmicas além da geometria externa dos refletores permitindo uma interpretação geológica sistemática dos perfis sísmicos, principalmente no que diz respeito ao registro morfológico da região analisada fornecendo informações à cerca dos processos erosivo-deposicionais ocorridos.

## Perfis batimétricos

Foram recuperados três transectos transversais à baía de Marajó seguindo a mesma direção e profundidade dos perfis sísmicos levantados. As linhas batimétricas foram traçadas a partir das cartas náuticas digitais extraídas do site da DHN referentes ao Cabo do Maguari à Mosqueiro (carta 303) do dia 24/04/2007 e de Mosqueiro à Abaetetuba (carta 304) do dia 14/01/2010 sendo as imagens posteriormente digitalizadas nos softwares Global Mapper 11.0 e Surfer 9.0 para assim obter os perfis batimétricos de espaçamento de 10 em 10 metros delimitado a cada mudança de isolinhas.

## Resultados

### Descrição das unidades sísmicas

As Unidades Sísmicas (US) reconhecidas apresentam uma forte reflexão do sinal em superfície compondo-se de camadas delgadas variando a poucos metros de espessura e baixa amplitude entre si. Cada camada está associada a um refletor sísmico que acompanha a morfologia da área.

O Perfil Baía do Sol - Marajó compõe-se de duas US denominadas US 1 e US 2 assim detalhados ao longo do registro:

US 1 – Refletor cinza escuro. Constitui o Embasamento Acústico do Registro que aflora ainda na porção continental do perfil e por vezes nas proximidades do

banco. A partir do último canal tem continuidade até o final do perfil.

US 2 – Reflete uma camada transparente (médio a claro). A unidade é evidente no início da porção de declividade mais suave desaparecendo ainda na mesma. Na região onde a morfologia passa a ser mais movimentada, a unidade reaparece desaparecendo somente nas proximidades da borda do banco onde a partir daí aparece novamente permanecendo contínua até o final da seção.

No Registro Sísmico Marajó-Baía de Santo são encontradas três unidades sísmicas:

US 1 - Seu limite determina o Embasamento acústico da seção.

US 2 – Consiste na camada sedimentar temporalmente intermediária que repousa concordantemente ao Embasamento acústico. Aparece como um refletor de forte marcação.

US 3 - É a mais recente das Unidades sísmicas identificadas. A camada mostra-se mais fina das Unidades variando de tonalidade escura à transparente.

A seção Arapiranga-Santana apresenta duas US (US 1 e US 2) nas quais consistem de forte reflexão do sinal emitido podendo até ser confundidas.

US 1 – Demarca o Embasamento acústico da seção. Observa-se um refletor fortemente marcado com grande continuidade lateral aflorantes em determinados pontos do início ao fim do transecto.

US 2 – Consiste na camada mais jovem de forte reflexão do sinal, é menos escuro em relação a US 1 caracterizando uma superfície de sedimentos inconsolidados que por vezes desaparece lateralmente.

#### Descrição morfológica de superfície

O Perfil **A-A'** de direção SE/NW e profundidade média de 50 m, inicia no limite da baía do Sol (próximo a Colares) prolongando-se em direção NW às proximidades da ilha de Marajó (Fig. 3). Este perfil apresenta morfologia diversificada com declividade suave às proximidades da porção continental, margem direita da baía (Colares), à movimentada na porção insular. Essa movimentação é marcada pela existência de um sistema canais em número de três localizados onde a superfície passa à movimentada. Os canais têm aproximadamente 20 m de profundidade. As macrondulações (sandwaves) apresentam-se assimétricas, predominantes ao fundo dos canais, e simétricas ambas distribuídas ao longo das feições presentes. Há ainda um banco arenoso que vem formar parte da Coroinha (DHN, 2007) e uma barra lamosa reconhecidos a partir da interpretação de suas unidades sísmicas.

O perfil **B-B'** (Fig. 4) tem direção NW/SE e 40 m de profundidade. Inicia nas proximidades da ilha de Marajó (margem esquerda da baía) direcionando-se a SE até a proximidade inferior da ilha de Mosqueiro. A morfologia de fundo é bastante irregular em toda sua extensão a qual é ocasionado pela presença de sistemas de canais de marés do início ao fim do trecho. O primeiro sistema compõe três canais principais classificados como canal 1, canal 2 e canal 3 os quais evidenciam a morfologia mais profunda da área (em torno de 30 metros) formando um

sistema do tipo barra-canal. O segundo sistema é composto por canais menores concentrados na porção insular com canal mais profundo alcançando 20 metros.

Este perfil salienta a presença de três barras localizadas desde o lado continental até o insular e um banco arenoso. As sandwaves são registradas superimpostas tanto no banco quanto no fundo dos canais evidenciando as partes de maior dinâmica do terreno.

O perfil **C-C'** (Fig. 5) possui 50 metros de profundidade com direção SE/NW. Tem início nas proximidades da ilha de Arapiranga prolongando-se em direção NW até margem esquerda da Baía de Marajó.

A morfologia apresenta-se homogênea com dois canais suavizados em todo trajeto. Observa-se ainda a presença de duas barras cujo refletor indica serem de composição lamosa a oeste e leste do perfil e um banco arenoso em sua posição leste.

Os canais estão localizados na extremidade oeste e porção central, respectivamente, do perfil sendo encontradas sandwaves ao fundo do primeiro canal (mais profundo) atingindo 30 metros de profundidade.

#### Conclusão

A Baía de Marajó é um sistema dinâmico, complexo e variável, fato evidenciado pela identificação do conteúdo sedimentar superficial de fundo a partir das Unidades Sísmicas reconhecidas.

O padrão acústico apresentado pelas US revelou-se uniforme nas três seções analisadas, ou seja, as US1 e US 2 identificadas na primeira seção têm a mesma resposta acústica aquelas identificadas na segunda e terceira seções respectivamente com exceção da US 3 identificada somente na segunda seção. Portanto, tal padrão permitiu classificar as respectivas áreas como sendo composta basicamente de sedimentação fina (silte-argilosos) consolidados e sedimentos inconsolidados como areia, ambos depositados em regime hidrodinâmico de menor e maior energia respectivamente.

Os resultados aqui apresentados a partir da relação entre as características morfológicas das seções sísmicas com as batimétricas indicam duas áreas (setores oeste e leste) na baía de Marajó com diferenças significativas na dinâmica sedimentar e de circulação. No setor oeste predomina o relevo de bancos, canais e barras arenosos depositados sob um regime de hidrodinâmica forte onde predominam as correntes de maré e fluviais. Já na margem leste da baía de Marajó constitui relevo mais suave e com canais localizados junto às margens compondo sedimentos mais finos depositados provavelmente por decantação.

O mapeamento acústico (sísmica rasa) permitiu o reconhecimento detalhado da morfologia superficial de fundo das áreas analisadas e a identificação do conteúdo sedimentar que as compõe ficando evidente que os dados de perfilagem sísmica, por apresentarem alta resolução e grande precisão, garantem interpretações satisfatórias contribuindo na integralização do contexto geofísico regional.

## Referências

Ab' Sáber, A. N. Paisagens de exceção: O litoral e o pantanal mato-grossense: Patrimônios básicos. São Paulo: Ateliê editorial, 2006.

Ayres Neto, A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. Rev. Bras. Geof., 2001.

Corrêa, I. C. S. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó-PA. Pesquisas em Geociências, v. 32, n. 2, p. 109 – 118. 2005.

Diégues, F. M. F. 1973. Introdução à oceanografia do estuário Amazônico In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26., 1973, Belém. Anais. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia. V.2, p.301-18.

DHN, 1976. Roteiro - Costa Norte - Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Rio de Janeiro. DH 1-9, cap. II, p.: 43-125.

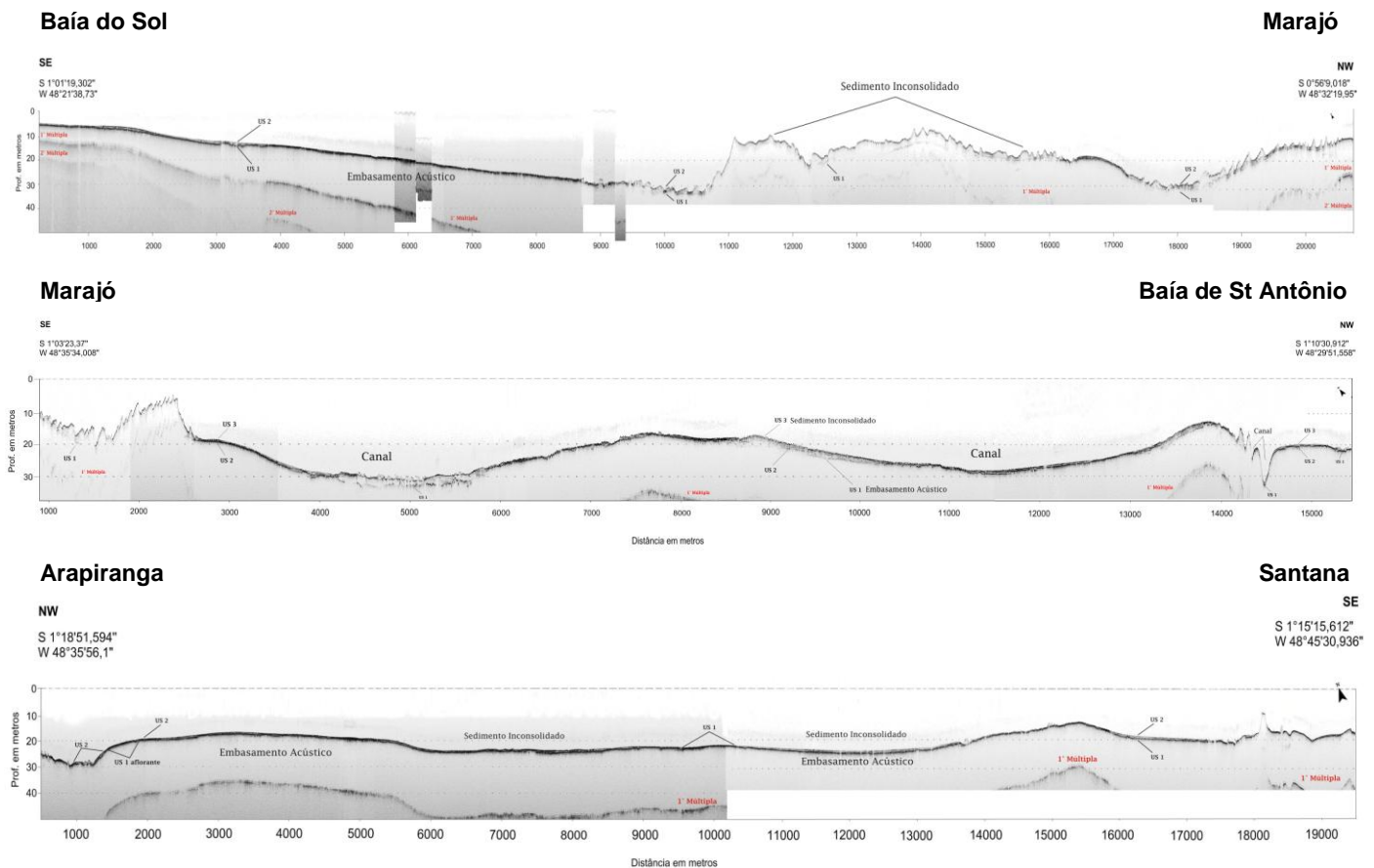
Martins, S. E. M.; Caracterização Sedimentológica de fundo da área de influência do Porto de Vila do Conde - margem leste do Rio Pará, Barcarena/PA. 2007. Instituto

de Geociências. UFPA. Trabalho de Conclusão de Curso, 64p.

Passos, M. M., 2008. Evolução Sedimentar Holocênica da Baía de Vitória – ES: Uma Visão Sismo-estratigráfica., Departamento de Ciências Humanas e Naturais. UFES. Trabalho de Conclusão de Curso. 77p.

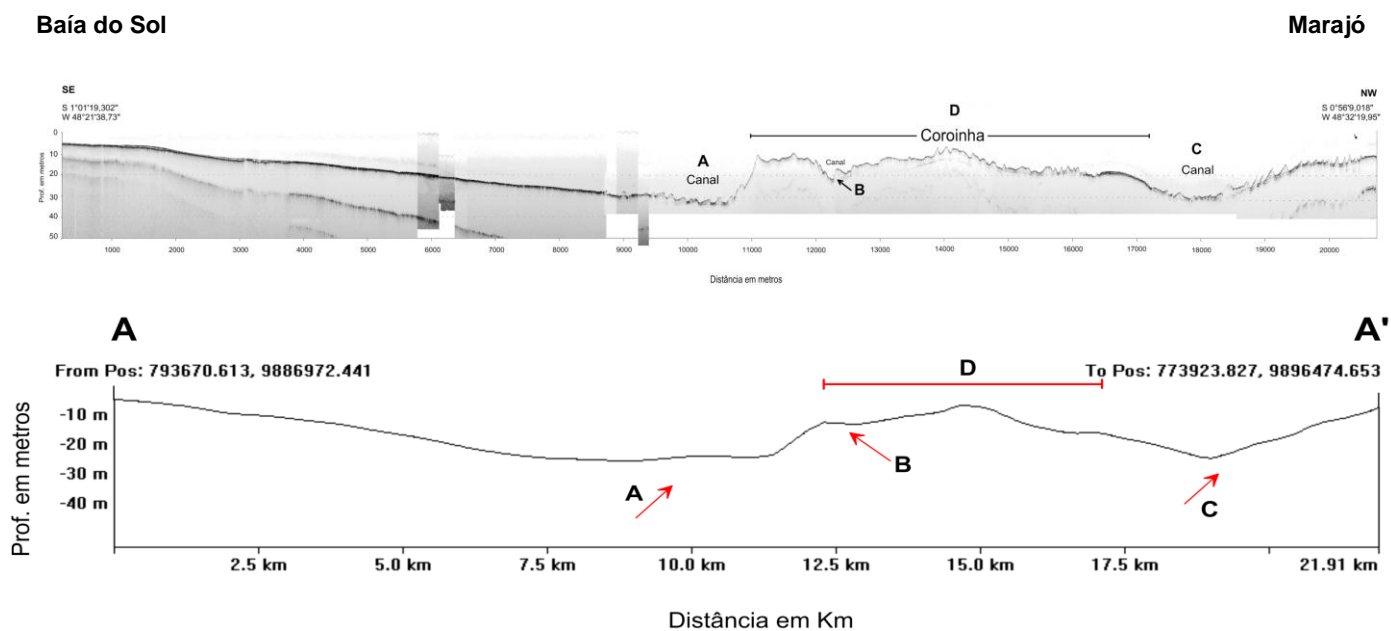
Souza, L. A. P. de. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Dissertação de mestrado – Mestrado em Oceanografia Química e Geológica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006. 311p.

## Figuras



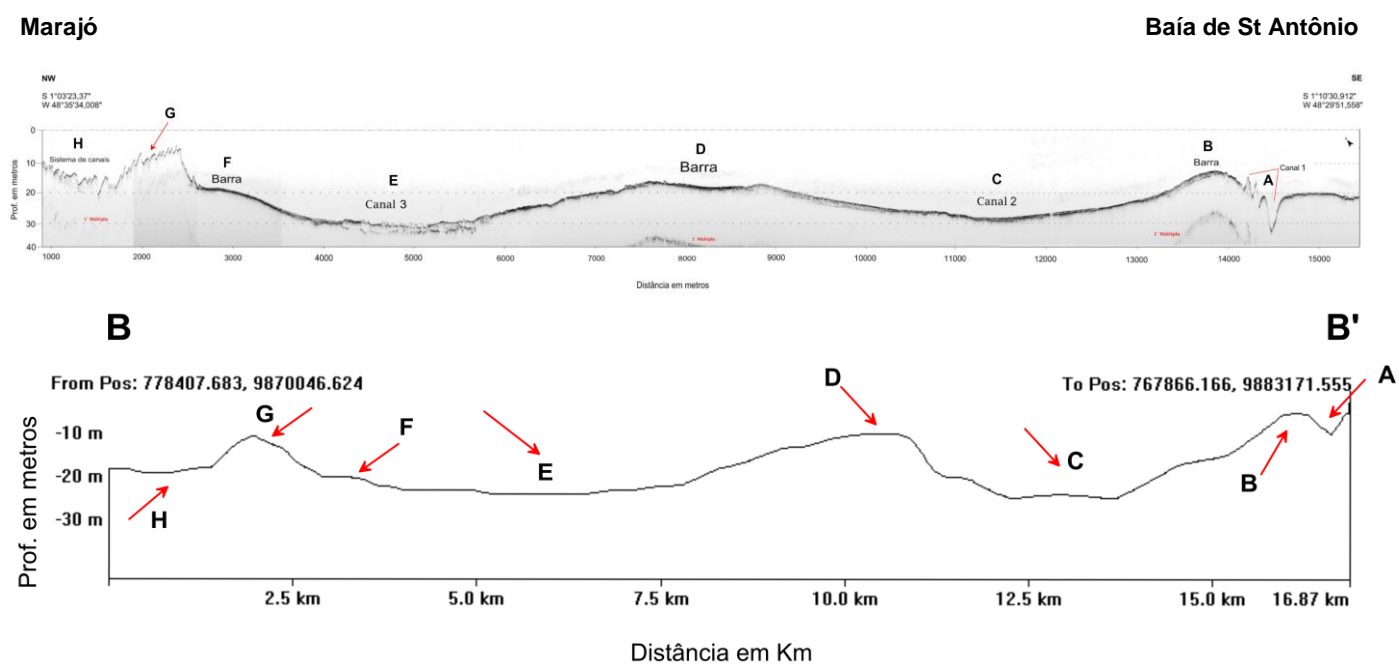
**Fig. 2-** Perfis sísmicos com o reconhecimento das US referentes aos trechos Baía do Sol-Marajó, Marajó-St Antônio, Arapiranga-Santana.

## Registro Morfológico Comparativo Baía do Sol-Marajó



**Fig 3-**Perfis sísmico e batimétrico do trecho Baía do Sol-Marajó. As letras mostram a relação morfológica existente entre os perfis.

## Registro Morfológico Comparativo Marajó-Baía de Santo Antônio

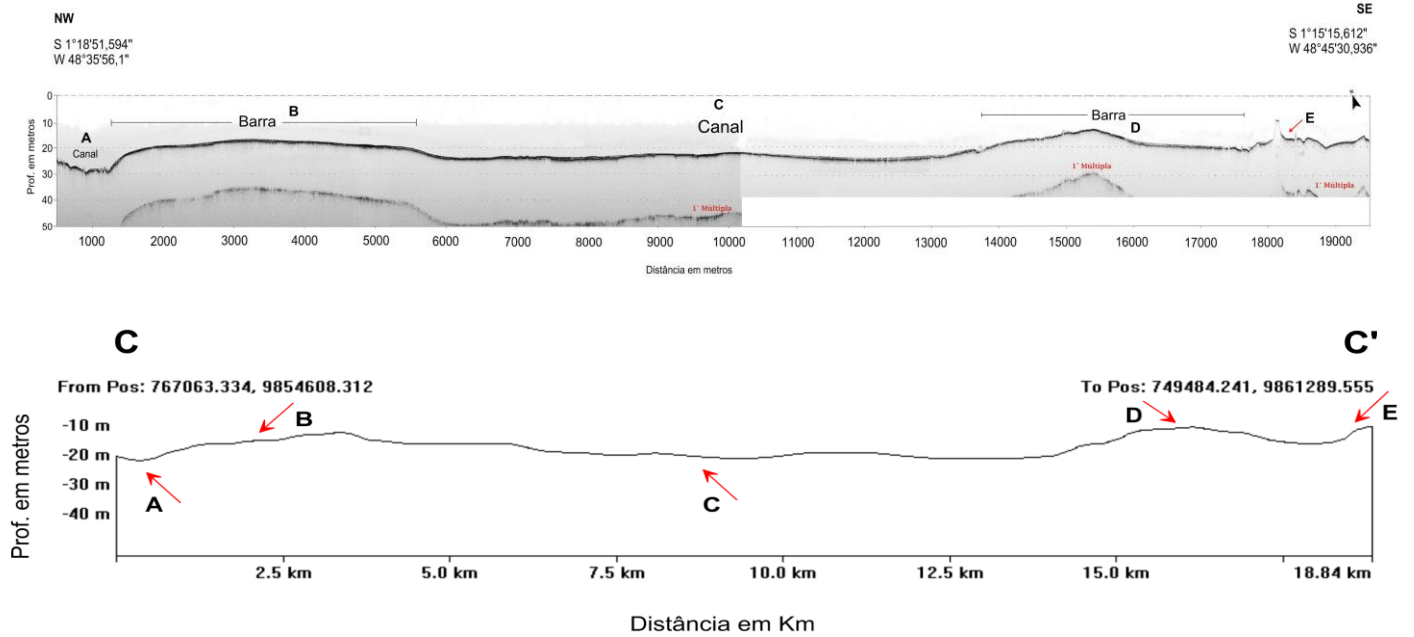


**Fig. 4-**Perfis sísmico e batimétrico do trecho Marajó-Baía de Santo Antônio. As letras mostram a relação morfológica existente entre os perfis.

## Registro Morfológico Comparativo Arapiranga-Santana

Arapiranga

Santana



**Fig. 5-** Perfis sísmico e batimétrico referente ao trecho Arapiranga-Santana. As letras mostram a relação morfológica existente entre os perfis.