



**Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Faculdade de Oceanografia
Trabalho de Conclusão de Curso**

Lidiane Cristina Lima de Araújo

**ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO MORFOLÓGICA A PARTIR DE
SEÇÕES SÍSMICAS RASAS NA PORÇÃO CENTRAL DA BAÍA
DE MARAJÓ-PA.**

**BELÉM – PA
2011**

Lidiane Cristina Lima de Araújo

**ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO MORFOLÓGICA A PARTIR DE
SEÇÕES SÍSMICAS RASAS NA PORÇÃO CENTRAL DA BAÍA
DE MARAJÓ-PA.**

**Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à Faculdade
de Oceanografia do Instituto de
Geociências da Universidade
Federal do Pará, para obtenção
do título de Bacharel em
Oceanografia.**

**Orientador: Dr(a) Odete Fátima
Machado da Silveira**

**BELÉM – PA
2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

A663a Araújo, Lidiane Cristina Lima de

Análise e interpretação morfológica a partir de seções sísmicas rasas na porção central da baía de Marajó-Pa / Lidiane Cristina Lima de Araújo; Orientadora: Odete Fátima Machado da Silveira – 2011

76 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Sísmica rasa. 2. Sismo-Estratigrafia. 3. Morfologia superficial de fundo. 4. Perfis batimétricos. 5. Baía de Marajó (PA). I. Silveira, Odete Fátima Machado da, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20º ed.: 550.98115

Lidiane Cristina Lima de Araújo

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

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Oceanografia da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Data da Defesa: ___/___/___

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Odete Fátima Machado da Silveira – Orientadora
Doutora em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Marcelo Rollnic - Membro
Doutor em Oceanografia Física
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Alberto Leandro de Melo - Membro
Mestre em Geofísica
Universidade Federal do Pará (UFPA)

**Àquela que desde o meu
primeiro momento de vida não
hesitou em sacrificar a sua se
tornando minha fortaleza e
ensinando que para
merecermos temos qubuscar.
Mãe, essa vitória é nossa!**

AGRADECIMENTOS

A Deus, a quem agradeço a vida e nela todos os momentos em que estava comigo a me guiar colocando em meu caminho pessoas de bem principalmente nesses cinco anos de jornada. Obrigada Pai!

Aos meus pais Francisca (Quinha) e Luíz (Lula) por serem a base da minha formação pessoal e profissional, que com todo amor lutaram para proporcionar a mim e minhas irmãs Lílian e Liliane toda educação necessária a fim de nos tornarmos “aquilo” que não puderam dispor. E às minhas queridas irmãs, não posso deixar de agradecer pelas lições e “puxões” de irmãs mais velhas. Amo vocês incondicionalmente.

Não posso deixar de agradecer ao meu irmão de coração Marcelo cabeludo a quem confio grandes favores em minha vida. Serei eternamente grata e espero um dia retribuir todo incentivo a mim concedido.

Agradeço à Professora Doutora Odete Silveira que mais do que orientadora acadêmica é sem dúvidas uma mãe que orienta seus alunos para a vida, sempre enxergando o que eles têm de melhor a oferecer. Muito obrigada pela paciência, pelos ensinamentos e pela confiança. Espero levar comigo um pouco do seu profissionalismo.

À Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências e Universidade Federal do Pará aos quais dediquei os longos e pequenos anos de minha graduação se tornando o meu segundo lar, berço de aprendizado além do profissional.

Agradeço à banca examinadora Professor Doutor Marcelo Rollnic e o Mestre Alberto Leandro de Melo, por disponibilizarem seus tempos na avaliação deste trabalho.

Um agradecimento especial à galera da Geofísica a quem tive o prazer de conhecer e contar com a ajuda no desenvolver deste trabalho. Em especial ao Catete que na época estava prestes a defender sua dissertação de mestrado e mesmo assim dedicou um pouco do seu tempo a me ajudar no processamento dos meus perfis. E ao Rodrigo – o “Velho” - hoje Geofísico, sempre com boa vontade ao compartilhar seus conhecimentos comigo. A você mais do que um obrigada minha enorme admiração.

À família Oceano 2006 com quem dividi momentos inesquecíveis nesses cinco anos sejam eles os alegres outros nem tanto, mas valeu os papos na BR (Beira do Rio) depois de longas horas de almoço no RU, as viagens de campo onde trabalhar nunca foi tão divertido com essa turma, as saídas nos fins de semana ou no meio delas e porque não os dias de prova onde quase sempre ninguém sabia nada ou pelo menos pensávamos que não sabíamos. A cada um: Aline, Adjalbas, Ellen, Fran (mãe do ano), Glauci, Laíssa, Lygia, Manu, Márcio (mentirinha), Nara (fiel escudeira), Ruthinha, o meu muito obrigada!

Em especial agradeço aquela que aos poucos se mostrou amiga incomparável dentro e fora da universidade. Valeu Elow's (minha "mulher") que hoje é muito importante na minha vida de todas as formas.

Aos companheiros lioguininos e agregados: Gordo mesmo com seu jeito peculiar (ogro de ser) não conseguiu esconder o quanto amigo pode ser e que grande profissional é, Diego Preto, Diego Xará, Tetéia, Japa, Aderson (Negão) e seus campos pra lá de empolgantes, Alan (Fashion), Dani e aos recém chegados obrigada pelos momentos mais engraçados e irritantes de nossa convivência, vocês estarão sempre em um lugar especial na minha memória.

À querida Laysa e sua família que me acolheu na sua casa com toda receptividade. Obrigada minha amiga!

Aos meus amigos de longa data: Natasha (Sashinha) e a família Carvalho, Karina (Biquinho), André (god), Rose, Paulinha, Rafael que são peças fundamentais na minha vida e que o destino ainda mantém ao meu lado. Amo vocês!

Por último, porém não menos importante sou grata a uma pessoa que há pouco tempo entrou na minha vida, mas o suficiente para nela causar transformações notáveis. A você, Dean Leal, obrigada pela paciência, compreensão e o companheirismo peculiares que me tornam importante na sua vida e principalmente, ao sentimento sincero que me faz sentir ao seu lado.

Ofereço meus sinceros agradecimentos, a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Que Deus abençoe a todos!

Uma boa cabeça e um bom coração são
sempre uma formidável combinação.

Nelson Mandela

RESUMO

Este trabalho é parte dos projetos de pesquisa tecnológicos “PIATAM-mar” (Potenciais Impactos Ambientais do Transporte de Petróleo e Derivados na Zona Costeira Amazônica), “AMASIS” (Integração de dados Geofísicos, Geológicos e Geoquímicos na Reconstituição da Paleogeografia da Costa Amazônica do Terciário ao Recente) e “PLAT-NNE” caracterização fisiográfica da plataforma continental: Áreas Touros (NE) e foz do Amazonas (N)), com a parceria da Petrobras. A baía de Marajó está inserida no complexo estuarino marajoara que se inicia na baía das Bocas abrangendo o rio Pará. Sendo essa região carente de informações de cunho geofísico, o trabalho vem contribuir para o conhecimento de parte da área na interpretação e o reconhecimento da morfologia superficial de fundo a partir de seções sísmicas de alta resolução juntamente com a confecção de perfis batimétricos. O levantamento sísmico foi realizado nos dias 15 e 16/03/06 a bordo do barco “Velho Chico”. Dos 19 perfis levantados, sete abrangem a área analisada da baía do Sol à ilha de Santana interpretados com o uso dos *softwares Discovery Subbottom 3.33 (Versão Demo)*, e do *Surfer9* e *Adobe Photoshopcs3* onde foram compostos três perfis numa escala gráfica cada um. Os perfis batimétricos foram confeccionados a partir da carta náutica 2007 utilizando o *software Global Mapper*. Foi utilizado o perfilador de subfundo do tipo *chirp* modelo *SB-512i (X-Star)* de frequências 0.5-12 kHz em pulsos FM WB e o DGPS. O padrão acústico apresentado pelas três Unidades sísmicas identificadas revelou-se uniforme nas três seções analisadas, sendo compostas basicamente de sedimentação fina (silte-argilosos) e areias depositados em regime hidrodinâmico de menor e maior energia respectivamente. A relação entre as morfologias das seções sísmicas e batimétricas indicaram duas áreas (setores oeste e leste) na baía de Marajó com diferenças na dinâmica sedimentar e de circulação tendo no setor oeste a predominância de bancos, canais e barras arenosos depositados sob hidrodinâmica forte e no leste um relevo mais suave e canais localizados junto às margens compondo sedimentos mais finos característica de ambiente deposicional. A sísmica rasa permitiu o detalhamento da morfologia superficial e fundo, já que garantem dados com alta resolução e grande precisão. Com uma larga integração das correntes fluviais e correntes de marés, classifica-se o estuário da baía de Marajó como um ambiente altamente dinâmico e de energia mista.

Palavras-chave: Sísmica rasa. Sismo-Estratigrafia. Morfologia superficial de fundo. Perfis batimétricos. Baía de Marajó (PA).

ABSTRACT

The work is part of the research projects technologiques PIATAM-sea "(Potential Environmental Impacts of Transport Petroleum Products in the Amazon coastal zone)," AMASIS "(Integration of Geophysical, Geological and Geochemical Reconstruction of the palaeogeography of the Coast Amazon Tertiary to Recent) and "PLAT-NNE" characterization of the physiographic continental shelf: Bulls Areas (NE) and the Amazon estuary (N)), in partnership Petrobras. The bay is part of Marajo marajoara estuarine complex that begins in the Bay of Bocas spanning the river Para. Since this region lacks stamp of geophysical information, the paper adds to the knowledge of the area in the interpretation and recognition of surface morphology background from high-resolution seismic sections along with the production of bathymetric profiles. The seismic survey was conducted on 15 and 03.16.2006 on board the boat "Velho Chico". Profiles of the 19 surveyed, seven cover the measured area of the bay to the island of the Sun Santana interpreted with the use of software Discovery Subbottom 3.33 (Demo Version), and Adobe and Surfer9 Photoshopcs3 compound where they were three profiles in each graphic scale. The bathymetric profiles were made from 2007 nautical chart using the Global Mapper software. Profiler was used to chirp like compartment model SB-512i (X-Star) of frequencies 0.5-12 kHz pulsed FM WB and the DGPS. The acoustic pattern displayed by the three seismic units identified proved to be uniform in the three sections analyzed, being composed primarily of fine sediment (silt-clay) and sand deposited in the hydrodynamic regime of lower and higher energy respectively. The relationship between the structure of the seismic and bathymetric indicated two areas (western and eastern sectors) in the Bay of Marajo with differences in sediment dynamics and circulation in the western sector with the predominance of banks, channels and sand bars deposited under strong hydrodynamic and east a softer and relief channels located along the banks composing finer sediments characteristic of the depositional environment. The shallow seismic allowed the details of the surface morphology and bottom, because it guarantees data with high resolution and high accuracy. With a broad integration of river currents and tidal currents, ranks the estuary of the Bay of Marajo as a highly dynamic environment and energy mixed.

Keywords: Seismic rasa. Seismic-stratigraphy. Surface morphology of the fund.
Bathymetric profiles. Marajó Bay (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Região de estudo: baía de Marajó.	21
Tabela 1	Unidades morfológicas e ambientes costeiros.	22
Figura 2	Perfilagem Sísmica Contínua: geometria do arranjo para aquisição de dados.	28
Figura 3	Padrões de configurações de fácies sísmicas.	31
Tabela 2	Parâmetros de Reflexão Sísmica usados em Sismoestratigrafia e seus Significados Geológicos.....	32
Figura 4	Geometrias externas típicas de algumas unidades de fácies sísmicas.	33
Figura 5	Comparação dos níveis de detalhamento com a Estratigrafia de Sequências.	35
Figura 6	Representação esquemática de um estuário mostrando suas divisões entre as zonas superior, médio e inferior.	37
Figura 7	Tipos básicos de estuários de acordo com características geomorfológicas.	38
Figura 8	Distribuição de A) Tipos de energia, B) Elementos morfológicos na planície, C) Fácies sedimentares na seção longitudinal dentro de um estuário dominado por maré. UFR = regime de fluxo superior; M.H.T. = média da maré alta.....	40
Figura 9	Localização dos perfis sísmicos e batimétricos coletados entre a Baía do Sol e Arapiranga.	42
Figura 10	Perfilador de subfundo do tipo <i>chirp</i> modelo <i>SB-512i (X-Star)</i> . .	43
Figura 11	Perfil transversal bruto Baía do Sol-Marajó 000 a partir do <i>software ReflexW 5.0</i>	45

Figura 12	Perfil transversal Baía do Sol-Marajó 000 processado no <i>Reflexw 5.0</i> . Filtração (1D Dewon e Passa banda de frequência) e migração (migração Kirchoff).	45
Figura 13	Perfil transversal Baía do Sol-Marajó 000 processado diretamente do <i>Discovery Sub-bottom</i> versão 3.33.	47
Figura 14	Fluxograma geral com etapas de processamento sísmico.....	48
Figura 15	Mapa de distribuição das classes hidrodinâmicas inferido por Pejrup (1988) para a Baía de Marajó.....	50
Figura 16	Na seção Baía do Sol-Marajó são identificados 2 Unidades Sísmicas sendo que a Unidade 1 constitui o Embasamento Acústico aflorante em grande parte da seção a Unidade 2 a área que abrange o pacote sedimentar inconsolidado.	52
Figura 17	Na seção Marajó-Baía de St Antônio são identificados 3 Unidades Sísmicas sendo que a Unidade 1 constitui o Embasamento Acústico e a Unidade 2 e 3 as áreas que abrangem os pacotes sedimentares inconsolidados. Unidade Sísmica 2 por vezes se mostra aflorante na seção.....	55
Figura 18	Na seção Arapiranga-Santana são identificados 2 Unidades Sísmicas sendo que a Unidade 1 constitui o Embasamento Acústico e a Unidade 2 a área que abrange o pacote sedimentar inconsolidado.	57
Figura 19	Perfis sísmico e batimétrico referente ao trecho Baía do Sol-Marajó. As letras mostram a relação morfológica existente em ambos os perfis.	60
Figura 20	Registro Sísmico Composto mostrando regiões onde as Sismo-Unidades são evidentes (A e B) e a porção onde aflora (D). As porções que apresentam as <i>sandwaves</i> denotam áreas com maior dinamismo.	62

Figura 21	Perfis sísmico e batimétrico referente ao trecho Marajó-Baía de St Antônio. As letras mostram a relação morfológica existente em ambos os perfis.	65
Figura 22	Registro Sísmico Composto mostrando regiões onde as Sismo-Unidades são evidentes (A e B). A porção que apresenta a <i>sandwave</i> (C) e a porção que denota maior dinamismo.	67
Figura 23	Perfis sísmico e batimétrico referente ao trecho Arapiranga-Santana. As letras mostram a relação morfológica existente em ambos os perfis.	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	Objetivo Geral	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
1.2	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
1.2.1	Localização	20
1.2.2	Aspectos Fisiográficos	22
1.2.3	Geomorfologia	22
1.2.4	Geologia do Nordeste Paraense (baía de Marajó e rio Pará)	24
1.2.5	Aspectos Hidrodinâmicos	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1	SISMO-ESTRATIGRAFIA.....	26
2.1.1	Abordagem Geral	26
2.1.2	Sísmica	26
2.1.3	Interpretação Sismo-Estratigráfica	29
2.1.4	Padrões de Terminações de Reflexões	30
2.1.5	Fácies Sísmicas	30
2.1.6	Sismo-Estratigrafia em Sísmica Rasa	34
2.2	AMBIENTE ESTUARINO.....	36
2.2.1	Fácies em Estuários Dominados por Maré	39
3	MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1	LEVANTAMENTO SÍSMICO.....	41
3.2	PROCESSAMENTO SÍSMICO.....	43
3.3	RESPOSTA E INTERPRETAÇÃO DAS SEÇÕES SÍSMICAS.....	49
3.4	PERFIS BATIMÉTRICOS.....	4
3.5	HIDRODINÂMICA.....	50

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	DESCRIÇÃO DAS UNIDADES SÍSMICAS.....	51
4.2	DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DE SUPERFÍCIE.....	58
5	CONCLUSÕES	71
	REFERÊNCIAS	73

INTRODUÇÃO

A área de pesquisa do presente estudo está inserida no complexo estuarino marajoara que se inicia na baía das Bocas abrangendo o rio Pará e a baía de Marajó.

O rio Pará é um conjunto hidrográfico formado por inúmeros rios que nele desembocam e ainda por contribuições do rio Amazonas, através das vazões veiculadas nos Estreitos de Breves e Boioçú. Esse conjunto dá origem a uma sucessão de baías e enseadas que se estendem ao longo de toda costa sul da ilha de Marajó e o continente, iniciando a baía de Marajó (MARTINS, 2010). Esta tem sido alvo de crescentes investigações em resposta ao entendimento da evolução de seu ambiente costeiro principalmente no que se refere à geologia e hidrodinâmica que são de fundamental importância para a compreensão da dinâmica local.

Os primeiros resultados geofísicos obtidos sobre a região marajoara são da bacia de Marajó a partir de dados de gravimetria e magnetometria e resultados em subsuperfície através de levantamentos e perfuração de poços ambos apresentados por Ludwing apud Villegas (1994) denominando de bacia da Foz do Amazonas ao conjunto de bacias interiores (Marajó, Bragança e São Luis) e exteriores (Barreirinhas e Salinópolis), na região norte.

Nesse contexto a estratigrafia sísmica ou sismo-estratigrafia insere-se como sendo um método estratigráfico de interpretação de dados sísmicos que permite, de acordo com Ribeiro (2000), uma melhor compreensão da evolução tectono-sedimentar de uma bacia.

A utilização do método sismo-estratigráfico em ambientes estuarinos como a baía de Marajó é fundamental, já que sistemas estuarinos são componentes da paisagem costeira de papel culminante no ciclo sedimentar promovendo trocas entre o ambiente marinho e continental a especificar o aporte de sedimentos provenientes da descarga fluvial. Sua existência está relacionada às variações relativas do nível do mar e à razão de sedimentação tornando o conhecimento de seu processo evolutivo de fundamental importância para a compreensão do ambiente.

Uma vez que a baía de Marajó é carente de informações de cunho geofísico, o presente trabalho vem contribuir para o conhecimento da área a partir de resultados e interpretação dos dados de levantamento sísmico de alta resolução, utilizando a técnica de perfilagem de subfundo e assim integrá-la ao contexto geofísico regional.

O trabalho aqui apresentado está vinculado ao projeto de pesquisa tecnológicos “PIATAM-mar” (Potenciais Impactos Ambientais do Transporte de Petróleo e Derivados na Zona Costeira Amazônica) e do projeto “AMASIS” (Integração de dados Geofísicos, Geológicos e Geoquímicos na Reconstituição da Paleogeografia da Costa Amazônica do Terciário ao Recente) e “PLAT-NNE” (Monitoramento ambiental de áreas sob a influência da indústria petrolífera – caracterização fisiográfica da plataforma continental: Áreas Touros (NE) e foz do Amazonas (N)) e pretende fornecer informações a respeito da geofísica e geomorfologia em parte da baía de Marajó a partir de ferramentas e processos tecnológicos para o enriquecimento da base de dados na área em questão. Os projetos tiveram parceria com a Petróleo Brasileiro S.A (Petrobras).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 **Objetivo Geral**

O objetivo principal deste trabalho é a análise de perfis sísmicos de alta resolução na porção central da Baía de Marajó e o reconhecimento e interpretação 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.

1.1.2 **Objetivos Específicos**

- Reconhecimento e interpretação das subunidades sísmicas utilizando o método Sismo-Estratigráfico;
- Confeccionar e interpretar os perfis batimétricos a partir de dados coletados de cartas náuticas da DHN a fim de comparar com a morfologia das seções sísmicas;
- Contribuição na geração de dados e elaboração de resultados futuros para o entendimento do panorama sísmico da região.

1.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

1.2.1 Localização

O setor do rio Pará, entre a região de Belém e a costa sul-sudeste da ilha de Marajó, consiste em um estuário que se inicia na baía das Bocas (delta de Boiçu/Breves), prossegue pelo chamado rio Pará, áreas em que recebe toda a massa de águas do rio Tocantins e inclui uma pequena baía em frente à Belém, a altura do emboque dos rios Guamá/Mojú/Acará/Capim, passando à alongada boca do complexo estuarino terminal onde recebe o nome de baía de Marajó. (AB'SABER, 2006; MARTINS, 2007).

A baía de Marajó, segundo El-Robrini (1990), é uma grande "ria" afogada durante a última transgressão marinha +2/+3 m (Transgressão Flandriana, - 6000/-700 anos) sendo parcialmente mascarado pelo advento recente de planícies de marés, comportando manguezais frontais e laterais aos sucessivos estuários oriundos da invasão marinha do início do Holoceno (AB'SABER apud MARTINS, 2010). Juntamente com o rio Pará é considerada uma das desembocaduras do rio Amazonas (Canal Norte) que recebe contribuições sedimentares e de água doce dos rios Pará e Tocantins e também da baía de Guajará. (SOUZA, 2006).

A área estudada (figura 1) compreende trechos transversais que inicia na baía do sol, proximidades a ilha de Colares, até a ilha de Arapiranga abrangendo uma extensão de aproximadamente 57,41 Km. Estes 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.

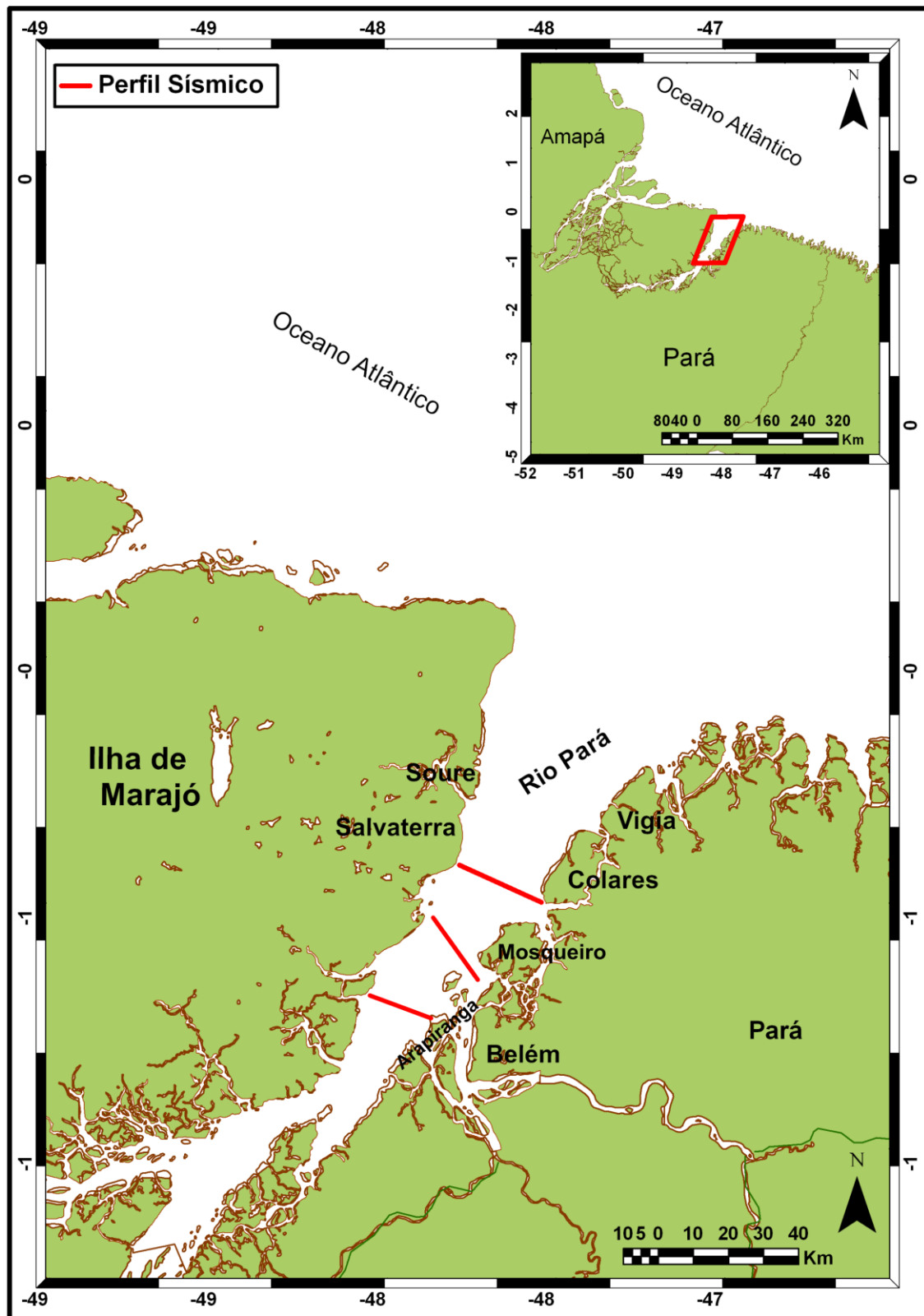


Figura 1: Região de estudo: baía de Marajó. As retas de cor vermelha indicam a posição dos perfis sísmicos coletados.
 Fonte: Elaborado por Artur Gustavo Miranda.

1.2.2 Aspectos Fisiográficos

1.2.3 Geomorfologia

A região apresenta níveis topográficos pouco elevados, sobretudo nas ilhas sujeitas, em parte, a inundações. Barbosa et. al. (1974) identificam o relevo marajoara em três feições características, sendo estas, as planícies fluviais, na porção leste, as planícies fluviais em processo de colmatagem, a oeste, e a região central as superfícies pediplanadas todas inseridas em duas unidades morfoestruturais predominantes dentre sete identificadas ao longo da Folha AS-22-Belém denominadas de Planalto Rebaixado da Amazônia e Planície Amazônica (PROJETO RADAM, 1974).

Neste contexto foram reconhecidas as duas unidades morfoestruturais e quatro unidades morfológicas (unidades de paisagem), a partir da abordagem proposta por Ross (1996), que estabelece táxons para classificação geomorfológica (tabela1).

Tabela 1: Unidades morfológicas e ambientes costeiros mapeados segundo a metodologia de Ross (1996).

Unidades morfológicas	Unidade de paisagem
Planalto Rebaixado da Amazônia	Regiões de terra firme
Planície Amazônica	Planície aluvial (regiões de várzea) “Praias” fluviais Canais fluviais

Fonte: Modificado de BOULHOSA (2007) & MARTINS (2007)

Planalto Rebaixado da Amazônia (do Baixo Amazonas)

O Planalto Rebaixado da Amazônia (do Baixo Amazonas) é a unidade de maior extensão nesta área, constituindo inclusive a área aqui investigada. Esta unidade de relevo corresponde à superfície do Pediplano Pleistocênico.

O Pediplano Pleistocênico é o responsável pela extensa topografia baixa da folha SA-22 Belém, sendo encontrados em alguns locais bem conservado como ao longo dos Rios Pará e Tocantins.

A fragmentação pós-Pleistocênica ocorre, em geral, por planícies fluviais. Na Ilha de Marajó, a superfície mostra-se cortada por uma intrincada rede de drenagem constituída por furos e igarapés.

Levando em consideração os aspectos geomorfológicos ao longo das costas da Baía marajoara, a área estudada pode ser classificada de acordo com Franzinelli (1976) como “*Costa alta com falésias esculpidas nos depósitos silte-argilosos avermelhados do Grupo Pará com praias inclinadas e planos de maré limitados*” onde na base das falésias são encontrados blocos e matacões de arenito limonítico ou “Grés Pará” denso e compacto com estruturas sedimentares do arenito, do qual foi originado, ainda conservados. Em relação às praias, estas têm inclinação média e planos de marés reduzidos tal como o trecho Salvaterra – Rio Camará onde a falésia possui altura (máxima) de 1 m em Joanes.

Dentre os parâmetros geomorfológicos, a caracterização da drenagem constitui-se em elemento de grande significado para o mapeamento de lineamentos morfoestruturais, podendo revelar importantes informações relativas ao contexto tectônico. Estudos anteriores revelam que canais fluviais da Amazônia, tanto atuais, quanto passados, têm controle estrutural (RADAM 1974, BEMERGUY 1997, 1981, ROSSETTI et al. 2007, 2008a,b). Particularmente, em áreas de altitudes muito baixas, como é o caso da Ilha do Marajó e adjacências, a análise de drenagem torna-se de especial interesse na caracterização geológica do terreno. Estudo recente apresentou resultados deste tipo de investigação no leste da Ilha do Marajó (ROSSETTI et al. 2008a), porém inexistem trabalhos do gênero para o restante da região.

1.2.4 Geologia do Nordeste Paraense (baía de Marajó e rio Pará)

Como já mencionado, a ocorrência da costa de rias presentes na região foi mascarada durante o último período transgressivo pelo advento parcial de planícies de marés que compreende manguezais frontais e laterais aos sucessivos estuários oriundos da invasão marinha do início do Holoceno comprovados ainda por imagens de radar e observações em campo (AB'SABER apud MARTINS, 2010). Esta costa de rias, sob condições tropicais e forte sedimentação fluvio-marinha, acabou por favorecer um litoral rasamente indentado no qual sucederam as indentações rasas da atual costa de mangues frontais, com estuários estendidos.

Na área do estuário do rio Pará, que abarca o setor oriental do Golfão Marajoara, percebe-se um padrão diverso de compartimentação morfológica costeira, no que diz respeito à associação entre as feições de relevo e os tipos de costa. Sob a forma de um nível de terraço intermediário, mantido por lateritas, essa parte da região existe desde o Pleistoceno médio para o superior, antes da regressão pré-holocênica do nível do mar, ocorrente entre 13.000 e 20.000 anos AP.

O Golfão marajoara (que dá origem ao nível Belém-Marajó anteriormente à formação dos depósitos pleistocênicos) se manteve ativo por quase todo o pleistoceno médio e superior, servindo de largo funil para os afogamentos eustáticos da calha inferior e média do Amazonas da época, o que respondeu, parcialmente, pelo represamento de águas e espessamento rápido da pilha de sedimentos aluviais pleistocênicos e holocênicos, até mais de 1000 km para o interior (MARTINS, 2010).

Sobre a geologia, compreende sedimentos do Terciário (Formação Barreiras) e do Quaternário. A Formação Barreiras (Mioceno), de constituição faciológica variada com sedimentos de origem flúvio-marinha a fluvial (ROSSETTI, 2001), aparece como a base litológica principal do modelado, sustentando a série de relevos tabulares, aplainados e/ou rebaixados do "Planalto Rebaixado da Amazônia". Contudo, os sedimentos Barreiras, os quais foram laterizados e retrabalhados após sua deposição (ROSSETTI, 2001), aparecem descontínua e extensivamente recobertos por depósitos amarelados, de constituição arenoargilosa (Sedimentos Pós-Barreiras/Plio-Pleistoceno), quando em terrenos planálticos, ou, de outra forma, pelos sedimentos

inconsolidados, lamosos e/ou arenosos, que formam as planícies e demais acumulações atuais e sub-atuais.

1.2.5 Aspectos Hidrodinâmicos

Pritchard (1967) sugere que “um estuário é um corpo de água costeiro, semi-fechado, com livre comunicação com o mar no qual a água salgada é mensuravelmente diluída com a água doce oriunda da drenagem continental”. Partindo desse princípio, os principais fatores que interagem na penetração da maré salina são as oscilações das marés, a morfologia do estuário, a vazão de água fluvial, a evaporação e a precipitação na bacia estuarina (OTTMAN, 1968).

O rio Pará se interliga com o rio Amazonas através de inúmeros canais. Segundo Pinheiro (1987), o rio Pará pode ser definido como um canal flúvio-estuarino que separa a borda sul da Ilha de Marajó da parte continental nordeste do Pará, representando o denominado “braço direito da Foz do Rio Amazonas”

Os formadores hidráulicos dessa calha coletiva são o Rio Pará, com mais de 300 km de extensão e cerca de 20 km de largura média, Tocantins com 2.600 km, estes como os principais rios que deságuam na Baía de Marajó, e ainda todo o complexo da baía de Guajará como: Araguaia (com mais de 2.627 km de extensão), Capim (1000 km), Acará (900 km), Moju (800 km), Guamá (700 km), Atapu (627 km), Jacundá (300 km), Pacajás (250 km) e Araticu (150 km) (LIMA, 1979). Os afluentes principais do rio Pará, à margem direita são: os rios Anapú, Tocantins, Acará Grande e Guamá; pela margem esquerda, os rios Arará e Camará.

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.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISMO-ESTRATIGRAFIA

2.1.1 Abordagem Geral

A Estratigrafia Sísmica ou Sismo-Estratigrafia é um método estratigráfico de interpretação de dados sísmicos, o qual permite, de acordo com Severiano Ribeiro (2000), uma melhor compreensão da evolução tectono-sedimentar de uma bacia. Ela busca o entendimento das relações entre a arquitetura deposicional do preenchimento de bacias sedimentares e as oscilações eustáticas (POSAMENTIER et al. apud RIBEIRO, 2000). Para tanto, ela baseia-se na análise dos padrões dos refletores observados em amostragens sísmicas.

2.1.2 Sísmica

Ayres Neto (2001) afirma que dentre as ferramentas mais importantes na Geofísica para estudos dos fundos oceânicos é a propagação de ondas acústicas ou sonoras. A sísmica 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, gerando como produto final, as imagens sísmicas de alta definição das feições

geológicas. Os métodos sísmicos são considerados, ainda, como os mais onerosos em termos de pessoal e gastos envolvidos.

Segundo Souza (2006), métodos acústicos dispensam a penetração física no meio investigado (não destrutivos) possibilitando uma visão mais ampla e contínua da superfície e subsuperfície investigada.

Na água do mar, a velocidade de propagação das ondas acústicas é aproximadamente 1500 m/s e sua variação depende basicamente da salinidade do meio não sofrendo muita influência da pressão e da temperatura. A velocidade de propagação dessas ondas é em função das constantes elásticas do meio no qual se propaga como o módulo de Young (E), módulo de Poisson (ν), módulo de rigidez (μ) e módulo de compressão (k) que por sua vez, variam de acordo com o material e relacionam a quantidade de deformação sofrida por um material em função da força exercida sobre ele. Sendo o módulo de rigidez da água igual à zero, as ondas P são utilizadas na sísmica, já que ondas do tipo S não conseguem se propagar neste meio. (AYRES NETO, 2001).

O autor supracitado acrescenta que tratando de sedimentos, a velocidade de propagação de ondas acústicas é em função de duas constantes anteriormente relatadas, 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 apresentados por Woods apud Passos (2008).

As reflexões sísmicas são o registro do tempo de percurso (ida e volta) de ondas sísmicas (elásticas) geradas artificialmente na superfície e refletidas em interfaces físicas de rochas (SILVA apud PASSOS, 2008). A partir da geração e do tempo de chegada dessas ondas nos diferentes pontos, é possível determinar a distribuição de velocidade e localizar interfaces onde as ondas são refletidas e refratadas. O sinal propagado é diferente daquele refletido, já que este reflete sempre quando o sinal sísmico encontra um material com impedância acústica diferente do sinal emitido (AYRES NETO, 2001).

Souza (2006) retratando a sísmica de alta resolução em áreas submersas rasas a distingue da sísmica de reflexão tradicional (fundo), já que os sistemas de aquisição de dados, as fontes acústicas (comumente de baixa energia), os espectros de frequências emitidos, os receptores, os sistemas de processamento e as formas de apresentação dos dados são diferentes entre

ambas. O autor ainda discute suas vantagens sob a sísmica convencional, já que esta lida com meios geológicos de baixos contrastes de impedância acústica, baixa relação sinal ruído, além de se constituírem em fortes atenuadoras de sinais de alta frequência.

Sendo a impedância acústica o produto da velocidade sísmica pela densidade do material no qual a onda se propaga, Ayres Neto (2001) sugere que a densidade dos sedimentos de fundo é função basicamente da mineralogia, da porosidade e do teor de água. Estes fatores variam localmente em maior escala, controlando, portanto, de maneira mais intensa a impedância dos sedimentos. Vale ressaltar a possibilidade dos contrastes de impedância acústica entre dois ou mais estratos, ou seja, a velocidade da onda propagada e a densidade do material podem variar fazendo com que a energia das frentes de onda seja refletida na interface entre os meios retornando à superfície enquanto que a outra penetra nas camadas sedimentares, retornando aos sensores (*hidrofonos*) subseqüentemente. O primeiro sinal que retorna aos sensores é normalmente oriundo da superfície de fundo e, portanto, sua interpretação possibilita identificar a espessura da coluna d'água. Já o segundo sinal, é referente àqueles que penetraram no sedimento, logo possibilita identificar a espessura da coluna sedimentar (figura 2).

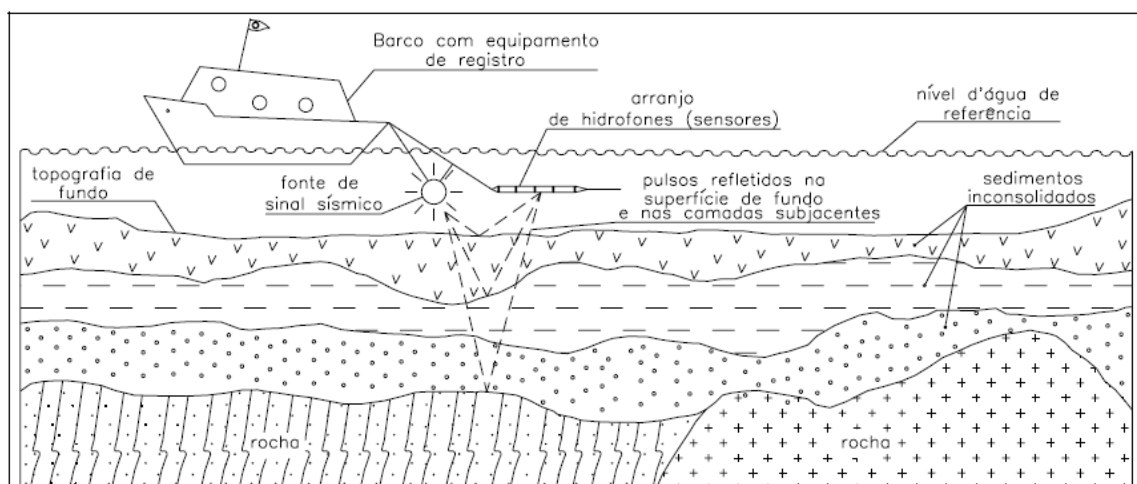


Figura 2: Perfilagem Sísmica Contínua: geometria do arranjo para aquisição de dados. Fonte acústica sensores-embarcação (Souza, 1988).

De acordo com Souza (2006) a energia refletida nas interfaces entre os meios com distintas impedâncias acústicas é proporcional à amplitude do sinal emitido pela fonte e a magnitude do contraste propriamente dito entre os

meios. A detecção do sinal refletido depende também da geometria do arranjo fonte-sensor.

A impedância acústica não é um fiel indicador de litologias, visto que reflexões sísmicas não apresentam, obrigatoriamente, correspondência com os limites dessas unidades. Reflexões com diferentes contrastes de densidade-velocidade correspondem às superfícies estratais e discordâncias (Sequência deposicional) (SOUZA, 2006).

Uma seqüência deposicional é uma unidade estratigráfica composta de uma sucessão relativamente concordante de estratos (paleossuperfícies deposicionais) geneticamente relacionados e limitados no topo e na base por discordâncias (superfícies de erosão ou não-deposição) ou superfícies relativamente concordantes, que são caracterizados por um refletor de maior amplitude.

2.1.3 Interpretação Sismo-Estratigráfica

A aplicação das técnicas de interpretação sismo-estratigráfica se dá de forma lógica cujo objetivo se baseia na subdivisão, correlação e mapeamento de uma seqüência deposicional. Esta técnica é chamada por Vail (1988) de Estratigrafia de Seqüências e a aplicação numa malha de seção sísmica permite agrupar refletores sísmicos em pacotes que correspondem a intervalos geneticamente interligados, limitados cronoestratigraficamente.

A interpretação sismo-estratigráfica, de acordo com Vail, Mitchum Jr. e Sangree (1977) pode ser dividida em três etapas: 1) análise de fácies sísmicas; 2) análise de seqüências sísmicas; e, análise das variações relativas do nível do mar. Para eles, uma seqüência estratigráfica consiste na subdivisão de uma seção sísmica em pacotes de reflexões concordantes, separados por superfícies de descontinuidades, interpretados segundo o conceito de seqüência deposicional, que foi definida como sendo uma unidade estratigráfica composta de uma sucessão relativamente concordante de estratos geneticamente relacionados e limitados no topo e na base por discordâncias ou superfícies relativamente concordantes, que são caracterizados por um refletor de maior amplitude. Dessa maneira, as reflexões e/ou estratos se dispõem em paralelismo ou angularidade em relação aos limites de uma seqüência, ou seja, concordante ou discordantemente. Padrões de terminação de reflexões não representam somente os limites de uma

seqüência, tais padrões de terminação indicam superfícies que vão delimitar unidades sísmicas que, em última instância, serão interpretados como os tratos de sistemas deposicionais (RIBEIRO, 2000).

2.1.4 Padrões de Terminações de Reflexões

Para o entendimento e interpretação da estrutura sismo-estratigráfica, este pode ser efetuado a partir do traçado das discordâncias que separam os intervalos principais do pacote sedimentar. Os critérios utilizados na delimitação desses intervalos referem-se à uniformidade de suas características sísmicas internas e às terminações de refletores sísmicos, tendo como padrões principais no limite da unidade, as terminações laterais dos refletores (*baselap*) e o truncamento erosivo (ALVES, 1999).

2.1.5 Fácies Sísmicas

Severiano Ribeiro (2001) diz que Fácies sísmicas é o registro nas reflexões sísmicas dos fatores geológicos que as geraram, tais como: litologia, estratificação, feições deposicionais entre outros. Sua análise visa reconhecer os padrões das reflexões sísmicas e suas inter-relações dentro das unidades sísmicas ou seqüências, interpretando seus significados geológicos (MITCHUM Jr. *et al.*, 1977).

O reconhecimento e o mapeamento das fácies sísmicas são baseados em parâmetros definidos objetivamente tais como: configuração, continuidade, amplitude, freqüência e velocidade intervalar interpretando-as geologicamente (RIBEIRO, 2000) (tabela 2).

A configuração interna das reflexões (paralela, divergente, caótica, transparente, progradante, etc) é o parâmetro de fácies sísmica que melhor a caracteriza e, portanto, o mais comumente utilizado na sua análise. Pode ser de vários tipos, como mostrado na figura abaixo (figura 3).

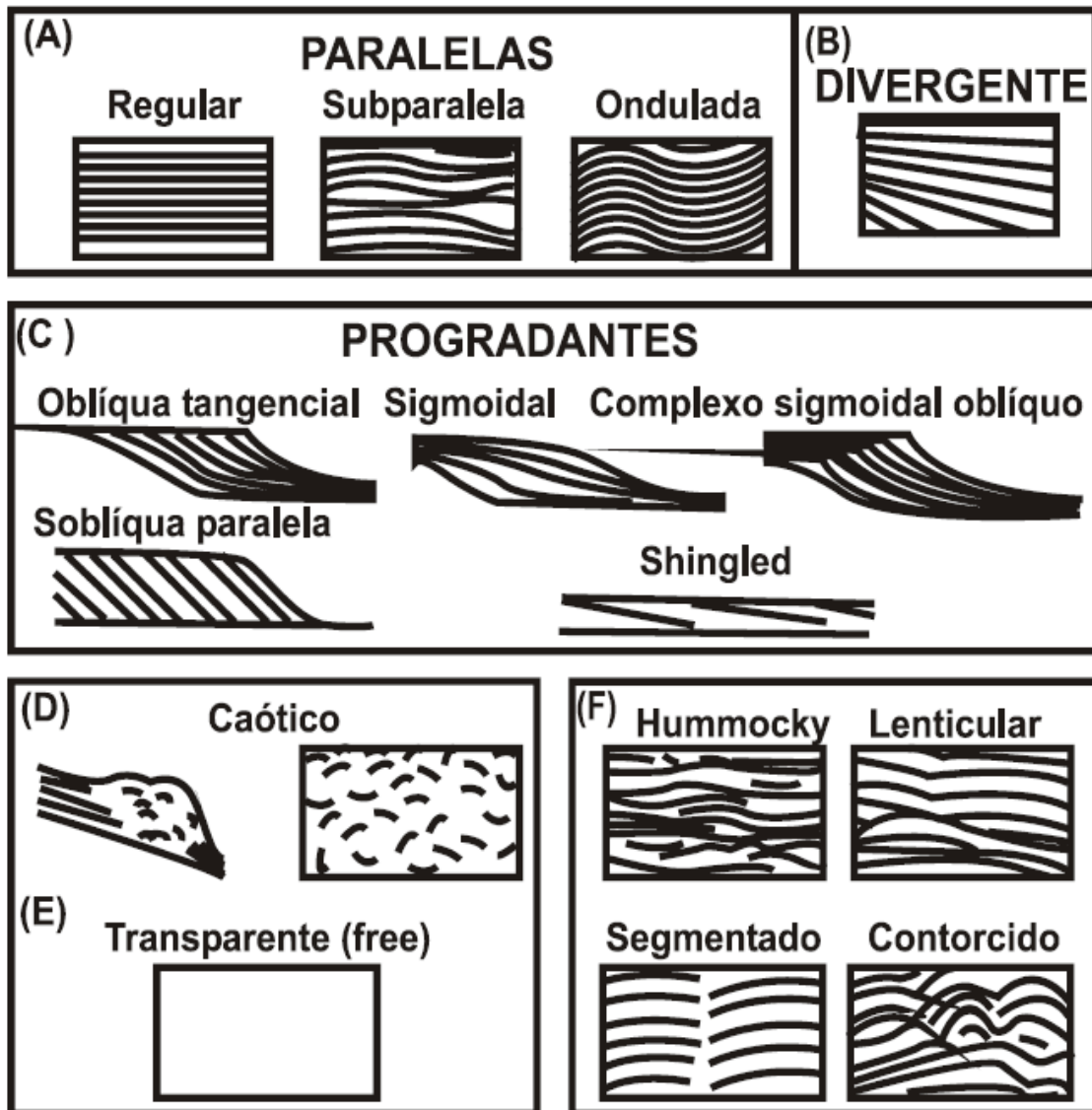


Figura 3: Padrões de configurações de fácies sísmicas. Fonte: Severiano Ribeiro (2001).

Tabela 2: Parâmetros de Reflexão Sísmica usados em Sismoestratigrafia e seus Significados Geológicos. Fonte: Severiano Ribeiro, 2001.

Parâmetros de Fácies Sísmicas	Interpretação Geológica
Configuração das reflexões	<ul style="list-style-type: none"> • padrão de estratificação • processo deposicional • erosão e paleotopografia • contato entre fluidos
Continuidade das reflexões	<ul style="list-style-type: none"> • continuidade dos estratos • processo deposicional
Amplitude das reflexões	<ul style="list-style-type: none"> • contraste velocidade/densidade • espaçamento dos estratos • conteúdo fluido
Freqüência das reflexões	<ul style="list-style-type: none"> • espessura dos estratos • conteúdo fluido
Velocidade intervalar	<ul style="list-style-type: none"> • estimativa de litologia • estimativa de porosidade • conteúdo fluido
Forma externa e associação espacial das fácies sísmicas	<ul style="list-style-type: none"> • ambiente deposicional • fonte sedimentar • sítio geológico

Ribeiro (2000) se baseia em Brown Jr. e Fischer para admitir que a geometria externa (lençol, cunha, banco, lente, montiforma, etc.) é característica importante das fácies sísmicas (figura 4).

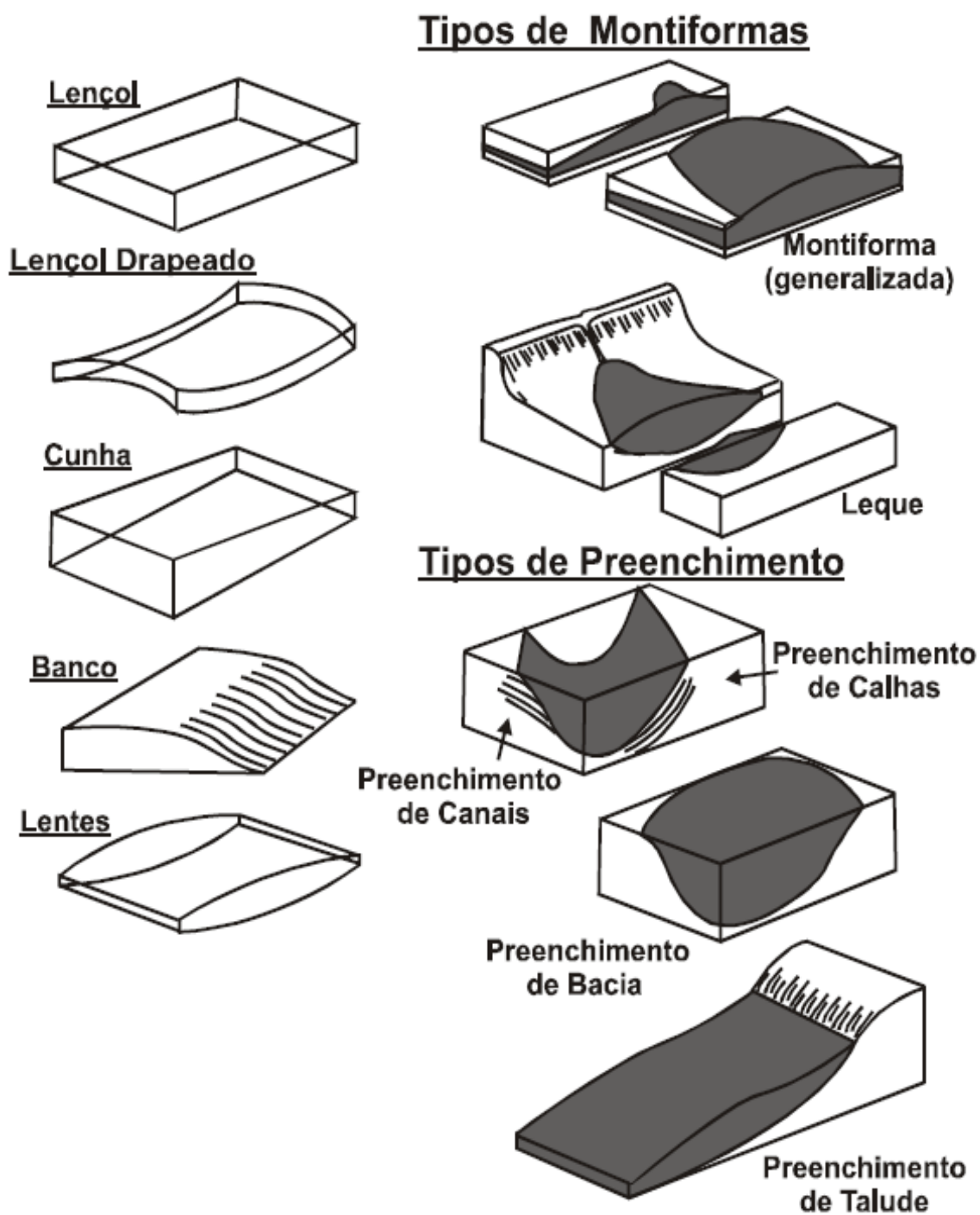


Figura 4: Geometrias externas típicas de algumas unidades de fácies sísmicas. Fonte: Severiano Ribeiro (2001).

2.1.6 Sismo-Estratigrafia em Sísmica Rasa

Gomes (2009) afirma que os levantamentos sísmicos de alta resolução por perfilagem de subsuperfície em ambiente marinho, incluem em sua área operacional a coluna d'água e as primeiras dezenas de metros como sendo os alvos das investigações. O autor faz ainda uma comparação, quanto ao campo de trabalhos dos métodos sísmicos. Na sísmica convencional o primeiro refletor sísmico a ser registrado representaria toda a espessura investigada na sísmica rasa no qual serão investigados as interfaces geológicas de baixa impedância acústica (baixos contrastes), baixa relação sinal/ruído e atenuação de sinais de alta frequência.

As aquisições em sísmica rasa têm como propósitos a compreensão da propagação das ondas acústicas tanto no subfundo marinho como nas estruturas adjacentes, utilizando-se de espectros de maior frequência, e assim possibilitar mapeamentos de pequenas feições geológicas (como as do Quaternário), investigar processos sedimentares, na exploração de possíveis depósitos minerais e ainda em estudos de cunho biológico, dentre outros.

É importante ressaltar que gerando dados de alta resolução, a sísmica rasa garante a utilização de equipamentos (ecobatímetro, multifeixe, sonar de varredura lateral, perfilador sísmico), a incluir as fontes acústicas, que não geram danos ambientais e ainda dados que permitem uma boa visualização e interpretação sem a necessidade de complexos processamentos até mesmo em tempo real.

A figura 5 orienta a observação da hierarquia das unidades definidas pela Estratigrafia de Seqüência.

Unidades Estratiais	Definição	Espessura Média (m)	Tempo de Formação (anos)	Resolução
Sequência	Sucessão de estratos relativamente concordantes, geneticamente relacionados, limitados por discordâncias ou por conformidades correlatas (Mitchum <i>et al.</i> , 1977).	10-1000	$10^6 - 10^5$	
Conjunto de Parassequência	Sucessão de parassequências geneticamente relacionadas que formam um padrão de empilhamento característico, e em geral limitada por superfície de inundação marinha de maior expressão e superfícies correlatas.	10-300	$10^4 - 10^5$	
Parassequência	sucessão de camadas ou grupos de camadas arranjadas em um padrão progradacional, limitadas no topo e na base por superfícies de inundação marinha ou suas superfícies correlativas.	2-50	$10^2 - 10^4$	
Conjunto de Camadas	Sucessão de camadas geneticamente relacionadas, limitadas por superfícies de erosão, não-deposição ou outras conformidades correlatas.	0,5-20	$1 - >10^3$	
Camadas	Sucessão de lâminas ou conjunto de lâminas geneticamente relacionadas, limitadas por superfícies de erosão, não-deposição ou outras conformidades correlatas.	0,01-10	$<10^3 - <1$	
Conjunto de Lâminas	Sucessão de lâminas geneticamente relacionadas, limitadas por superfícies de erosão, não-deposição ou outras conformidades correlatas.	0,001-1	<1	
Lâminas	Menor unidade distinguível macroscopicamente.	0,001-0,10	<1	

Figura 5: Comparação dos níveis de detalhamento com a Estratigrafia de Sequências (modificado por Maill, 1996 *apud* Gomes, 2009).

Quanto aos padrões dos refletores (*lapout*, *onlap*, *downlap*, *toplap*, concordante e truncamento), geometria externa da fácies (lençol, cunha, banco, lente, montiforma, etc.) e a configuração interna das reflexões (paralela, divergente, caótica, transparente, progradante, etc.) podem ser observadas nos dados de sísmica rasa dependendo do material encontrado no pacote sedimentar. Diferentemente ocorre para as unidades superiores (parassequências) e inferiores a conjunto de lâminas, já que dentro da escala de alta resolução, é pouco comum observá-las e sim apenas o registro camadas e conjunto de camadas.

Ainda é comum observar em uma coluna sedimentar o tempo não registrado geologicamente (Hiato) e Lacunas - ausência de volume de rocha (erosão) no intervalo cronoestratigráfico da coluna (Fávera, 2001). Tais definições contribuem para a compreensão de formações oriundas num determinado tempo geológico correlacionado-as com possíveis variações eustáticas e/ou neotectônica.

Segundo Gomes (2009) os métodos de sísmica rasa vêm implementar a aplicação da Estratigrafia de sequência e da Sismo-estratigrafia na interpretação geológica de subsuperfície, a partir de uma escala de tempo menor e mais recente na coluna cronoestratigráfica, contudo, no que se refere

as limitações dentro do método sísmico-estratigráfico em sísmica rasa, estas são compensadas pela informação ausente na sísmica convencional.

2.2 AMBIENTE ESTUARINO

DALRYMPLE *et al.*, 1992 *in* MIRANDA *et. al.*, 2002 definem baseado na sedimentação e importância dos processos gerados por ondas que *“Estuário é a parte voltada para o mar de um sistema de vales inundados, os quais recebem sedimentos de fontes fluviais e marinhas, contendo fácies influenciadas pela maré, onda e processos fluviais. Considera-se que o estuário se estende desde o limite interno das fácies de maré, até o limite oceânico das fácies costeiras na entrada”*. Diversos autores acreditam que os estuários contribuem significativamente na composição sedimentar dos sistemas costeiros, ou na estrutura dos próprios ambientes estuarinos, sendo assim, um segmento relevante para o ciclo sedimentar (DAVIS, 1985).

Segundo DALRYMPLE *et al.*, 1992 os estuários podem ser divididos em três zonas, cada uma possuidora de características próprias referentes ao regime de energia, tipo de sedimento e morfologia. Estas são denominadas de zona interna, zona central e zona externa (figura 6).

A zona externa é caracterizada pela alta energia sendo dominada por processos marinhos (ondas e/ou correntes de maré), em que os sedimentos são derivados do mar e o transporte de fundo líquido é em direção ao continente; a zona ou região central é relativamente de baixa energia, em que a energia dos processos marinhos (predominantemente de correntes de maré) se iguala à energia de correntes fluviais, e em onde ocorre uma convergência de sedimentos relativamente finos; a zona interna já é dominada pelo rio, porém influenciada pela maré, em que o transporte de sedimento líquido é em direção ao mar. Masselink (2003) afirmam que as zonas interna e externa são predominantes na transferência de sedimentos sendo então as mais energéticas.

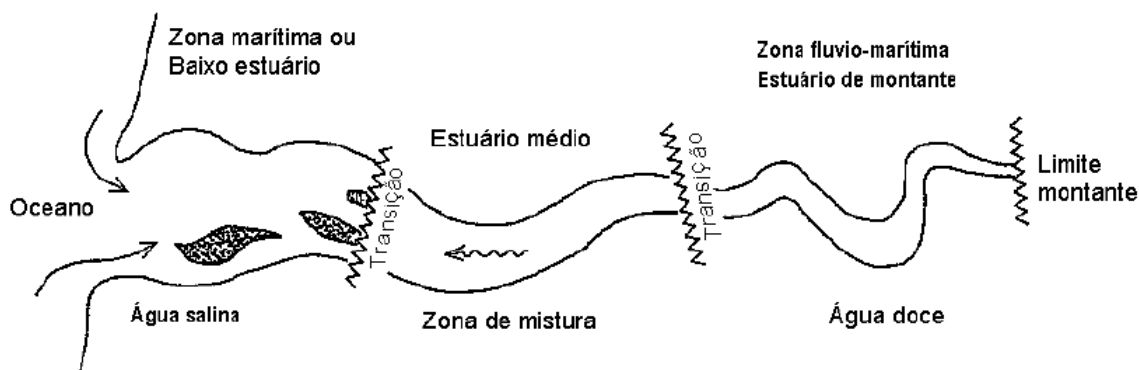


Figura 6: Representação esquemática de um estuário mostrando suas divisões entre as zonas superior, médio e inferior. Os limites de transição mudam de acordo com as estações, o clima e as marés. Fonte: Fairbridge (1980) apud Silva (2000).

Os estuários são ambientes extremamente complexos e dinâmicos e isso dificulta sua classificação. Tais classificações baseiam-se em diversos aspectos desses ambientes deposicionais, dentre elas pode-se citar a geomorfologia, estratificação salina e princípios dinâmicos que dependem basicamente da geometria, da descarga de água doce, da maré, da circulação na região costeira adjacente, e do vento. Tendo em vista essas características, Fairbridge (1980) classificou os estuários de acordo com a sua geomorfologia (figura 7), sendo que El-Robrini (1990) classificou a Baía de Marajó como uma grande “ria”.

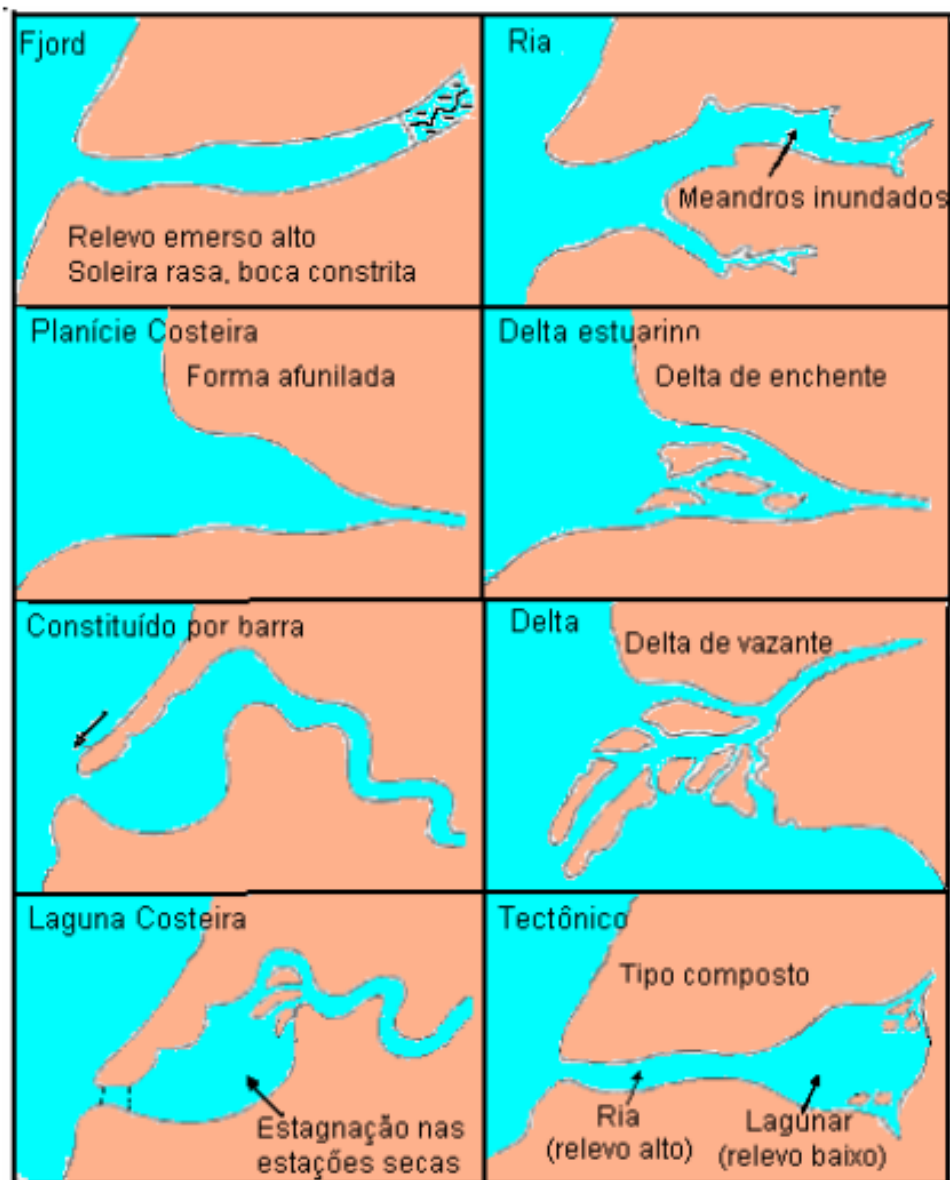


Figura 7: Tipos básicos de estuários de acordo com características geomorfológicas. Fonte: FAIRBRIDGE, 1980.

As fontes dos sedimentos estuarinos são diversas e incluem a bacia hidrográfica, a plataforma continental, a atmosfera, erosão das margens dos estuários e fundo, aporte fluvial e atividade biológica dentro do sistema sendo que a dominância de uma fonte de sedimento depende da sua relativa magnitude a todas as outras fontes e a dinâmica de erosão, transporte e processos de deposição (DAVIS, 1985).

Quanto a hidrodinâmica, a Baía de Marajó pode ser classificada como um estuário dominado por maré onde a energia da corrente de maré excede a energia da onda na boca dos estuários (zona externa), e barreiras de areia são tipicamente desenvolvidas e acabam bloqueando a energia das ondas, quando existem, acarretando na sua diminuição à medida que se afasta do estuário.

Por outro lado, sua forma alargada provoca aceleração das correntes de maré para dentro do estuário e após uma determinada distância, a dissipação friccional excede os efeitos de amplificação causados pelo estrangulamento, e a energia de maré diminui, alcançando zero no limite da maré. A ausência de barreiras permite uma melhor penetração das correntes de maré e a energia da água fluvial decresce à medida que chega à foz.

2.2.1 Fácies em Estuários Dominados por Maré

A distribuição das fácies sedimentares nos estuários é controlada a partir da interação entre o tipo e quantidade dos componentes sedimentares disponíveis, processos hidrodinâmicos, e morfologia do fundo (ALLEN *et al.*, 1973 *apud* DAVIS,1985). No sistema estuarino dominado por marés a distribuição da fácies não é tão evidente, como nos sistemas dominados por onda. Nestes, a distribuição das fácies ocorre principalmente em três partes; na zona interna, zona central e zona externa. Entretanto, nos sistemas estuarinos dominados por maré, ocorre a distribuição de fácies ao longo das diferentes zonas (figura 8) (DALRYMPLE *et al.*,1992).

A primeira fácies, às margens do estuário, observa-se a planície de maré depositada em função da baixa hidrodinâmica no local.

A segunda fácies coincide com o máximo da energia de maré, consistindo em planícies de areia com um regime de fluxo superior (UFR – upper-flow-regime) na qual revelam um padrão de canal trançado. Este canal é mais largo na boca do estuário e torna-se confinado a um simples canal mais adiante em direção a cabeça. Os depósitos desta fácies, geralmente, consistem de areias finas paralelamente laminadas (DALRYMPLE *et al.*,1992).

Na zona de baixa energia do sistema, região central, desenvolve-se uma progressão regular de sinuosidades na qual é denominada de “estreitos meandrantés”. A parte do estreito mais externo nos estuários é dominada pela maré, e o transporte líquido de sedimento é em direção a cabeça devido às fortes correntes do fluxo de maré. O canal contém bancos de areia fixos e algumas barreiras no meio do canal. Assim como o estreito externo, o interno contém tipos de barreiras similares, mas nesta região o transporte líquido de sedimento é a jusante devido à dominância do fluxo do rio sobre as correntes de maré (DALRYMPLE *et al.*,1992).

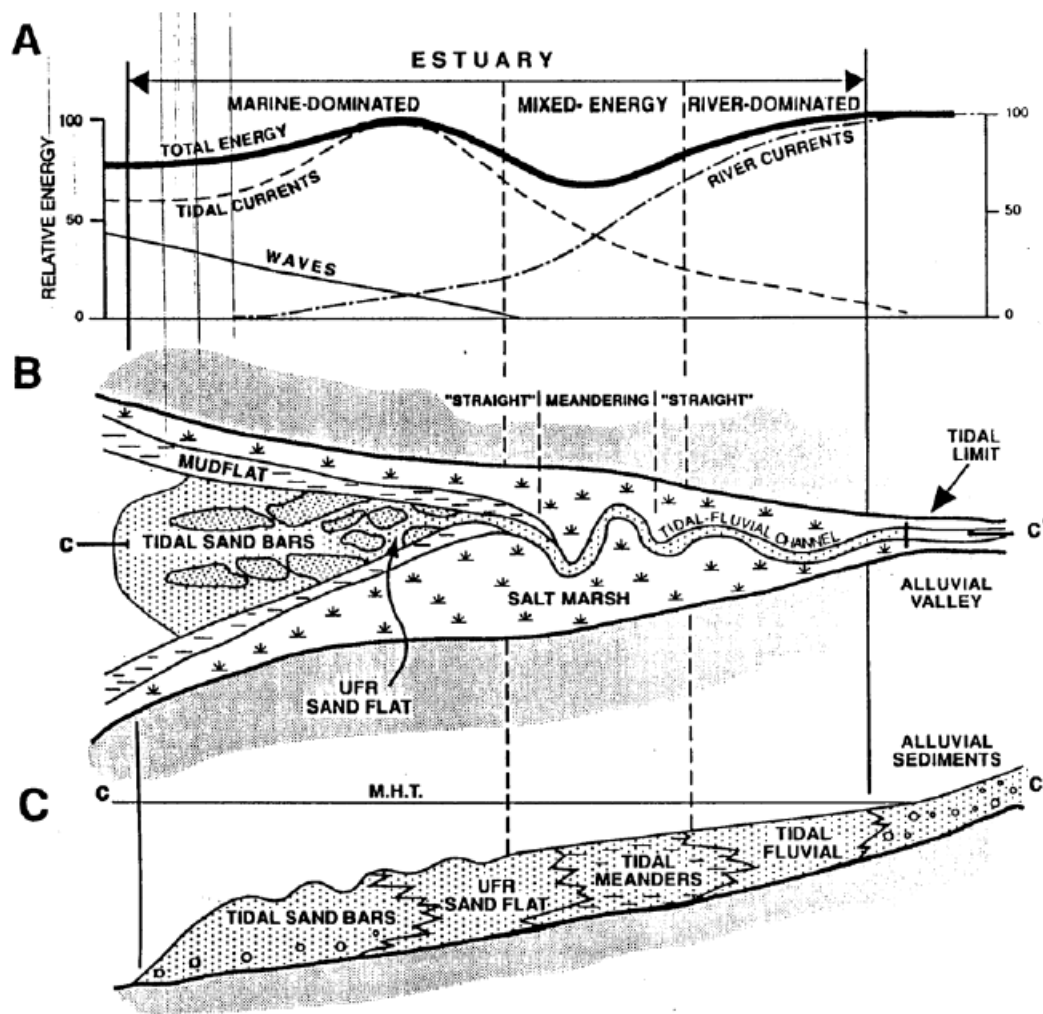


Figura 8: Distribuição de A) Tipos de energia, B) Elementos morfológicos na planície, C) Fácies sedimentares na seção longitudinal dentro de um estuário dominado por maré. UFR = regime de fluxo superior; M.H.T. = média da maré alta. Fonte: Dalrymple et al. (1992).

Vale ressaltar que o tamanho dos grãos no canal meandrante se torna mais fino em todas as direções, o motivo é ainda desconhecido, porém especula-se de que pode estar associado a mudanças no gradiente hidráulico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa para este trabalho de conclusão de curso foi desenvolvida em três partes. A primeira consistiu no levantamento bibliográfico sobre as características estruturais, estratigráficas, sedimentológicas e oceanográficas da Baía de Marajó e adjacências, além de estudos sobre a sísmica de reflexão de alta resolução. A segunda parte refere-se ao processamento digital dos dados sísmicos brutos adquiridos em campo a bordo da embarcação “Velho Chico”. A terceira e última etapa compreendeu a interpretação dos perfis sísmicos a partir do reconhecimento de refletores sísmicos utilizando o método Sismo-estratigráfico correlacionando-os ainda com perfis batimétricos local.

3.1 LEVANTAMENTO SÍSMICO

O levantamento sísmico foi realizado em duas etapas de campo ao longo dos dias 15 e 16 de março de 2006. Na ocasião foram levantados 19 perfis em torno de 101, 65 km cada um referente a uma área submersa transversal da Baía de Marajó se estendendo desde Barcarena à Baía do Sol. 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 (figura 9). Para a aquisição dos dados foi utilizado o perfilador de subfundo do tipo *chirp* modelo *SB-512i (X-Star)* (figura 10), um sistema de fonte acústica que emite um determinado espectro de frequências (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 acoplado à embarcação para adaptar-se a velocidade e profundidade. Essas fontes são eficazes nas necessidades de maior penetração (fontes de baixas frequências), e de maior resolução, (largas bandas de frequências e altas frequências). A rota e o posicionamento dos perfis foram efetuados com o auxílio de um sistema diferencial de posicionamento por satélite (DGPS).

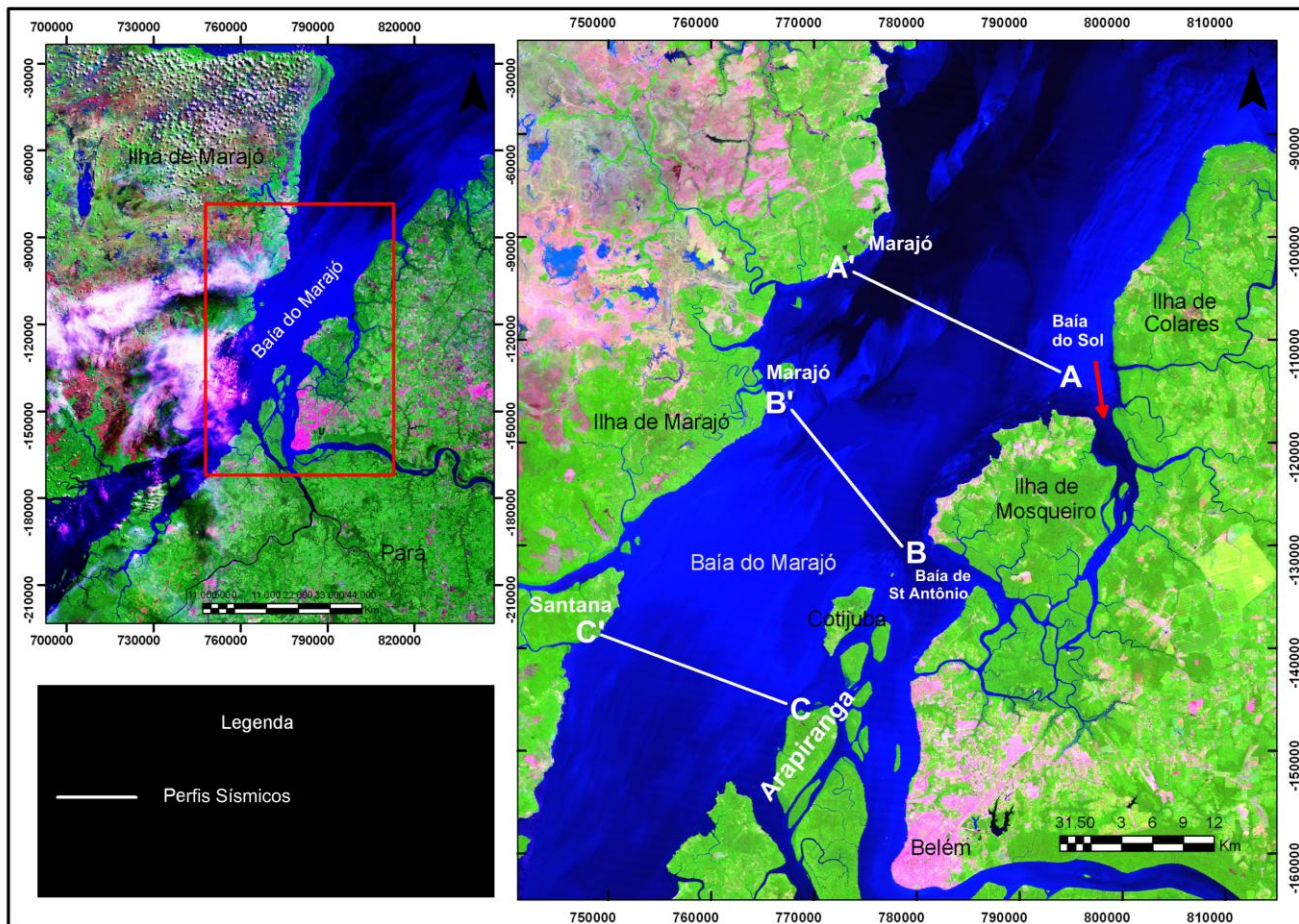


Figura 9: Localização dos perfis sísmicos e batimétricos coletados entre a Baía do Sol e Arapiranga. Em **A-A'**: Perfil Baía do Sol-Marajó; **B-B'**: Marajó-Baía de St Antônio e, **C-C'**: Arapiranga-Santana.



Figura 10: Perfilador de subfundo do tipo *chirp* modelo *SB-512i (X-Star)*. Extraído de Gomes (2009).

Vale ressaltar que a velocidade média de deslocamento do sinal acústico foi de 1.500 m/s tanto para a água quanto para o sedimento a fim de registrar a profundidade dos refletores sísmicos e a espessura das diferentes camadas, considerando ainda que os substratos perfilados (com poucas exceções) são saturados em água.

3.2 PROCESSAMENTO SÍSMICO

Esta etapa consistiu em duas fases: a primeira, uma fase-teste no que se refere à tentativa do processamento dos dados a partir de dois *softwares*, o *ReflexWin 5.0* onde houve a conversão dos dados brutos, inicialmente na extensão **jsf*, para o formato *SEG-Y* e, então, serem utilizados no *software ProMAX*, como a segunda opção. Este, por sua vez, foi descartado de imediato devido à sua incompatibilidade com os dados de sísmica rasa, ou ainda, pelo pouco conhecimento que se tem do potencial desse *software* em processamento de dados de sísmica rasa.

Os respectivos *softwares* são comumente aplicados num fluxograma de processamento de sísmica convencionais (sísmica profunda e GPR) na tentativa de adaptar ao imageamento de subsuperfície, centralizando as principais etapas do processamento como na edição da geometria do traço, extrair e/ou atenuar ruídos que se apresentam no domínio da frequência e

amplitude, além de atenuar também múltiplas de fundo marinho, compensar a perda de amplitude pelo decaimento de energia do sinal e interpretar a seção.

Segundo Gomes (2009) o *ReflexW* possui módulos interativos de processamento e interpretação de dados de Sísmica *2D-Data-Analysis*, suportando diversos padrões de gravação, porém a sua utilização no imageamento dos dados aqui tratados não produziu resultados aceitáveis para o propósito deste trabalho, pois comprimiu as informações, reduziu os desníveis morfológicos, “maquiando” as estruturas no decorrer do processo, como pode ser visualizado na figura 11e 12.

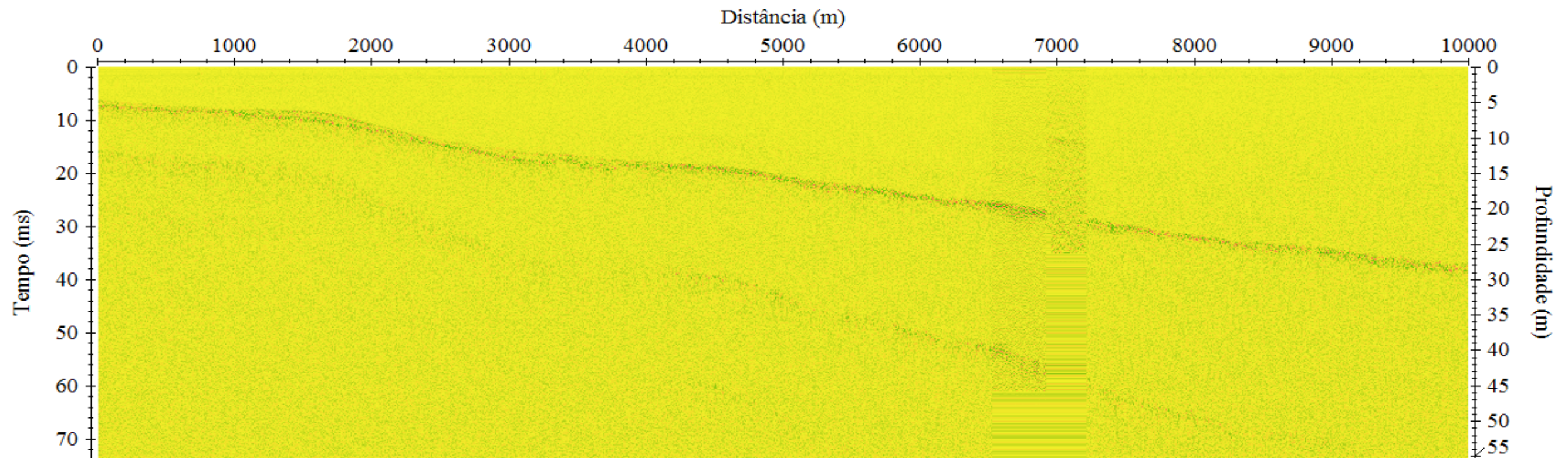


Figura 11: Perfil transversal bruto Baía do Sol-Marajó 000 a partir do *software ReflexW 5.0*.

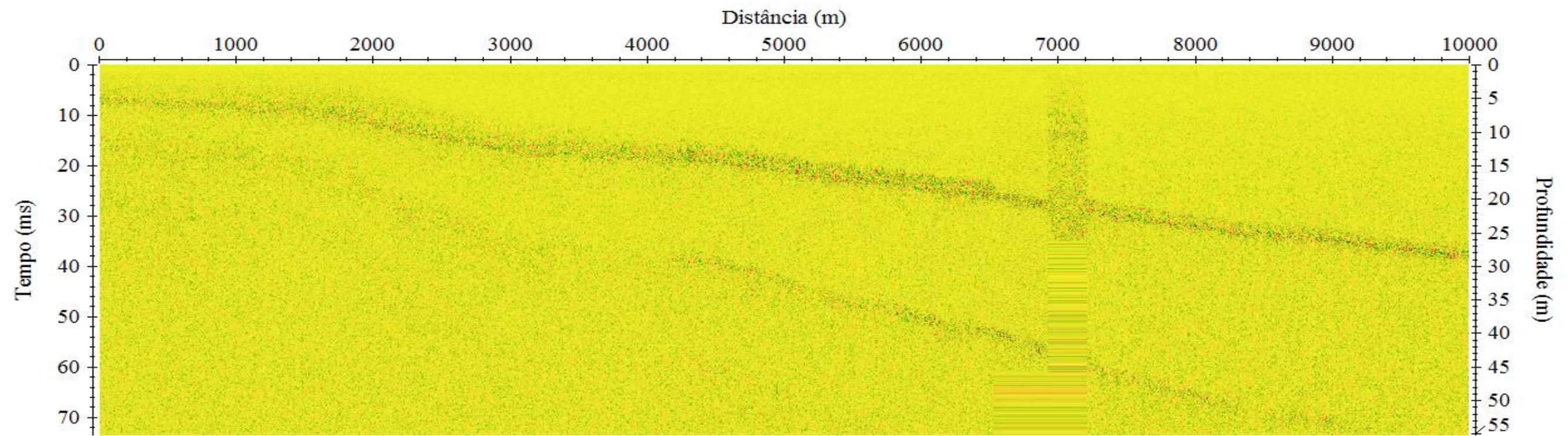


Figura 12: Perfil transversal Baía do Sol-Marajó 000 processado no *Reflexw 5.0*. Filtração (1D Deconv e Passa banda de frequência) e migração (migração Kirchoff).

Os filtros 1Dewon e passa-banda de frequência destinaram-se à atenuação e/ou remoção de ruídos de baixa e alta frequência respectivamente permitindo a passagem das frequências dentro da banda especificada.

A migração Kirchhoff referiu-se à conversão tempo em profundidade, ou seja, possibilitou a correção dos efeitos ocorridos durante a propagação do pulso sísmico colocando as reflexões nas reais posições espaciais.

A segunda fase correspondeu ao tratamento dos dados no *software Discovery Subbottom 3.33* (Versão Demo), disponibilizada pelo fabricante, a *EdgeTech*. O programa se encaixou nos propósitos deste trabalho, pois permitiu a visualização mais próxima do real da morfologia e dos estratos presentes possibilitando uma interpretação mais adequada dos mesmos, conforme mostrado na figura 13.

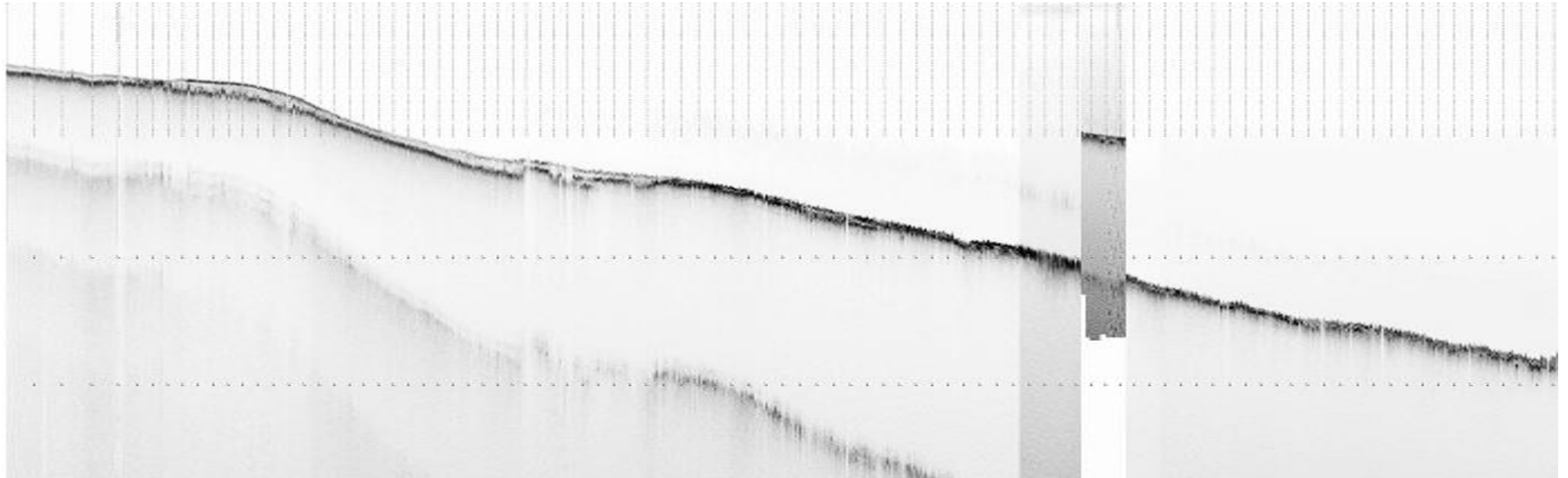


Figura 13: Perfil transversal Baía do Sol-Marajó 000 processado diretamente do *Discovery Sub-bottom* versão 3.33.

Ainda nesta fase foi necessário o uso de mais dois *softwares*: o *Surfer* versão 9 e o *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. Deste modo, a interpretação sísmica foi de acordo com o reconhecimento das morfologias registradas durante o levantamento com base num maior detalhamento das imagens. (figura 14)

Fluxograma de Processamento de dados de Sísmica Rasa

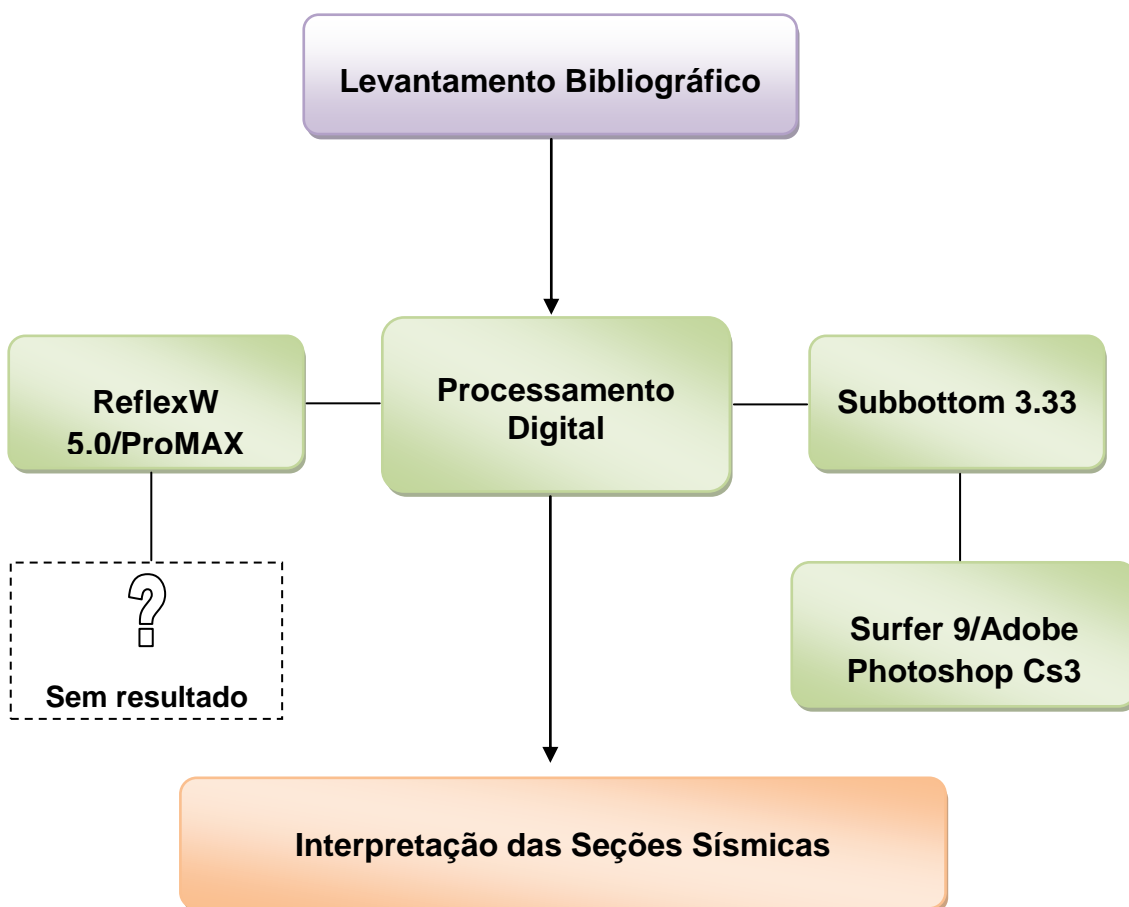


Figura 14: Fluxograma geral com etapas de processamento sísmico.

3.3 RESPOSTA E INTERPRETAÇÃO DE SEÇÕES SÍSMICAS

Em função da ausência de alguns parâmetros da coleta dos perfis sísmicos, por problemas no equipamento utilizado, não foi possível fazer interpretações quanto as terminações dos refletores (sismo-estratigrafia). O sinal em subsuperfície é, na sua grande maioria, muito fraco, não sendo possível a interpretação com a qualidade requerida. Logo, não são apresentados dados sobre a arquitetura interna da região central da Baía do Marjói. No entanto, foi possível fazer uma comparação entre a morfologia encontrada nos perfis sísmicos, aquela recuperada das cartas náuticas da Marinha do Brasil.

Apesar da baixa qualidade do sinal foi possível fazer o reconhecimento dos 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.

3.4 PERFIS BATIMÉTRICOS

Foram recuperados três transectos transversais à baía de Marajói seguindo a mesma direção e profundidade dos perfis sísmicos levantados (figura 15). 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 cujo espaçamento é de 10 em 10 metros delimitado a cada mudança de isolinhas. Vale ressaltar que a confecção dos perfis batimétricos implicou numa pequena variação de escalas em relação às dos perfis sísmicos o que não interferiu na visualização e comparação entre eles.

A realização dos perfis batimétricos foi fundamental para uma melhor compreensão da morfologia local e sua posterior comparação com os perfis sísmicos apresentados.

3.5 HIDRODINÂMICA

Corrêa (2005) delimitou por grupos as áreas representativas da hidrodinâmica do estuário da baía de Marajó a partir da aplicação do diagrama de Pejrup sendo possível diagnosticá-la com base nos seus resultados sobre a granulometria dos sedimentos de fundo desta mesma área. Foi constatado então um decréscimo de energia da margem esquerda para a direita da baía esta dominada pelas correntes de marés e pelas correntes fluviais (figura 16).

Corrêa apud Gregório (2009) afirma que os grupos do setor oeste da baía caracterizam um substrato sob ação de um regime hidrodinâmico de maior energia marcado por uma morfologia de bancos e barras arenosas além de canais profundos e depósitos de lama na margem oriental da ilha de Marajó.

Já no setor leste, abrange os grupos que caracterizam um regime hidrodinâmico de menor energia com presença de uma morfologia mais suave, sendo canais observados juntos às margens cuja sedimentação é mais fina.

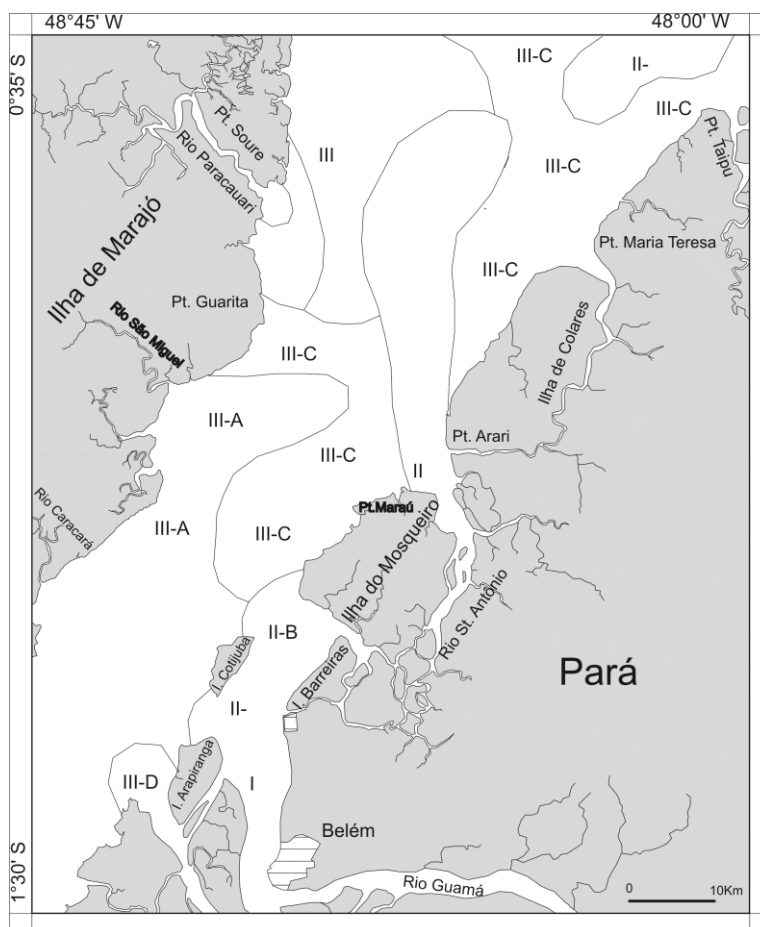


Figura 15: Mapa de distribuição das classes hidrodinâmicas inferido por Pejrup (1988) para a Baía de Marajó. Fonte: Correa, 2005.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES SÍSMICAS

Foram reconhecidas as Unidades Sísmicas (US) que compõem cada perfil em questão. Estas unidades apresentam uma reflexão forte 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 Sísmico Baía do Sol–Marajó compõe-se de duas Unidades Sísmicas que são denominadas de Unidade Sísmica 1 (US 1) e Unidade Sísmica 2 (US 2) assim detalhados ao longo do registro:

US 1 – Caracteriza um refletor cinza escuro de espessura aproximada de 1 metro. 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 sua continuidade permanecida até o final do perfil.

A forte reflexão do sinal permite interpretar a unidade sendo composta de sedimentos mais lamosos (silte-argilosos) visivelmente mais consolidados depositados em regime de fluxo inferior.

US 2 – Reflete uma camada mais transparente (médio a claro) cuja espessura chega até 2,5 metros. A unidade é evidente do início até uns 4000 metros da porção de declividade mais suave da seção desaparecendo a 1000 metros da mesma. Na região onde a morfologia passa a ser mais movimentada (9500 metros), a unidade reaparece desaparecendo somente nas proximidades da borda do banco (17000 metros) onde a partir daí aparece novamente permanecendo contínua até o final da seção.

Essa unidade sugere uma região mais susceptível à dinâmica local evidenciado pela presença fortemente marcada das *sandwaves* em grande parte do registro. Caracteriza, portanto, uma região de sedimentos inconsolidados composto basicamente por areia média a fina em alguns pontos com teor de lama.

A continuidade das unidades sísmicas pode ser mais bem observada a partir da seção ilustrada com base na seção sísmica original (figura 17).

Seção transversal trecho Baía do Sol-Marajó

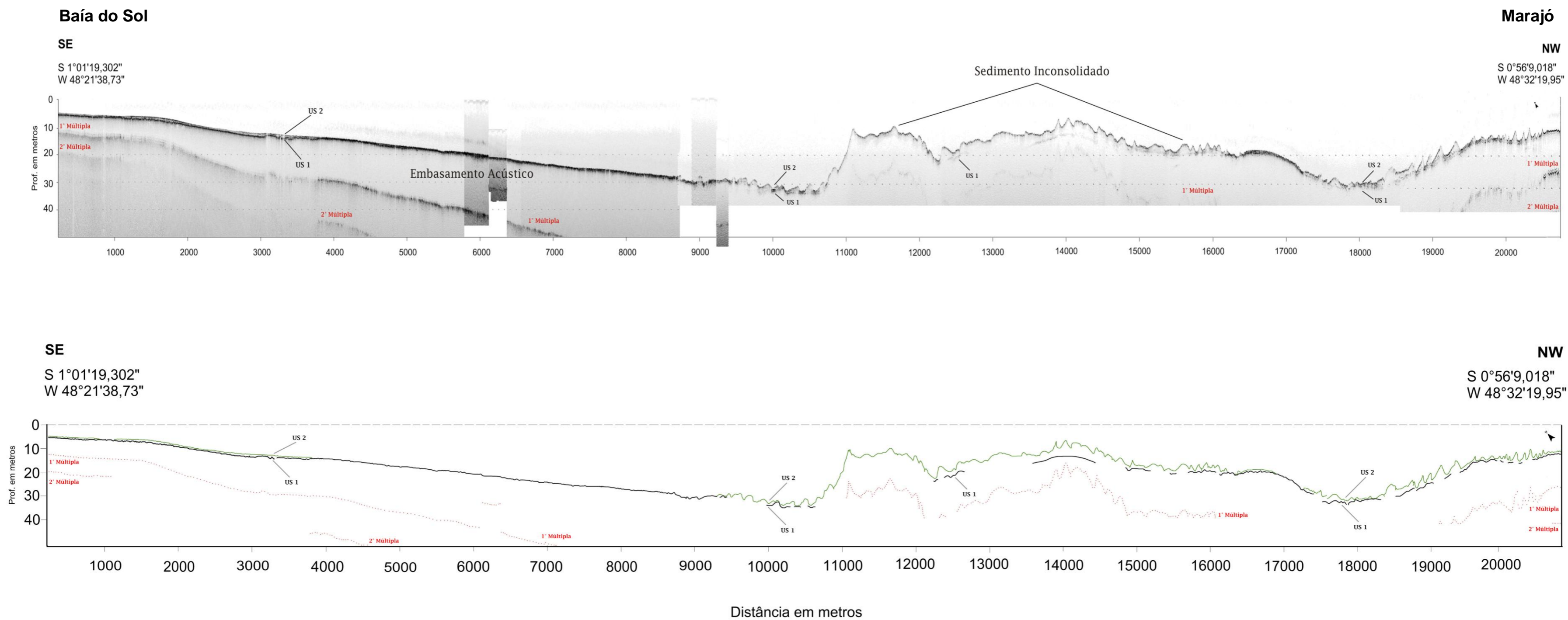


Figura16: Na seção Baía do Sol-Marajó são identificadas 2 Unidades Sísmicas sendo que a Unidade 1 constitui o Embasamento Acústico aflorante em grande parte da seção a Unidade 2 a área que abrange o pacote sedimentar inconsolidado.

Na extensão do Registro Sísmico Marajó-Baía de Santo Antônio (figura 18) são encontradas três unidades sísmicas: a Unidade sísmica 1 (US1), Unidade sísmica 2 (US2) e unidade sísmica 3 (US3).

US 1 - Varia entre 0,5 e 1 metro de espessura de refletor escuro cujo limite determina o Embasamento acústico da seção.

A superfície do refletor aparece nos primeiros metros de extensão da seção onde nota-se uma pequena parte do refletor logo abaixo do sistema de canais de menores proporções. Outros pontos aonde o refletor vem aparecer são ao fundo dos canais 1 e 3 e na borda do canal 2, os principais da seção. Nesses pontos os refletores são bem evidentes especificamente a partir do canal 3 onde já se observa o refletor com mais precisão.

US 2 – Consiste na camada sedimentar temporalmente intermediária que repousa concordantemente ao Embasamento acústico. Chega a atingir uma espessura 2 metros e aparece como um refletor de forte marcação.

Nota-se uma continuidade considerável no início da seção (porção continental) que por vezes confunde-se com a unidade sísmica 3. Essa continuidade aflora em alguns pontos desaparecendo temporariamente ao início do canal 3 reaparecendo na barra arenosa e em alguns momentos já no limite final da seção.

As Unidades 1 e 2 caracterizam fases de deposição interrompidas por momentos de erosão ou não deposição, fato evidenciado através da US 2 aflorante.

US 3 - É a mais recente das Unidades sísmicas identificadas. A camada mostra-se mais fina das Unidades com espessura média de 0,5 metros variando de tonalidade escura à transparente.

Esta unidade é praticamente contínua desaparecendo em alguns momentos tanto nas bordas dos canais principais como ao fundo dos mesmos.

As três unidades acima revelam um grande dinamismo com zonas que caracterizam erosão e deposição.

A forte marcação das unidades 1 e 2 caracterizam zonas deposicionais. O Embasamento, de forte marcação, aparece quase que exclusivamente ao fundo dos canais, regiões estas que quase sempre denotam intensa movimentação e a camada aflora. Nesse caso, o Embasamento caracteriza uma zona deposicional cujo refletor deduz um pacote sedimentar mais consolidado aflorante em meio um regime de fluxo superior.

Em meio às características similares ao Embasamento acústico, a unidade 2 também é uma zona de deposição cujo padrão de reflexão revela sedimentos lamosos com a presença de areia fina.

A camada semitransparente que determina a unidade 3 revela uma zona de sedimentos inconsolidados. As feições presentes e a baixa profundidade em que estas se encontram, sofrem influência da energia de ondas e correntes de maré local que não permitem a uma região mais susceptível à erosão.

Seção transversal trecho Marajó-Baía de Santo Antônio

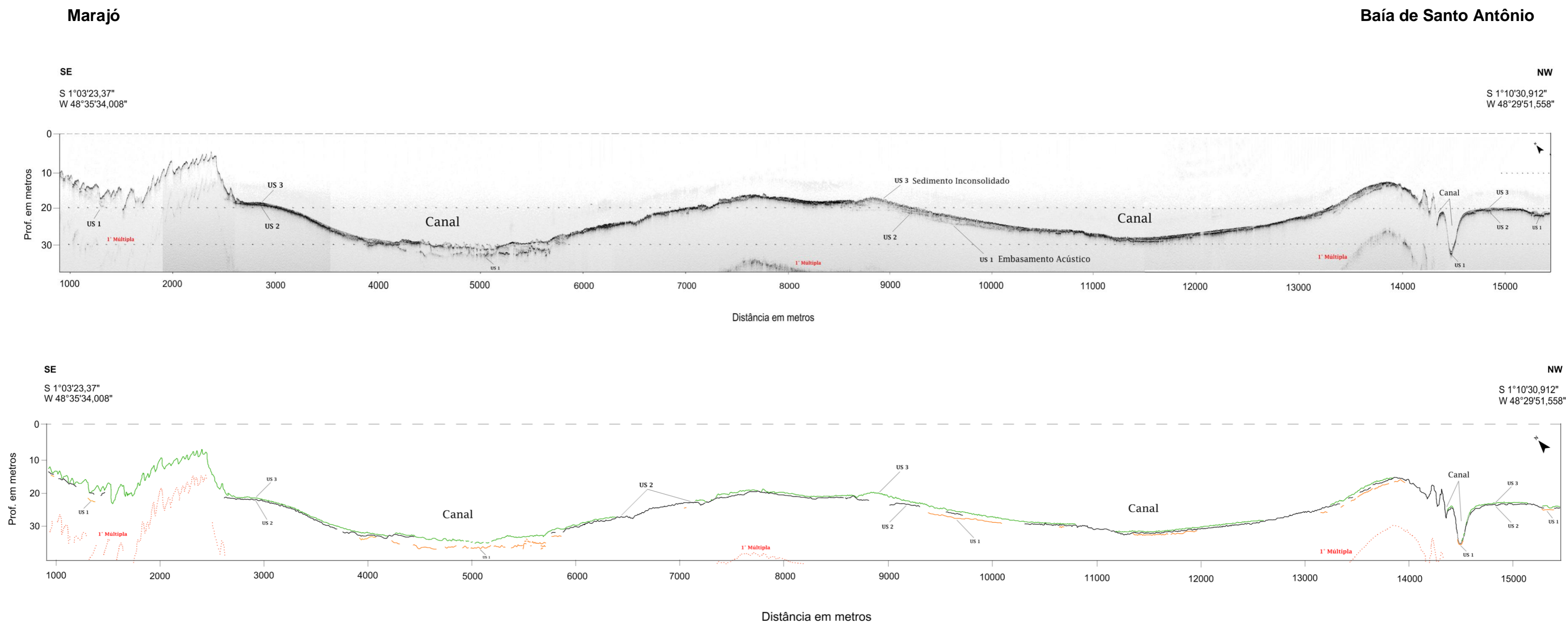


Figura17: Na seção Marajó-Baía de Santo Antônio são identificados 3 Unidades Sísmicas sendo que a Unidade 1 constitui o Embasamento Acústico e a Unidade 2 e 3 as áreas que abrangem os pacotes sedimentares inconsolidados. A Unidade Sísmica 2 por vezes se mostra aflorante na seção.

A seção Arapiranga-Santana apresenta duas Unidades sísmicas (US 1 e US 2) concordantes sendo a US 2 com grande descontinuidade lateral. Ambas consistem de forte reflexão do sinal emitido podendo até ser confundidas (figura 19).

US 1 – Demarca o Embasamento acústico da seção com espessura de 1 metro. 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 com cerca de 0,5 metros de espessura e mesmo com forte reflexão do sinal, é menos escuro em relação a US 1 caracterizando uma superfície de sedimentos inconsolidados de descontinuidade lateral considerável.

Essas duas unidades caracterizam fases de deposição interrompidas por momentos de erosão, fato evidenciado através da US 1 aflorante, e pela forte reflexão do sinal acústico que denota estratos mais consolidados próximos de sedimentos lamosos associados a concentrações pequenas de areia referente a US 2.

Seção transversal trecho Arapiranga-Santana

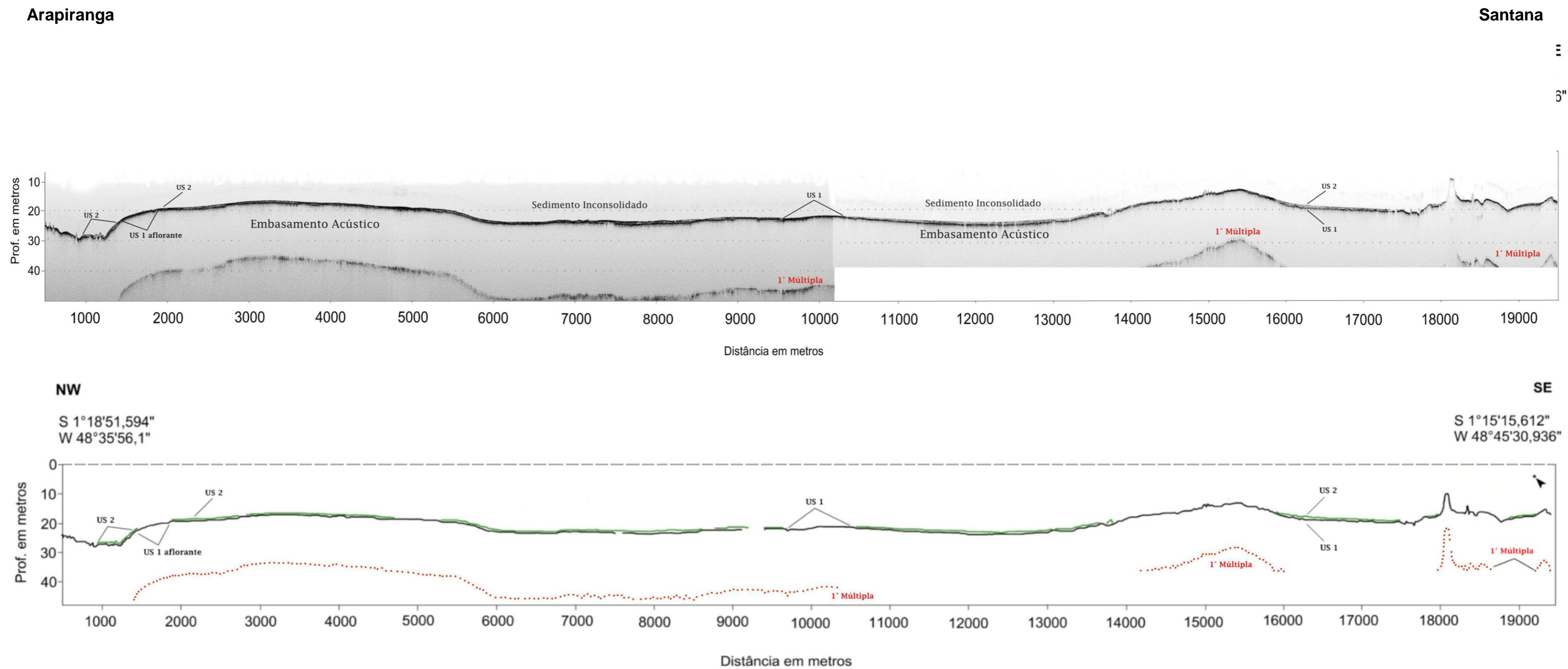


Figura 18: Na seção Arapiranga-Santana são identificados 2 Unidades Sísmicas sendo que a Unidade 1 constitui o Embasamento Acústico e a Unidade 2 a área que abrange o pacote sedimentar inconsolidado.

4.2 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DE SUPERFÍCIE

O Perfil sísmico que segue o trecho Baía do Sol-Marajó, de direção SE/NW e profundidade média de 50 metros, inicia no limite da baía do Sol (próximo à Colares) prolongando-se em direção NW às proximidades da ilha de Marajó (figura 20).

O 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, macrondulações (*sandwaves*) evidentes a partir dos 9000 metros, e ainda pela presença de um banco arenoso e uma barra lamosa reconhecidas a partir da interpretação de suas unidades sísmicas.

Foi possível identificar 3 canais. O primeiro canal localiza-se na porção de transição da morfologia (de declive suave para movimentada) possuindo um pouco mais de 30 metros de profundidade e largura aproximada de 820 metros. Já o segundo, em forma de “W”, atinge em média os 20 metros de profundidade chegando a 320 metros de largura. O terceiro concentra-se nas proximidades da ilha de Marajó (margem direita) com 1600 metros de largura e profundidade de 20 metros aproximadamente.

A declividade suave chega até o limite esquerdo do perfil (margem direita da baía) sendo reflexo da composição litológica do ambiente, já que este é composto basicamente de silte e argila com pouca concentração de areia média à fina, sedimentos estes depositados em ambiente mais calmo por decantação, logo com uma maior dificuldade à erosão (CORRÊA, 2005). Esse conjunto de fatores caracteriza uma região predominantemente deposicional.

Em contrapartida a área de maior movimentação (margem esquerda) caracteriza uma região composta basicamente de areia média à fina sendo, portanto inconsolidados garantindo um ambiente mais dinâmico em virtude de uma hidrodinâmica mais intensa àquela atuante na margem oposta (CORRÊA, 2005) dinamismo ainda confirmado pelo surgimento dos canais, das macrondulações e do banco arenoso susceptíveis à erosão e deposição.

O campo de *sandwaves* aparece bem evidente com formas assimétricas acentuadas ao fundo do primeiro canal e sobre o banco arenoso encontrando *sandwaves* de cristas pontiagudas e calhas suavizadas (arredondadas) encontradas a uma profundidade de 24,5 metros. Em torno dos 18000 metros até o final do perfil, nas proximidades da Ilha de Marajó, o comportamento das

sandwaves se torna mais simétrico também com cristas pontiagudas e calhas suavizadas distribuídos uniformemente entre profundidades de 12 e um pouco mais de 20 metros.

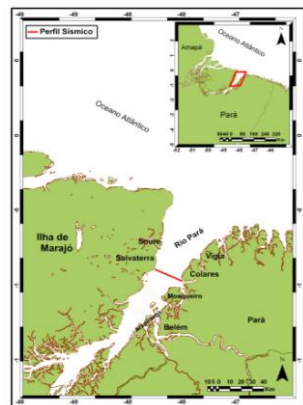
As *sandwaves* caracterizam um ambiente erosivo mesmo havendo um acúmulo de sedimentos mais finos em suas depressões. Por ocuparem locais de baixa profundidade são vulneráveis à hidrodinâmica local não havendo deposição de materiais mais finos, no caso de silte-argilosos. Além disso, a assimetria dessas estruturas também indica uma alternância da corrente com direção tanto para NW quanto para SE.

Em relação à simetria das estruturas, a disposição das cristas e calhas pode estar relacionada com o fluxo das águas que agem alternadamente com velocidades semelhantes e sentidos opostos.

O perfil salienta a presença de um banco arenoso entre 11000 e 17000 metros que vem formar parte da Coroinha (DHN, 2007) sobre a qual se desenvolvem *sandwaves* irregulares até o seu limite que evidencia uma zona deposicional em 17000 metros do perfil cuja profundidade chega aos 20 metros marcando o início do terceiro canal onde as *sandwaves* também aparecem de forma irregular.

A posição do banco arenoso também pode ser reconhecida na carta batimétrica extraída do site da DHN, 2007.

A presença do banco indica zona de deposição e de acordo com Corrêa (2005) são compostos por areias médias com assimetria do tipo simétrica nos quais podem aflorar, parcialmente, em maré baixa.



Registro Morfológico Comparativo Baía do Sol-Marajó

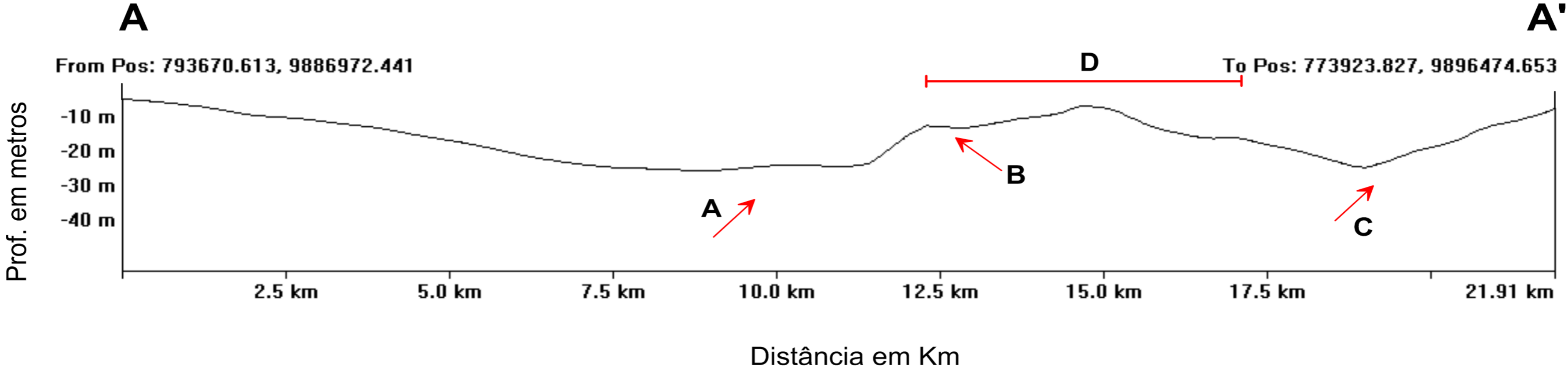
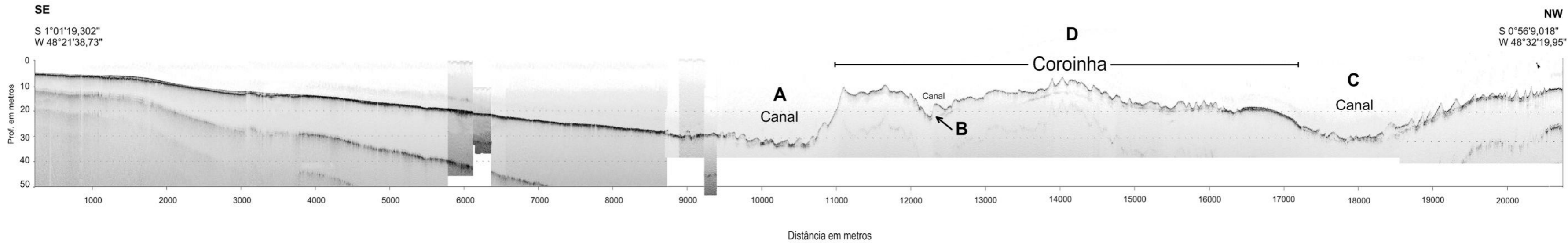


Figura 19: Perfis sísmico e batimétrico referente ao trecho Baía do Sol-Marajó. As letras mostram a relação morfológica existente em ambos os perfis.

No Registro Sísmico Composto Baía do Sol - Marajó (figura 21) é destacado as principais irregularidades e feições existentes na morfologia de fundo da seção sísmica.

Na porção A e B são destacadas as Unidades sísmicas 1 e 2 que compõem o trecho e em D a área em que a Unidade sísmica 1 é aflorante.

Na porção C e E são destacadas as sandwaves caracterizando a região com maior dinamismo.

Registro Sísmico Composto Trecho Baía do Sol-Marajó (000-001-002) Frequência 7-12 kHz

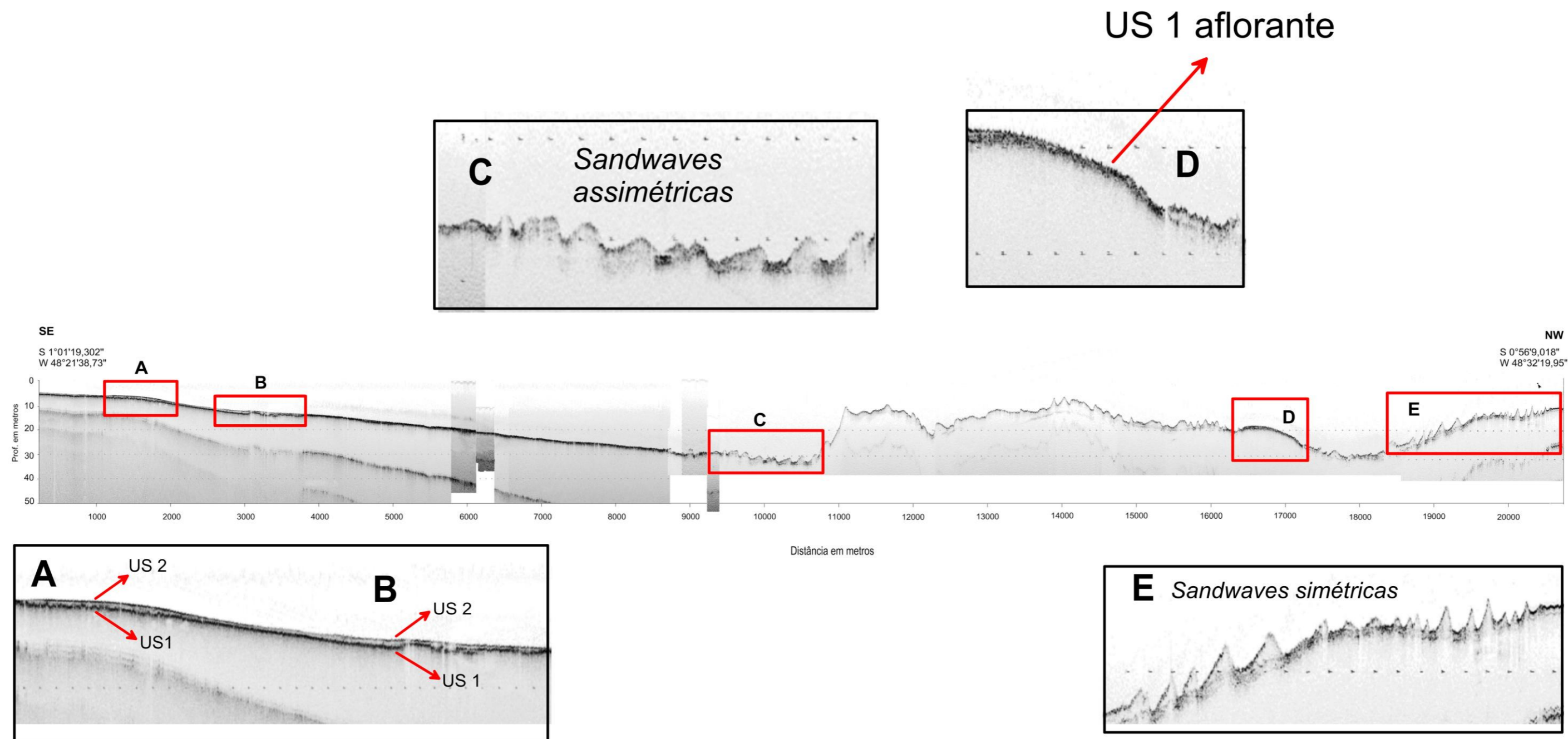


Figura 20: Registro Sísmico Composto mostrando regiões onde as Sismo-Unidades são evidentes (A e B) e a porção onde aflora (D). As porções que apresentam as *sandwaves* denotam áreas com maior dinamismo.

O transecto referente ao trecho Marajó-Baía de Santo Antônio (figura 22) tem direção NW/SE iniciando nas proximidades da ilha de Marajó (margem esquerda da baía) direcionando-se a SE até a proximidade inferior da ilha de Mosqueiro. O registro atinge os 40 metros de profundidade.

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 nos 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 localizado em 2000 metros do perfil. As barras têm um sinal forte, o que sugere a presença de sedimentos lamosos. As marcas de ondulações (*sandwaves*) são registradas superimpostas tanto no banco quanto no fundo do canal 1 evidenciando as partes de maior dinâmica do terreno.

Na margem esquerda do perfil (ilha de Marajó) concentram-se a maior parte das estruturas morfológicas observadas como os canais, *sandwaves* e o banco. Essa concentração denota uma região composta por sedimentos inconsolidados (arenoso) susceptível a uma alta energia, logo maior movimentação em relação à margem direita (ilha de Mosqueiro), pois sua pouca movimentação revela uma menor hidrodinâmica que em associação ao tipo de sedimento, provavelmente lamoso, tende a um ambiente deposicional.

No sistema Barra-canal, o canal 3 mede aproximadamente 2500 metros e o canal 2 em média 3141 metros de extensão chegando aos 30 metros de profundidade cada um.

Quanto a morfologia, o canal 1, mais estreito, possui em média 375 metros de largura, localizado ao longo de 10000 metros do perfil.

Apresenta-se em forma de “V” e é mais profundo atingindo cerca de 40 metros de profundidade refletindo uma pequena zona deposicional ao fundo cujo sedimento pode ser mais grosseiro devido uma menor intensidade hidrodinâmica local.

O canal 3 revela-se mais movimentado em relação ao canal 2 justificado pelas *sandwaves*, indicando a diferença de sedimentação que segundo Corrêa,

2005 é formado por areia média à silte grosso, respectivamente sendo moderadamente selecionados.

Ambos são canais cuja forma é em “U” designando canais de deposição e erosão.

Por se concentrarem numa área central da baía, a área é mais susceptível a hidrodinâmica mais intensa favorecendo assim à existência de barras, os quais podem aflorar, parcialmente, em maré baixa.

O segundo sistema de canais encontra-se nos primeiros metros da seção (porção insular) alcançando até o limite do banco. É formado por um conjunto de canais que variam em profundidade e extensão entre si e, relacionado ao sistema de canal principal, são bem menores. A profundidade destes canais varia entre 3 e 20 metros e a largura entre 17 e 40 metros aproximadamente.

Esse sistema se apresenta em forma de “V” marcando um ambiente tipicamente erosional.

Na porção NW do perfil, as *sandwaves* também se fazem presentes de forma bastante acentuadas sendo limitadas pelo sistema de canais. Suas disposições indicam que a corrente direciona-se pra SE do perfil.

Registro Morfológico Comparativo Marajó-Baía de Santo Antônio

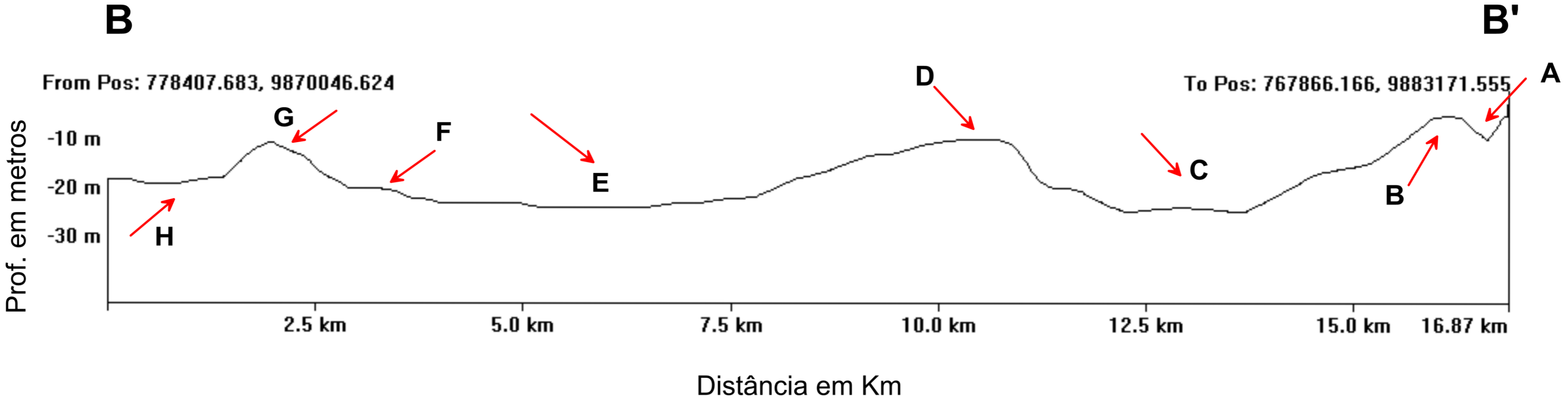
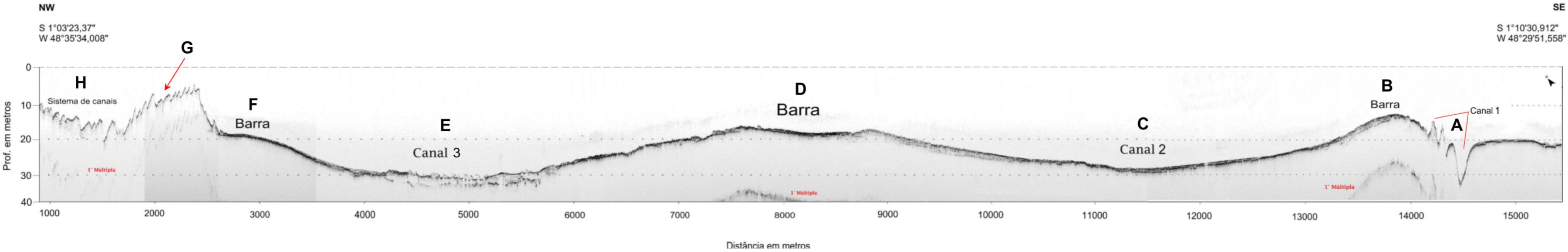
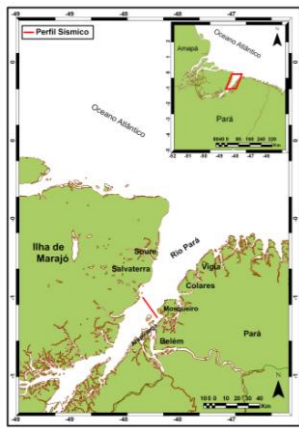


Figura 21: Perfis sísmicos e batimétrico referente ao trecho Marajó-Baía de Santo Antônio. As letras mostram a relação morfológica existente em ambos os perfis.

No Registro composto Marajó-Baía de Santo Antônio (figura 23) é mostrado um maior detalhe das regiões onde há reflexo da dinâmica, em B, marcada pelo sistema barra-canal e o campo de *sandwaves* (porção C).

Na porção A é detalhada a barra arenosa destacando as Sismo-Unidades que compõem o registro sísmico.

Registro Sísmico Composto Trecho Marajó-Baía de Santo Antônio (000-001) Frequência 7-12 kHz

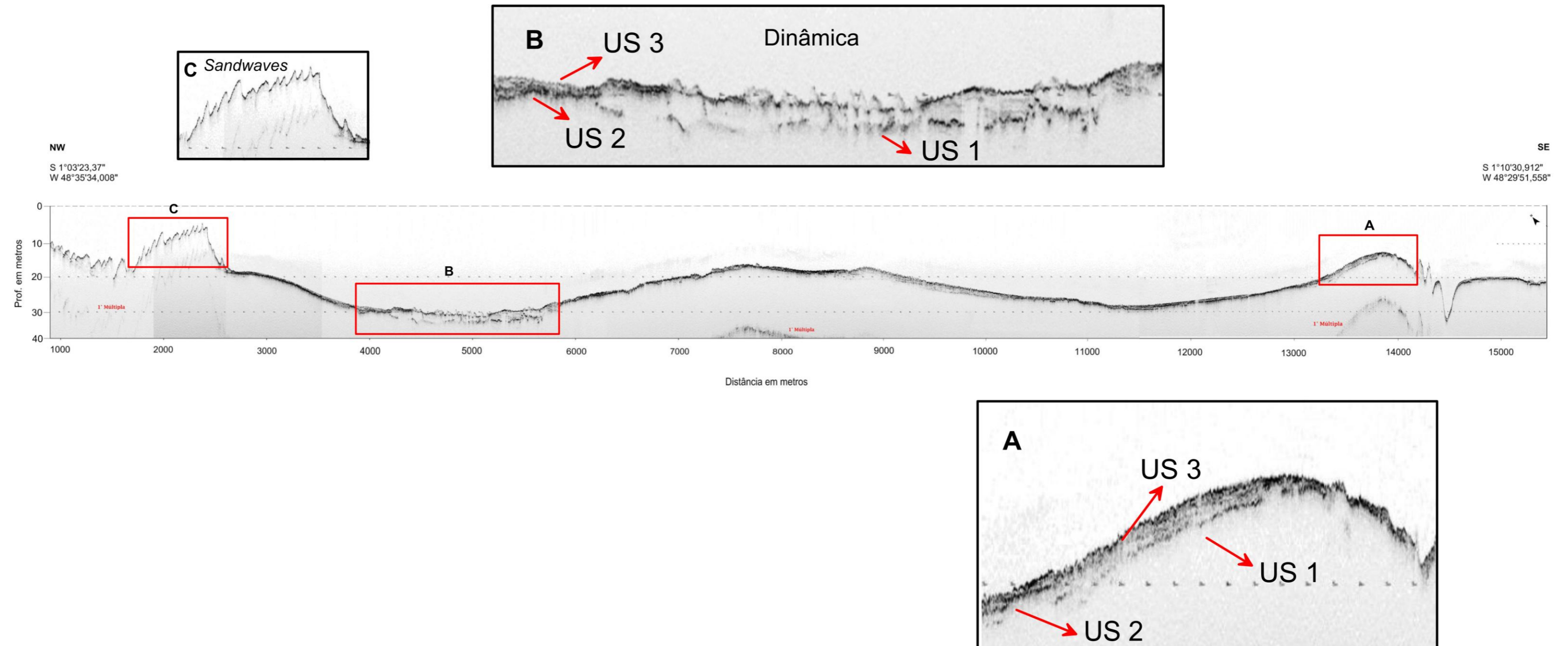


Figura 22: Registro Sísmico Composto mostrando regiões onde as Sismo-Unidades são evidentes (A e B). A porção que apresenta a *sandwave* (C) e a porção que denota maior dinamismo.

A seção que segue o trecho Arapiranga-Santana (figura 24) possui 50 metros de profundidade com direção SE/NW. Tem início nas proximidades da ilha de Arapiranga prolongando-se em direção NW até a ilha de Marajó, margem esquerda da baía.

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, apontado em E (18000 metros do perfil), atingindo uma profundidade média de 7 metros.

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.

As estruturas morfológicas apresentadas caracterizam uma região cuja hidrodinâmica é menos intensa comparada às demais morfologias analisadas. O relevo pouco movimentado denota uma composição sedimentológica muito fina basicamente lamosa caracterizando a área como deposicional por decantação.

Vale ressaltar que essa região segundo o mapa de distribuição das áreas representativas da hidrodinâmica apresentado por Corrêa (2005), se encaixa no grupo III-A onde denota área composta por sedimentação basicamente arenosa depositados sob hidrodinâmica forte entrando em contradição ao apresentado pela seção sísmica acima descrita.

Registro Morfológico Comparativo Arapiranga-Santana

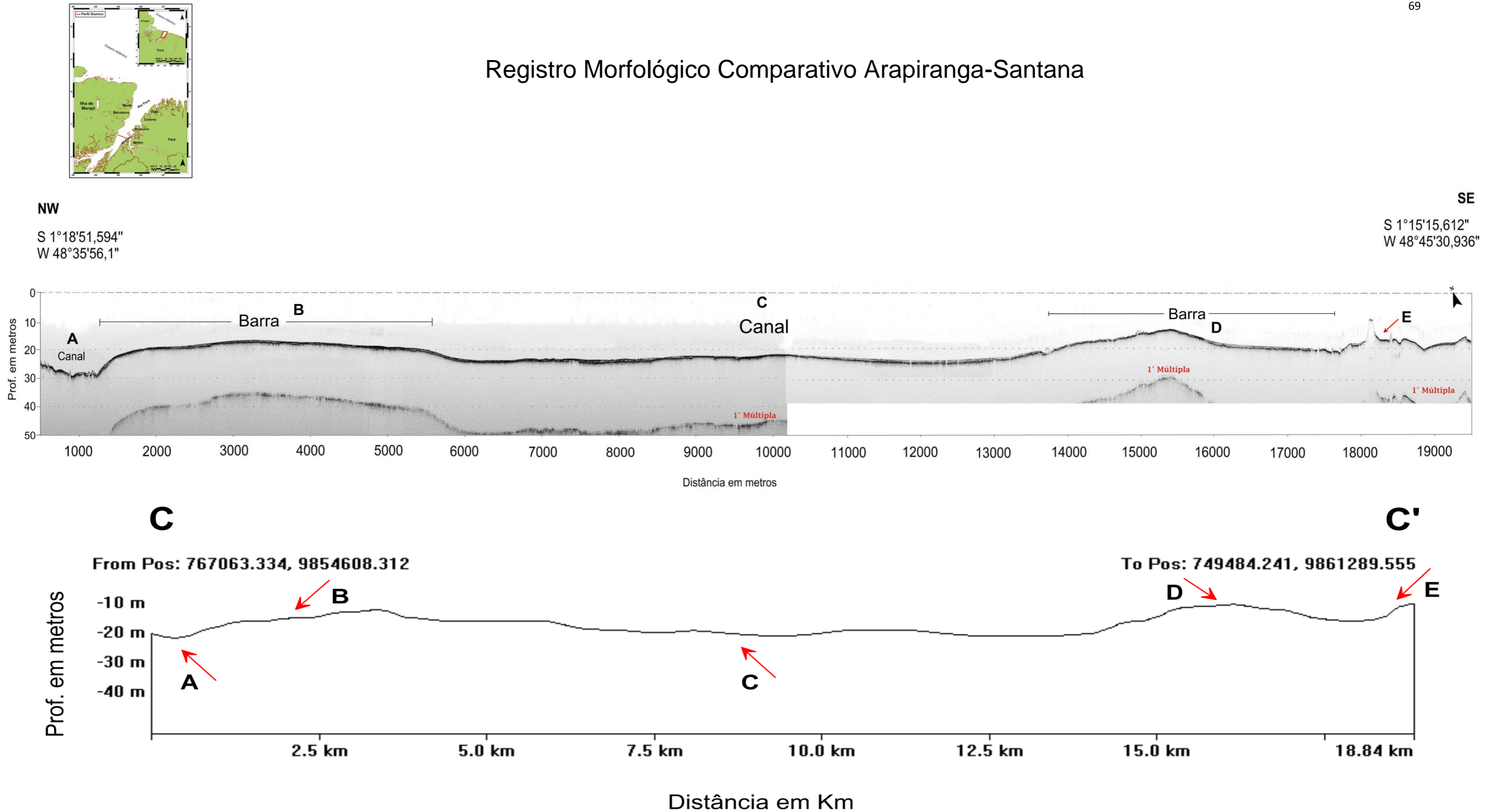


Figura 23: Perfis sísmico e batimétrico referente ao trecho Arapiranga-Santana. As letras mostram a relação morfológica existente em ambos os perfis.

A partir da análise comparativa entre os perfis sísmicos e batimétricos, foi possível observar relações existentes entre as estruturas morfológicas apresentadas em ambos os perfis referentes às três áreas em questão levando em consideração o fato dos perfis batimétricos serem extraídos da carta náutica referente ao ano de 2007 tendo em vista o ano de levantamento dos dados sísmicos (2006) onde mudanças nas estruturas apresentadas podem ter ocorrido durante esse intervalo de tempo o que não comprometeu na relação entre as morfologias.

Além disso, a variação de 1,5 km entre a escala do perfil batimétrico e sísmico também não influenciou na comparação entre as morfologias.

As estruturas correspondentes revelam que as morfologias apresentadas nas seções sísmicas são semelhantes às apresentadas através da carta náutica evidenciando suas irregularidades topográficas e ainda a presença de duas áreas que comprovam a diferença na dinâmica sedimentar e de circulação no estuário da baía de Marajó. A área onde predominam o relevo de bancos, canais e barras estão concentrados na margem oeste da baía de Marajó e a área que compõe o relevo mais suave e com canais localizados são reconhecidos na margem leste da baía. Porém, fica evidente que as seções sísmicas, por apresentarem dados com grande precisão e resolução submétrica, refletem padrões mais detalhados da morfologia subsuperficial da área sendo possível o reconhecimento dos pacotes sedimentares e das feições em menor e escala.

5 CONCLUSÕES

A baía de Marajó é um sistema dinâmico, complexo e variável fato esse evidenciado pela identificação do conteúdo sedimentar superficial de fundo a partir do método sismo-estratigráfico das Unidades Sísmicas reconhecidas.

O padrão acústico apresentado pelas Unidades sísmicas 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) visivelmente consolidada e sedimentos inconsolidados como areia, ambos depositados em regime hidrodinâmico de menor e maior energia respectivamente.

Os principais fatores que controlam o processo de sedimentação do estuário da baía de Marajó são as correntes de marés e as correntes fluviais, com efeitos de ondas e diferenças de densidade entre água doce e salgada.

Tendo como base comparativa o trabalho de Corrêa (2005) com os resultados aqui apresentados a partir da relação entre as características morfológicas das seções sísmicas com as batimétricas, estas 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 preferencialmente por decantação ou floculação.

Portanto, pode-se dizer que o estuário da baía de Marajó tem uma larga integração entre as correntes fluviais, as correntes de marés e o regime de ondas onde se permite classificá-lo de um ambiente altamente dinâmico e de energia mista.

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.

Partindo dessa visão, a continuação do estudo sobre a região em questão a partir do método da sísmica de alta resolução se faz necessário a fim de proporcionar a análise complementar sobre a geologia e geomorfologia da região do estuário da baía de Marajó e adjacências.

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.
- BARBOSA, G. V.; RENNÓ, C. V. & FRANCO, E.M.S. 1974. **Geomorfologia da Folha SA-22**. Belém. In: Projeto Radambrasil, v.5. DNPM, Rio de Janeiro.
- BEMERGUY, R. L. **Morfotectônica e evolução paleogeográfica da região da calha do Rio Amazonas**. Tese de Doutorado – NCGC-UFPA, Belém (PA). 1997. 200 p.
- BEMERGUY, R. L. **Estudo Sedimentológico dos Paleocanais da Região do Rio Paracauari, Ilha do Marajó – Estado do Pará**. Dissertação de Mestrado – NCGG-UFPA. Belém (PA), 1981. 95 p.
- 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.
- DAVIS, R. A., **Coastal Sedimentary Environments**. 2nd ed. USA: Halliday Lithograph, 1985.
- DALRYMPLE, R. W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. 1992. **Estuarine facies models: Conceptual basis and stratigraphic implications**. Journal of Sedimentary Petrology, 62. 1130 – 1146.
- 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.
- FRANZINELLI, E., 1976, **Contribuição à Sedimentologia da Baía de Marajó**. Rel. Int. SUDAM – DNOS – IDESP, Belém, Pa.12p.
- EL-ROBRINI, M. 1990. **Evolution Rapide des Founds d'um Zone Estuarienne: Le Secteur d'Itaqui – Baía de São Marcus**. Brasil. In: Simp. Int.

Sur L'Évolut dès Litt. Dês La Zone Car. Mérd. Pendant le Quatern. 9-14, Nov. 1990. Vol. des Résumés, pp. 58-62.

FAIRBRIDGE, R. W., 1980. **The estuary: its definition and geodynamic cycle.** In: Olausson, E., and Cato, I. (eds.), *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Pp. 1-36.

FÁVERA, J. C. D. **Fundamentos de Estratigrafia Moderna.** 2001. Rio de Janeiro. Ed. UERJ. 264p

GOMES, M. P., **Aquisição, Processamento e análise de dados de Sísmica de alta resolução na Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte: Vale Inciso do Rio Açu.** 2009. Centro de Ciências exatas e da Terra. UFRN. Dissertação de Mestrado. 125p.

Lima, R.R. 1979. **A Influência da Água do Mar no Rio Pará.** Belém, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. (Informe Técnico nº 3).

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.

MARTINS, S. E. M.; **Geologia e Sedimentologia dos Depósitos sedimentares recentes da porção superior do estuário do Rio Pará (baía de Marajó, Amazônia).** 2010. Instituto de Geociências. UFRGS. Dissertação de Mestrado. 124p.

MASSELINK H.; **Introduction to Coastal Processes & Geomorphology.** Ed. Arnold. London, 2003.

MIRANDA L.B., CASTRO B.M., KJERFVE B. **Princípios de oceanografia física de estuários.** Editora da Universidade de São Paulo, 2002. São Paulo, 411 p.

MITCHUM, R.M. JR.; VAIL, P.R. SANGREE, J. B. **Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 6: Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences.** Tulsa, Oklahoma, U.S.A, 1977

OTTMANN, F. **L'étude dès problemes estuarines.** *Révue le Geographie Phisique et Géologie Dynamique.* v.10, n. 2, p. 329-353, 1968.

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.

PINHEIRO, R. V. 1987. **Estudo Hidrodinâmico e Sedimentológico do Estuário Guajará-Belém**, 1987. 169p. Dissertação de Mestrado.

PRITCHARD, D.; 1967. **What is an Estuary: Physical View-Point Estuaries.** In: half, G.H.; Ed. Am. Assoc. Advance. Sci, Washington, 83: 3-5.

PROJETO RADAM. 1974. **Folha AS-22, Belém. Levantamento de Recursos Naturais.** DNPM. Rio de Janeiro, V. 5.

RIBEIRO, H. J. P. **Estratigrafia de seqüências – fundamentos e aplicações.** São Leopoldo, 2000.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs.** In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. **GEOMORFOLOGIA E MEIO AMBIENTE.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. 1996, p.291-336.

ROSSETI, D. **Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes.** Journal of South American Earth Sciences. N.º 14, 2001, p.77-89.

ROSSETI, D. F.; Valeriano, M. M.; Thallês, M. **An abandoned estuary within Marajó Island: implications for late quaternary paleogeography of northern Brazil.** *Estuaries and Coasts*, v. 30, n.5, p. 813-826. 2007.

ROSSETI, D. F.; Góes, A. M.; Valeriano, M. M.; Thallês, M. **Paleodrainage in Marajó Island (northern Brazil) and its relation to Holocene relative sea-level dynamics.** *Holocene*, v. 18, p. 923-934. 2008a.

ROSSETI, D. F.; Góes, A. M.; Valeriano, M. M.; Miranda, M. C. C. **Quaternary tectonics in a passive margin: Marajó Island, northern Brazil.** *Journal of Quaternary Science*, v. 23, p. 121-135. 2008b.

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.

SOUZA, R. R de. **Modelagem numérica da circulação de correntes de maré na Baía de Marajó e Rio Pará (PA)**. São Paulo: USP. 2006. 159p.

VAIL, P.R et. al. **Eustatic controls on clastic deposition I: conceptual framework**. Texas, 1988.

VILLEGAS, J. M. C.; 1994. **Geologia Estrutural da Bacia do Marajó**. Belém-Pa – Instituto de Geociências – Universidade Federal do Pará - Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Geologia). 128p.