

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**MAPEAMENTO DE FACEIS SISMICAS ASSOCIADA A
PRESENÇA DE GAS EM SUBSUPERFICIE ATRAVES DE
SISMICA RASA NO SACO DA COROA GRANDE, BAIA DE
SEPETIBA, RJ**

Rodolpho da Silveira Abílio

Niterói – RJ

2017

RODOLPHO DA SILVEIRA ABÍLIO

Mapeamento de Fáceis Sísmicas associada a presença de gás em
Subsuperfície Através de Sísmica Rasa do Saco da Coroa Grande, Baía de
Sepetiba, RJ

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Curso de Graduação
em Geofísica da Universidade
Federal Fluminense, como requisito
parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geofísica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Jose Antônio Baptista Neto.

Niterói – RJ

2017

Rodolpho da Silveira Abílio

Mapeamento de Fáceis Sísmicas associada a presença de gás em
Subsuperfície Através de Sísmica Rasa do Saco da Coroa Grande, Baía de
Sepetiba, RJ

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jose Antônio Baptista Neto– UFF / LAGEMAR

Prof. Dr. Cleverson Guizan Silva– UFF / LAGEMAR

Niterói – RJ

2017

RESUMO

O recorte utilizado por esse estudo abrange a porção Norte-Nordeste da Baía de Sepetiba, mais especificamente a região do Saco da Coroa Grande, limitado a sul pelas Ilhas da Madeira e de Itacuruçá. O Saco da Coroa Grande caracteriza-se por ser uma região de baixa energia, com presença predominante de sedimentos lamosos. O presente estudo tem como objetivo o reprocessamento e a reinterpretação de dados de sísmica rasa adquiridos em 2009. Os dados sísmicos foram obtidos utilizando o perfilador monocanal da marca *ODEC StrataBox*, que opera em uma frequência máxima de 7Khz. A escolha do tipo do equipamento levou em consideração a predominância de sedimentos finos na região. Este equipamento é comumente utilizado em levantamentos sísmicos em água rasa. O atual estudo identificou dois refletores principais sendo eles: o Fundo Marinho e o Embasamento Acústico. Os sismogramas também permitiram a visualização de um possível canal na região, o que foi corroborado pela análise dos dados batimétricos, obtidos para compor o trabalho. Ainda, é clara a identificação da presença de gás em boa parte do dado sísmico, evidenciado por total mascaramento acústico das estruturas sedimentares nos sismogramas. Estruturas como paleocanais, que foram utilizadas como fonte de pesquisa para narração da história evolutiva da Baía de Sepetiba por outros estudos, também foram mapeadas nesse trabalho.

Palavras chaves: Baía de Sepetiba, Sísmica Rasa, Sísmica de reflexão, Sísmica de alta resolução.

ABSTRACT

The approach used in this study covers the north-east portion of the Sepetiba Bay, specifically the region named Saco da Coroa Grande, limited southward by the Madeira and Itacuruçá islands. The Saco da Coroa Grande is characterized by being a low energy environment, dominated by the presence of muddy sediments. This study aimed to reprocessing and reinterpretation shallow seismic data acquired in 2009. The seismic data were obtained using single-channel profiler brand ODEC StrataBox, which operates at a maximum frequency of 7Khz. The equipment selection considered the predominance of fine sediments at this area. Also, this kind of equipment is commonly used in shallow water seismic surveys. The current study identified two main seismic reflectors: the Sea Floor and the Acoustic Basement. The seismograms also allowed the visualization of a possible channel in the region, which could be corroborated using the bathymetry data gathered to compose the work. Also, the presence of gas is clear identified in most the seismic data, evidenced by a total acoustic masking of the sedimentary structures in the seismograms. Structures such as paleochannels, which were used by other studies to support research on Sepetiba Bay's evolutionary history, were also mapped in this work.

Key words: Sepetiba Bay, Shallow water seismic, Seismic reflection, High Resolution Seismic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de Estudo. No detalhe, o Saco da Coroa Grande.	3
Figura 2. Mapa geológico da área da Baía de Sepetiba (Goes, 1942). Retirado de Silva (2006)..	4
Figura 3. Modelo evolutivo da Baía de Sepetiba, proposto por Pereira (1998). Bloco 1- Transgressão; Blocos 2 e 3 – Regressão e Bloco 4 – Fase atual (retirado de Silva (2006)).	6
Figura 4. Modelo de formação da Baía de Sepetiba proposto por Friederichs et al. (2013).	8
Figura 5. Interpretação da Baía de Sepetiba em dois estágios de nível do mar diferentes:(A) Nível do mar baixo no final do Pleistoceno e (B) Nível do mar alto (Borges & Nittrouer, 2015).	9
Figura 6: Mapa de distribuição de sedimentos da Baía de Sepetiba (Extraído de Bronnimann et al., 1981).....	10
Figura 7. Análise granulométrica dos sedimentos de fundo no Saco da Coroa Grande (adaptado de Sousa, 2011)	12
Figura 8: Representação gráfica das ondas de corpo (primárias e secundárias 1 e 2) e superficiais (3 e 4). Adaptado de Incorporated Research Institutions for Seismology 2017 - (www.iris.edu, acessado em janeiro de 2017).....	15
Figura 9. Energia sísmica sendo refletida e transmitida. V corresponde a velocidade e ρ corresponde a densidade (Ayres Neto, 2001).....	17
Figura 10: Linhas sísmicas obtidas entre 2009 (em vermelho) e em 2010 (em azul). Retirado de Sousa, 2011.	23
Figura 11: Perfilador de alta resolução da marca ODEC StrataBox, monocanal.....	24
Figura 12. Linhas sísmicas utilizadas neste trabalho. Datum WGS84.....	25
Figura 13. Linha 13, demonstrando os refletores principais encontrados. Em vermelho, o fundo marinho e em verde o embasamento acústico.	26
Figura 14. Linha R11 mostrando a presença dos refletores subjacentes 2 e 3.	26
Figura 15: Linha R12 mostrando a presença dos refletores subjacentes 2 e 3.	27
Figura 16. Grid do relevo de fundo da área de estudo criado a partir da interpolação FlexGriding. Mostrando a presença de um possível canal na região.	28
Figura 17. Mapa demarcando as localizações das regiões em que a visibilidade do sismograma foi interrompida, provavelmente associado a presença de gás (em vermelho).	28
Figura 18. Linha sísmica R20. Mostrando a presença dos paleocanais e dos “apagões acústicos”.	30
Figura 19. Linha sísmica L 16. Mostrando os principais refletores. Em vermelho o Fundo Marinho e em verde o embasamento acústico.....	31
Figura 20. Comparação entre os dados batimétricos obtidos por Sousa (2011) e os obtidos pelo presente estudo.	32
Figura 21. Comparação entre as estruturas identificadas por este trabalho e as reportadas na literatura. Em a – cortina acústica; b – sombra negra e c – pináculos de turbidez.	36
Figura 22: Sismogramas mostrando a presença de depressões curvilíneas classificadas como paleocanais em Sousa, (2011) – (A); Friederichs et al., (2013) - (B) e pelo presente estudo - (C), exemplificado pelo sismograma da linha R20.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de alterações nos sismogramas associados à presença de gás em subsuperfície. (continua)	19
Tabela 2. Exemplos das fácies acústicas mais frequentemente encontradas nos sismogramas do Saco da Coroa Grande.....	29
Tabela 3. Comparativos das interpretações dos distúrbios identificados como gás em outras regiões (continua).....	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO GERAL	2
3	OBJETIVO ESPECIFICOS	2
4	AREA DE ESTUDO	2
4.1	Localização	2
4.2	Geologia da Baía de Sepetiba.....	3
5	PRINCIPIOS DO LEVANTAMENTO SISMICO	13
5.1	A sísmica de reflexão em meio marinho	16
6	REGISTRO SÍSMICO DE GÁS EM SUBSUPERFÍCIE.....	17
7	METODOLOGIA	23
8	RESULTADOS.....	24
9	DISCUSSAO RESULTADOS.....	30
10	CONCLUSAO	38
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

A sísmica rasa ou de alta resolução é amplamente utilizada em expedições acadêmicas para mapeamento raso de subsuperfície de estruturas submarinas e vem sendo muito utilizada na caracterização da presença de gás em regiões costeiras.

A área de estudo encontra-se ao norte da Baía de Sepetiba entre as ilhas Itacuruçá, ilha Madeira e o continente denominado de Saco da Coroa Grande. Essa área foi escolhida devido ao interesse da comunidade científica em desvendar a história evolutiva do local (Sousa, 2011; Borges & Nittrouer, 2015 e Friederichs *et al.*, 2013). Além disso, vários autores têm procurado evidenciar a presença de gás em zonas costeiras (Garcia-Gil *et al.*, 2002; Judd *et al.*, 2002; Dimitrov, 2002; Felix, 2012; Fleischer *et al.*, 2001; Baptista Neto *et al.*, 1996 e Catanzaro *et al.*, 2004), já que existe uma percepção que o gás que escapa destas acumulações pode agravar o aquecimento global (Garcia-Gil, 2002).

Neste trabalho, a sísmica de alta resolução foi utilizada devido a seu alto poder de detalhamento de subsuperfície terrestre. Para a interpretação foram utilizados os softwares *Kingdom8.2*, para interpretação básica, e *Seismic Unix*, para reprocessamento.

Esse trabalho envolveu a identificação dos refletores sísmicos principais encontrados no Saco da Coroa Grande, como o fundo marinho e embasamento acústico. Além disso, este estudo procurou mapear possíveis canais encontrados atualmente na região. Essas informações podem ser utilizadas por futuros pesquisadores para melhorar o entendimento da evolução geológica local, além de contribuir para o mapeamento de zonas de gás em subsuperfície nas regiões costeiras do litoral brasileiro.

2 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo estudar o pacote sedimentar e os processos sedimentares no Saco da Coroa Grande, através do processamento e a interpretação de dados de sismica rasa adquiridos em 2009.

3 OBJETIVO ESPECIFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Observar as camadas sedimentares e correlacionar com os processos geológicos;
- Identificar estruturas sísmicas;
- Caracterizar os tipos de fáceis;
- Mapear o embasamento cristalino;
- Avaliar a presença de outras estruturas ligadas à formação geológica e geomorfológica;

4 AREA DE ESTUDO

4.1 Localização

A Baía de Sepetiba está localizada no litoral sudoeste do Estado do Rio de Janeiro. Ao Norte, a Baía de Sepetiba é limitada pelo litoral dos municípios de Santa Cruz, Sepetiba e Itaguaí. À Leste, delimita-se pela planície de maré de Guaratiba. Ao Sul, é demarcada por um cordão arenoso denominado de Restinga da Marambaia e à Oeste pelas ilhas de Itacuruçá e Jaguanum. A área de estudo é o Saco da Coroa Grande, que se encontra na região norte da Baía de Sepetiba delimitada pela Ilha da Madeira e Ilha de Itacuruçá, em sua parte mais costeira.

Na Figura 1 está sendo apresentada a Área de Estudo deste trabalho.



Figura 1. Área de Estudo. No detalhe, o Saco da Coroa Grande.

4.2 Geologia da Baía de Sepetiba

A geologia da Baía de Sepetiba é representada por planícies litorâneas quaternárias e pelo embasamento que constitui a Serra do Mar. As serras que circundam a Baixada de Sepetiba são constituídas de rochas granito-gnáissicas intercaladas por veios de diabásio notando-se, também, grande quantidade de piritas, em cubos isolados ou geminados, com suas estrias características (Bronnimann *et al.*, 1981).

O Maciço do Gericinó-Marapicú, que limita a baixada à leste, é constituído por uma rocha efusiva da família dos fonólitos (Goes, 1942 *apud* Silva, 2006) conforme pode ser observado na Figura 2.

A Baía de Sepetiba tem como principais composições geológicas as rochas ígneas e metamórficas, que fornecem o arcabouço do relevo, as rochas intrusivas básicas e alcalinas de idade Mesozoicas-Terciárias, presentes na forma de diques, e os sedimentos quaternários tais como sedimentos fluviais, de canais de mare e de mangue, constituindo a baixada de Sepetiba e a Restinga da Marambaia (Ponçano *et al.*, 1979 *apud* Silva, 2006).

A Baía de Sepetiba é caracterizada por forte ascensão continental e depressão da região da plataforma continental por meio de falhamentos que se processaram durante o Mesozóico e Cenozóico (Ponçano *et al.*, 1979 *apud* Silva, 2006).

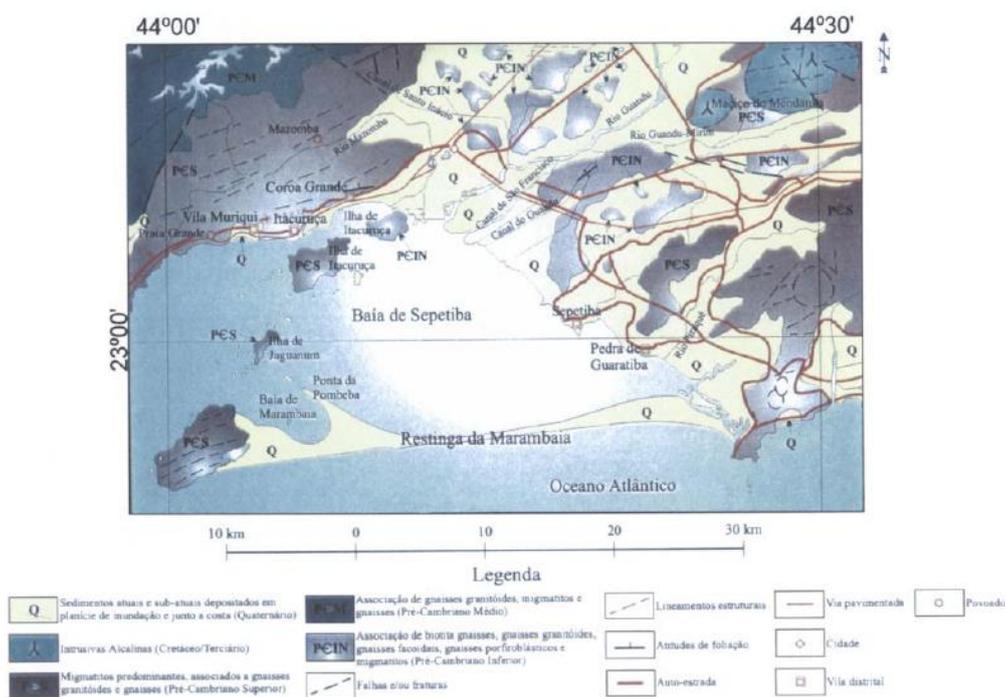


Figura 2. Mapa geológico da área da Baía de Sepetiba (Goes, 1942). Retirado de Silva (2006)

Alguns autores tentaram recriar de forma teórica o que ocorreu para a formação da Baía de Sepetiba e a Restinga da Marambaia. Entre esses autores, Lamego (1945) foi o primeiro a tentar explicar a evolução da Baía de Sepetiba (Silva, 2006).

Para Lamego, o fechamento da baía ocorreu por meio da formação e crescimento de uma faixa arenosa na direção de oeste para leste. Esses sedimentos teriam sido transportados pelos rios Guandu e Itaguaí, impedidos de serem carregados rumo à Baía da Ilha Grande pelo cordão de ilhas existentes a oeste (Lamego, 1945).

Outros autores que tentaram explicar a evolução teórica desta área foram Ponçano e colaboradores (1979 *apud* Silva, 2006). Segundo os autores, a formação da Baía de

Sepetiba está ligada a formação da restinga da Marambaia, que é a estrutura geológica responsável pelo semi-confinamento da Baía. A restinga da Marambaia teria sido formada em nível do mar mais baixo do que o atual, de idade anterior à transgressão Flandriana, tendo iniciado como um esporão que surgia do morro da Guaratiba, se formando em direção a oeste (Silva, *op. cit.*).

Com a evolução dessa estrutura, a ação eólica propiciou o crescimento lateral e vertical, pela formação de dunas. Junto com a evolução do esporão começavam a surgir coroas arenosas próximas a ilha de Marambaia, dando origem a barras alongadas que fechavam pequenos corpos d'água. Para Ponçano e colaboradores (1979 *apud* Silva, 2006), a restinga se fechou devido ao seu assoreamento, que ocorreu após as águas terem passado pela sua parte central, permitindo que se formasse o canal de Guaratiba.

Segundo Pereira (1998), a formação da planície costeira da área de Guaratiba teve dois ciclos: (i) um transgressivo e (ii) outro regressivo com dois eventos transgressivos menores (Figura 3). No evento transgressivo, o mar depositou sedimentos siltosos nas áreas mais baixas do continente, já que o nível se encontrava maior que o atual. Com o recuo gradativo do mar, foram depositadas areias formando o primeiro cordão arenoso e desenvolvendo uma laguna. Em seguida, foram depositados sedimentos lamosos com baixa quantidade de areia em um período de submersão, proporcionando a evolução do cordão arenoso em direção ao continente (Pereira *op. cit.*).

O segundo cordão arenoso, que se formou após o evento regressivo, deu origem a uma restinga (Pereira 1998). Um evento menor que o anterior de transgressão, gerou a migração do segundo cordão arenoso no sentido do continente. O último evento regressivo, que dura até hoje, permite que a Baía de Sepetiba tenha a sedimentação típica de manguezal (Pereira *op. cit.*).

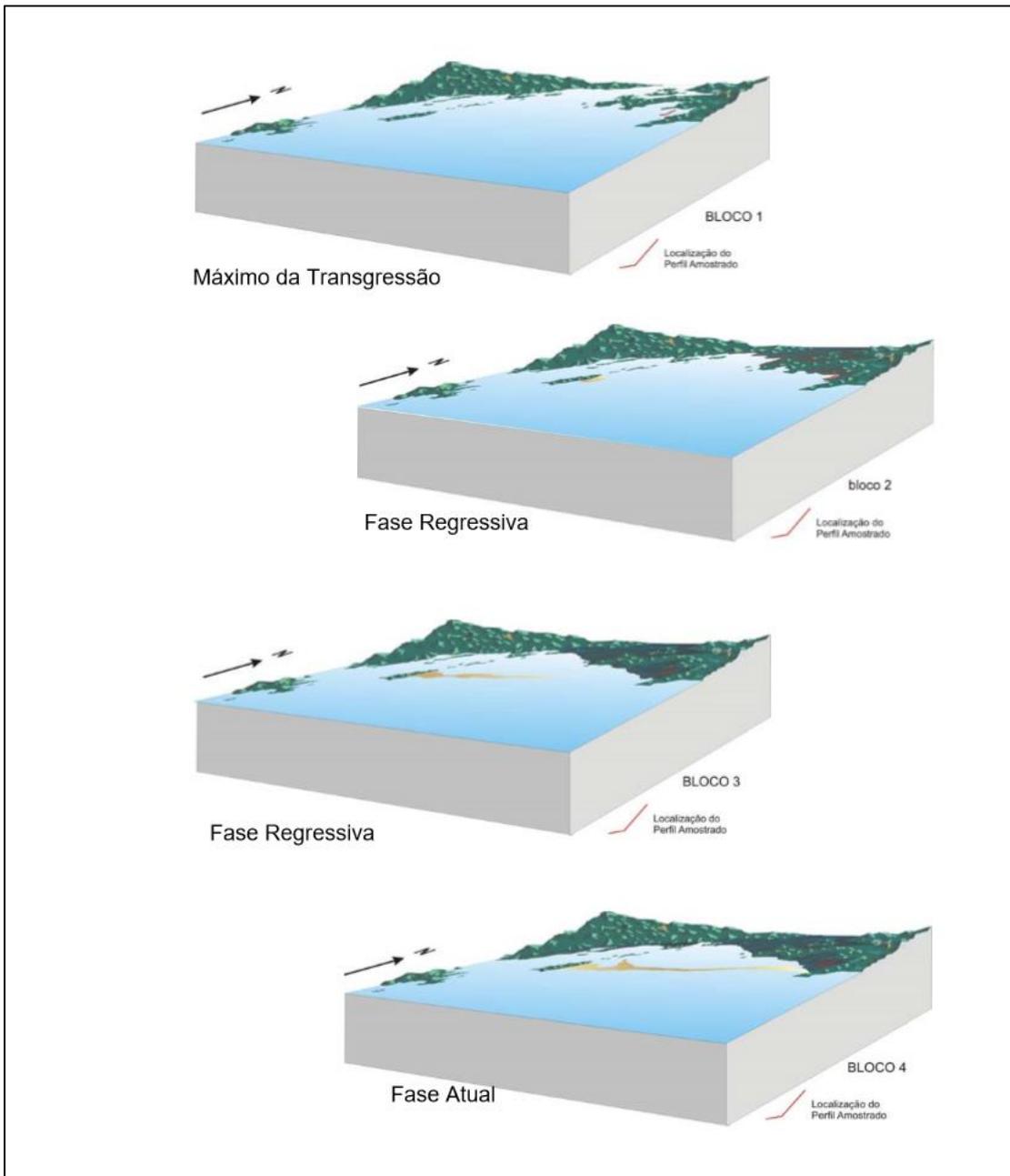


Figura 3. Modelo evolutivo da Baía de Sepetiba, proposto por Pereira (1998). Bloco 1- Transgressão; Blocos 2 e 3 – Regressão e Bloco 4 – Fase atual (retirado de Silva (2006).

Para Friederichs *et al.* (2013) a história continental da Baía de Sepetiba pode ser contada através da rede de drenagem fluvial. O pré-afogamento transgressivo é registrado na sísmica e na estratigrafia da região através da preservação de canais fluviais na plataforma, até o máximo regressivo (22 –18 ka), mostrando um sistema fluvial maduro que está ligado a bacia de drenagem atual. Além disso, a presença de canais fluviais na

plataforma rasa mostra que o embasamento cristalino não teve elevação suficiente para impedir a passagem e o escoamento da rede fluvial que alimenta a baía para a plataforma rasa adjacente na queda do nível de base da glaciação do Pleistoceno Superior (~130 – 18 ka) (Friederichs *et al.*, 2013).

Ainda segundo Friederichs *et al.* (2013) a última deglaciação (~22 – 18 ka até ~8 ka A.P) provocou uma rápida elevação do nível do mar, isto é, o afogamento repentino do sistema fluvial existente, formando um ambiente estuarino aberto em uma área mais afastada da atual restinga da Marambaia. Esse ambiente é identificado no registro estratigráfico como uma complexa rede de feições canalizadas com evidências de várias migrações laterais do sistema flúvio-estuarino.

A mudança de um ambiente estuarino aberto para um ambiente estuarino parcialmente fechado se evidencia na presença de várias gerações de canais rasos de até 5 metros de profundidade com intensa migração lateral. Esses canais foram interpretados por Friederichs e colaboradores (2013) como sendo canais de maré, o seu desenvolvimento foi relacionado com a desaceleração da transgressão a partir de ~8 ka.

A presença desses canais mais próximos e mais elevados estratigraficamente corrobora com a teoria que as ilhas barreiras são feições transgressivas (Friederichs *et al.*, 2013).

Para Friederichs *et al.* (2013) a arquitetura da Restinga da Marambaia corresponde a deposição de uma feição regressiva. Sendo assim, a atual Baía de Sepetiba, isolada por uma ilha-barreira contínua de 45km de comprimento, representaria uma nova modificação ambiental e da dinâmica do estuário. A ausência dos canais de maré nos registros sismoestratigráficos e o caráter regressivo da deposição da restinga atual indicam modificações na dinâmica deposicional.

Ainda segundo esses autores (Friederichs *et al.*, 2013), o fechamento do sistema estuarino de Sepetiba se deu através de uma sucessão de fases de construção e destruição de ilhas-barreiras isoladas, sendo o único registro dessas ilhas-barreiras os paleocanais de maré preservados (Figura 4). A restinga atual é correlata a uma fase deposicional regressiva, iniciada após o máximo transgressivo na região, apontado por vários autores como tendo ocorrido há ~5,8 ka A.P. (Martin *et al.*, 2003 e Angulo *et al.*, 2006).

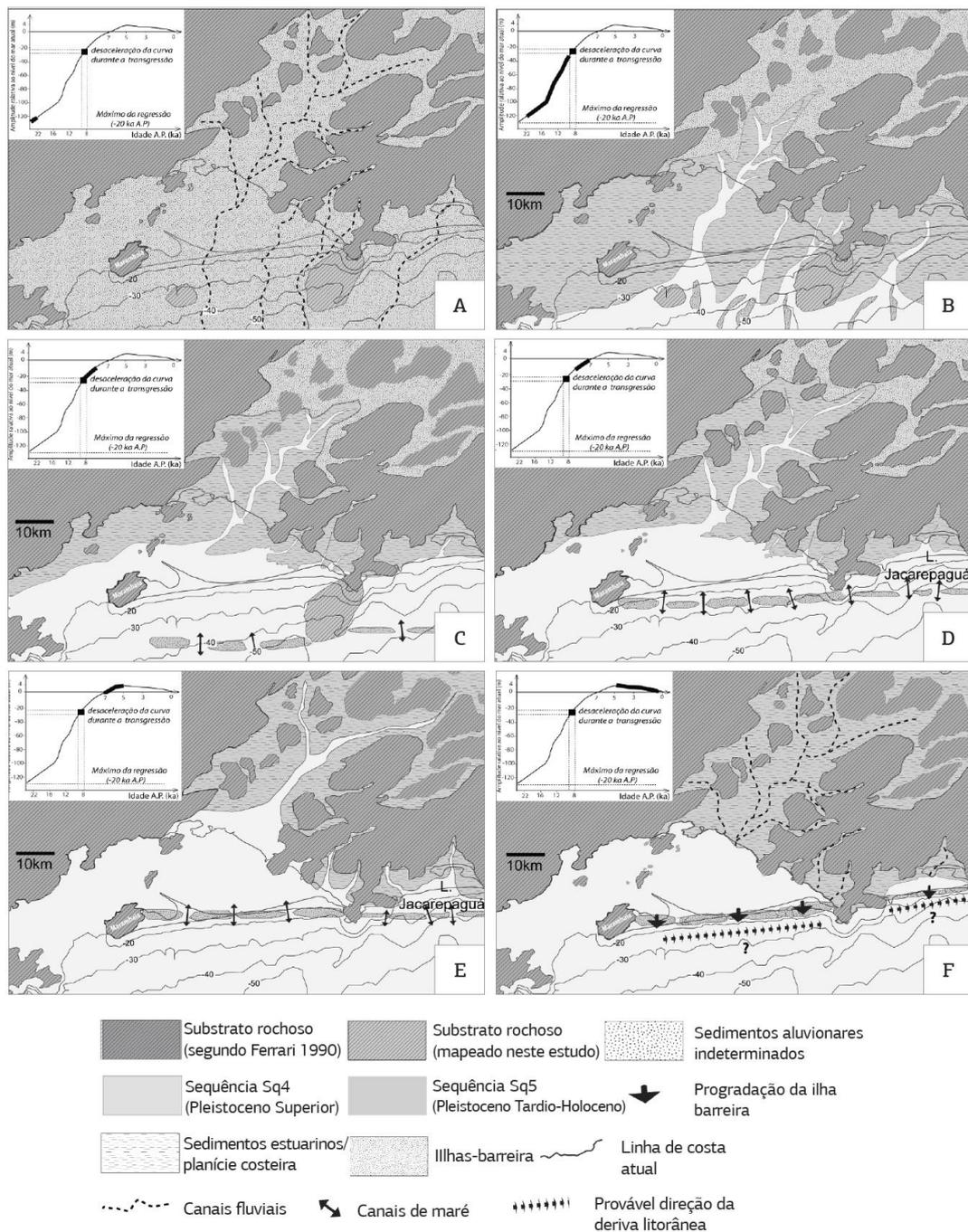


Figura 4. Modelo de formação da Baía de Sepetiba proposto por Friederichs *et al.* (2013).

Os resultados apresentados por Borges & Nittrouer (2015) também corroboram com a tese de que a dinâmica da baía de Sepetiba tenha sido afetada pela rápida elevação do nível do mar, que soterrou canais e depressões. Entretanto, segundo os autores (Borges & Nittrouer, 2015), a formação da Restinga de Marambaia seguiu um processo diferente do descrito por Friederichs *et al.* (2013).

Para Borges & Nittrouer (2015), o cordão arenoso da Marambaia já existia na porção leste ligada a Barra de Guaratiba. Essa teoria é sustentada por dados sísmicos obtidos na Restinga da Marambaia e por análise de depósitos sedimentares. A identificação de depósitos sedimentares finos na lateral da Restinga da Marambaia com idade geológica compatível ao final do Pleistoceno, ratifica essa teoria. Essa estrutura foi provavelmente formada em uma época anterior, em que o nível do mar era mais elevado (Borges & Nittrouer *op. cit.*).

Ainda, a teoria defendida por Borges & Nittrouer (2015) também permite explicar a configuração Leste-Oeste atualmente encontrada nos ambientes sedimentares. Na porção leste, encontra-se um ambiente sedimentar de dunas e vegetação bem desenvolvida, enquanto a oeste, percebe-se um ambiente sedimentar imaturo, característico de praia. Os autores sugerem que as correntes oceânicas foram responsáveis pelo desenvolvimento da Restinga da Marambaia até o seu estado atual (Figura 5).

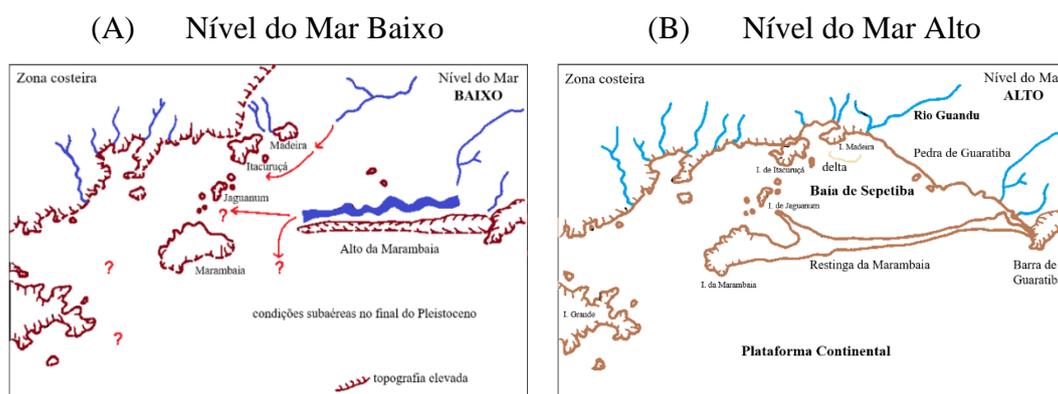


Figura 5. Interpretação da Baía de Sepetiba em dois estágios de nível do mar diferentes: (A) Nível do mar baixo no final do Pleistoceno e (B) Nível do mar alto (Borges & Nittrouer, 2015).

Os sedimentos encontrados na Baía de Sepetiba são principalmente compostos por sedimentos clásticos finos, argilo-silticos e areno-silticos, que são trazidos pelos rios, sendo o rio Guandu o maior fornecedor de sedimento externo (Ponçano, 1976). As areias são fornecidas pela erosão da Ilha Barreira, enquanto a matéria orgânica é proveniente dos manguezais e das planícies de mare. A produção de carbonato de cálcio é autóctona, ou seja, feita pela própria biota da baía (Ponçano, *op. cit.*).

As colunas estratigráficas da Baía de Sepetiba permitem reconhecer ambientes fluviais, de canais de maré e de mangue, em uma sequência transgressiva (Ponçano *et al.*, 1979 *apud* Silva, 2006).

Na Figura 6, observa-se que a distribuição dos sedimentos se processa através da atuação do movimento das marés, ação de correntes internas, existência de distintos níveis de energia e deposição de argilo-minerais pelo fenômeno a flocculação (Brönnimann *et al.*, 1981).

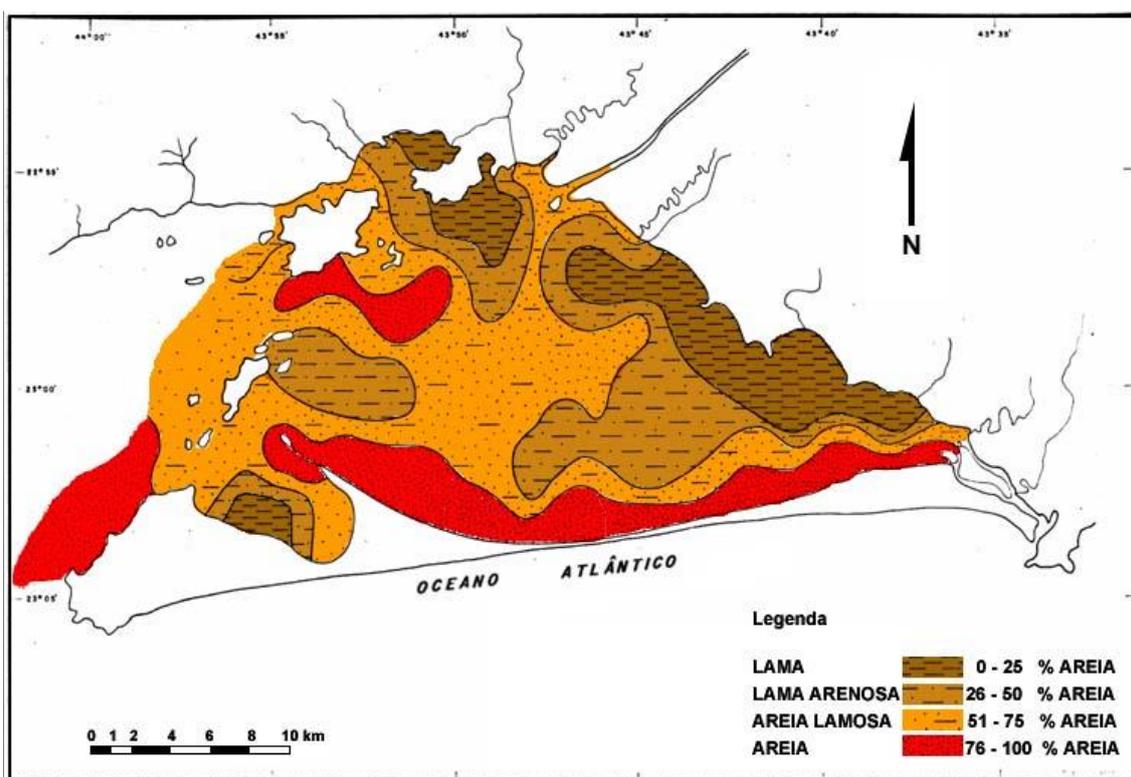


Figura 6: Mapa de distribuição de sedimentos da Baía de Sepetiba (Extraído de Bronnimann *et al.*, 1981)

Para Ponçano (1976), a distribuição dos sedimentos na Baía de Sepetiba tem a seguinte configuração: na entrada da baía, a oeste, ocorre areia média e, em direção ao norte, encontra-se areia fina. Em sua distribuição geral, observa-se silte e areia fina junto à costa. Na restinga, a granulometria é areia média com predominância de silte ao centro.

Na desembocadura dos rios Guandu e São Francisco ocorre argila, entre as ilhas Itacuruçá e Jaguanum ocorre areia fina e média. Já no canal de Itacuruçá ocorre, também, areia grossa (Ponçano, 1976).

Sousa (2011) detalha os sedimentos de fundo da parte norte da Baía de Sepetiba, mais precisamente na região do Saco da Coroa Grande (Figura 7). Os dados coletados por Sousa (2011) corroboram com a descrição de Poçano (1976). Na região mais costeira do Saco da Coroa Grande, os dados de Sousa demonstram maior quantidade de silte, argila e areia. Na região central do Saco da Coroa Grande observa-se um material mais grosseiro, variando de cascalho a areia (Sousa, 2011). Nessas áreas, os dados de Sousa (2011) mostraram pouca quantidade de silte e argila, tendo algumas regiões com ausência desses dois tipos de sedimento.

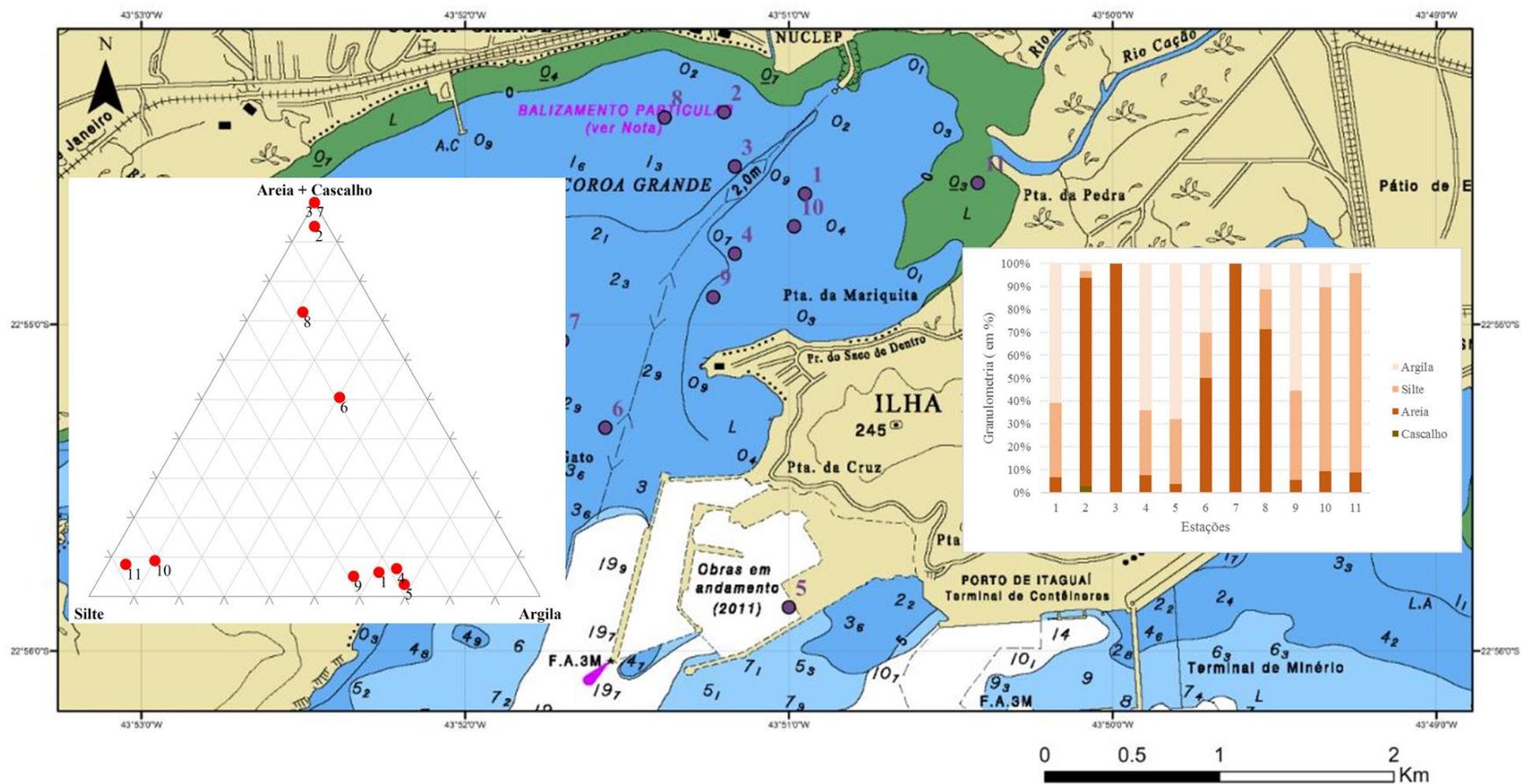


Figura 7. Análise granulométrica dos sedimentos de fundo no Saco da Coroa Grande (adaptado de Sousa, 2011)

Estratigraficamente, três tipos de sedimentos ocorrem na Baía de Sepetiba: de fácies fluvial, de fácies de maré e de fácies de mangue. Os primeiros, do tipo fácies fluvial, dispõem-se em corpos lenticulares, que devem representar seções de canais com gradações de sedimentos mais grossos na base (seixos) e mais finos (arenosos) em direção ao topo, podendo ainda estar representados por areias e siltes, provavelmente em planícies de inundação (Ponçano, 1976).

5 PRINCÍPIOS DO LEVANTAMENTO SÍSMICO

Levantamentos geofísicos que utilizam o método sísmico são baseados na propagação de uma onda acústica (ou onda sísmica) em um meio específico. Segundo Kearey *et al.*, (2009), o levantamento sísmico pode fornecer um quadro claro e detalhado de subsuperfície, representando, também, o método mais importante quanto ao volume de atividades de aquisição e quanto ao seu amplo espectro de aplicações.

Ainda de acordo com Kearey *et al.*, (2009), as ondas sísmicas são pacotes de energia de deformação elástica que se propagam radialmente a partir de uma fonte sísmica. Essas ondas têm suas velocidades definidas a partir do meio em que se propagam e por isso, são utilizadas no método sísmico.

No método sísmico é utilizada uma fonte de energia (ou fonte sísmica) que dispara periodicamente essas ondas sísmicas. O sinal sísmico ao encontrar um material com impedância acústica diferente na qual está se propagando é refletido. Instrumentos como sismógrafos, hidrofones e geofones, por exemplo, são usados para captar a reflexão dessas ondas e registra-las.

Os hidrofones são sensores piezo-elétricos que, ao receberem uma onda mecânica, produzem um sinal elétrico de voltagem variável de acordo com a intensidade do sinal. Como o sinal recebido vem, com frequência, carregado de ruídos oriundos do meio ambiente, tais como barulho do vento, ondas superficiais, chuva, ruído proveniente da embarcação, dentre outros, é necessário filtra-lo para aumentar a razão sinal/ruído. Ainda antes de ser gravado, o sinal é amplificado eletronicamente (Ayres & Baptista Neto, 2004).

A amplitude do sinal sísmico refletido depende de vários fatores interligados. Para ângulos de incidência normal desse sinal em relação a superfície refletora podemos simplificar a função entre esses fatores. Essa função do coeficiente de reflexão (R) é dada pela razão entre a amplitude do sinal refletido e a amplitude da onda incidente, representada pela equação a seguir (Sharma, 1997; Ayres Neto, 2001):

$$R_C = \frac{A_r}{A_i} = \frac{(\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1)}{(\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1)}$$

Existem dois grupos de onda sísmicas, as ondas de corpo e as superficiais (Kearey et al., 2009). As ondas de corpo podem, por sua vez, ser de dois tipos: compressionais, - também conhecidas como ondas longitudinais ou ondas primárias ou ondas P; e as ondas de cisalhamento, também conhecidas como transversais ou ondas secundárias ou ondas S.

As ondas primárias (ondas P) são as primeiras que podem ser observadas em um sismograma. Essa onda provoca uma deformação uniaxial na direção da propagação da onda. Já as ondas secundárias (ondas S) apresentam velocidades menores que as ondas P e propagam-se por meio de um cisalhamento na direção perpendicular à direção de propagação da onda (Figura 8).

As ondas superficiais são geradas quando as ondas P e ondas S se propagam ao longo de uma superfície livre ou entre dois meios sólidos não similares, sendo que as partículas afetadas por elas se movem elipticamente num plano perpendicular à superfície. (Kearey *et al.*, 2009).

São exemplos de ondas superficiais as ondas de Love e de Rayleigh (Figura 8)

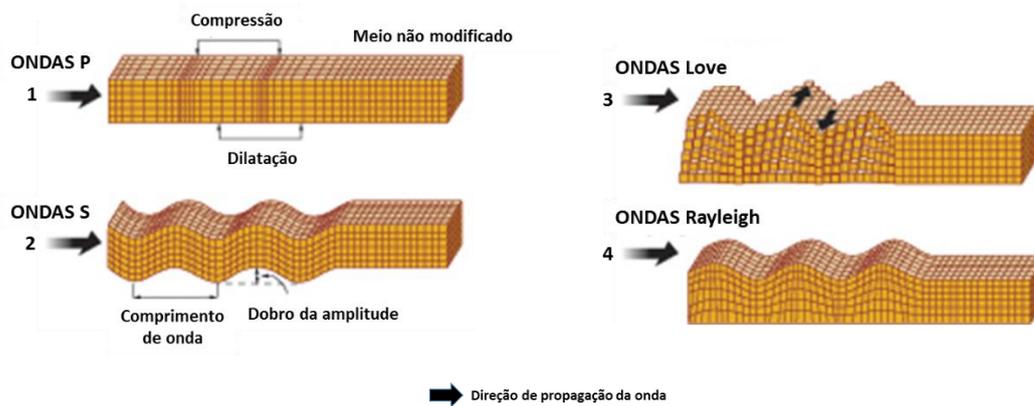


Figura 8: Representação gráfica das ondas de corpo (primárias e secundárias 1 e 2) e superficiais (3 e 4). Adaptado de *Incorporated Research Institutions for Seismology* 2017 - (www.iris.edu, acessado em janeiro de 2017)

De acordo com Ayres Neto (2001), a velocidade de propagação de ondas acústicas em qualquer meio é função de suas constantes elásticas, como módulo de Young (E), módulo de Poisson (ν), módulo de rigidez (μ) e módulo de compressão (k). Estas constantes variam de acordo com o material e relacionam a quantidade de deformação sofrida por um material em função da força exercida sobre ele. As velocidades de propagação das ondas P e S são definidas pelas seguintes equações (Schön, 1996):

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \text{ e } V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}, \text{ onde:}$$

V_p e V_s são as velocidades das ondas P e S respectivamente;

k é o módulo de compressão;

μ é módulo de rigidez e

ρ é a densidade do material

As ondas mais utilizadas em estudos sísmicos são as ondas compressoriais ou ondas P (Ayres e Baptista Neto, 2004). Como a velocidade das ondas S depende da rigidez do material, pode-se concluir que ela não se propaga em meios líquidos, já que estes têm rigidez igual a zero. Desta forma, para a utilização das ondas S em levantamentos

geofísicos faz-se necessário a adoção de uma tecnologia mais sofisticada, o que pressupõe um aumento dos custos da pesquisa geofísica (Kearey *et al.*, 2009).

5.1 A sísmica de reflexão em meio marinho

Métodos acústicos possibilitam realização de levantamentos nas regiões mais profundas dos oceanos para investigar camadas geológicas até alguns quilômetros abaixo do fundo submarino, já que as ondas acústicas são geradas com facilidade e pouco absorvidas pela água do mar, enquanto que os métodos de sensoriamento remoto convencionais e os de ondas eletromagnéticas sofrem atenuação em função da coluna d'água (Ayres Neto, 2001).

Podem ser utilizados para aquisição marinha diversos tipos de fontes sísmicas, que são definidos de acordo com a finalidade do trabalho, como, por exemplo, na indústria do petróleo, engenharia, oceanografia, dentre outros (Teixeira, 2013).

A maneira como o sinal sísmico é emitido é a principal diferença entre as diversas fontes sísmicas. Este sinal é determinado por um espectro de frequências que muda de acordo com o equipamento que foi utilizado.

Na sísmica rasa (sísmica de alta resolução), o espectro está diretamente ligado a altas frequências, que permitem a aquisição de registros com uma maior resolução, quando comparada com a sísmica convencional (Teixeira, 2013). Por mais que o método sísmico de altas frequência tenha uma resolução maior, a penetração em subsuperfície fica comprometida, pois as altas frequências são mais rapidamente absorvidas, tornando a penetração menor, quando comparada com os métodos sísmicos convencionais, associado a um alto índice de atenuação do registro sísmico em função do tempo (Teixeira, *op. cit.*).

O método geofísico de sísmica de alta resolução tem como fundamento a transmissão e reflexão de ondas acústicas através de camadas sedimentares, ou seja, dois meios com propriedades elásticas distinta, que dependem da densidade, composição saturação em água e gás.

Onde a energia emitida por uma fonte sísmica reflete em meios de diferentes impedâncias acústicas, a energia não refletida será transmitida para as outras camadas seguintes (Figura 9). A energia refletida é registrada e suas interfaces, entre dois meios físicos, aparecem nos registros sísmicos como refletores sísmicos. De maneira geral, cada refletor representará uma camada geológica. (Sheriff, 1982; Morang *et al.*, 1997; Mosher & Simpkin, 1988).

A sísmica de alta resolução apresenta, portanto, vantagens e limitações ao seu uso. A facilidade de uso, baixa manutenção, alta repetitividade, eficiência e capacidade de reboque em profundidade destacam-se como grandes vantagens, enquanto a largura limitada de banda (exceto *chirp*), a falta de informação da fase e baixo poder de penetração em sedimentos duros são limitações ao uso (Junior *et al.*, 2009).

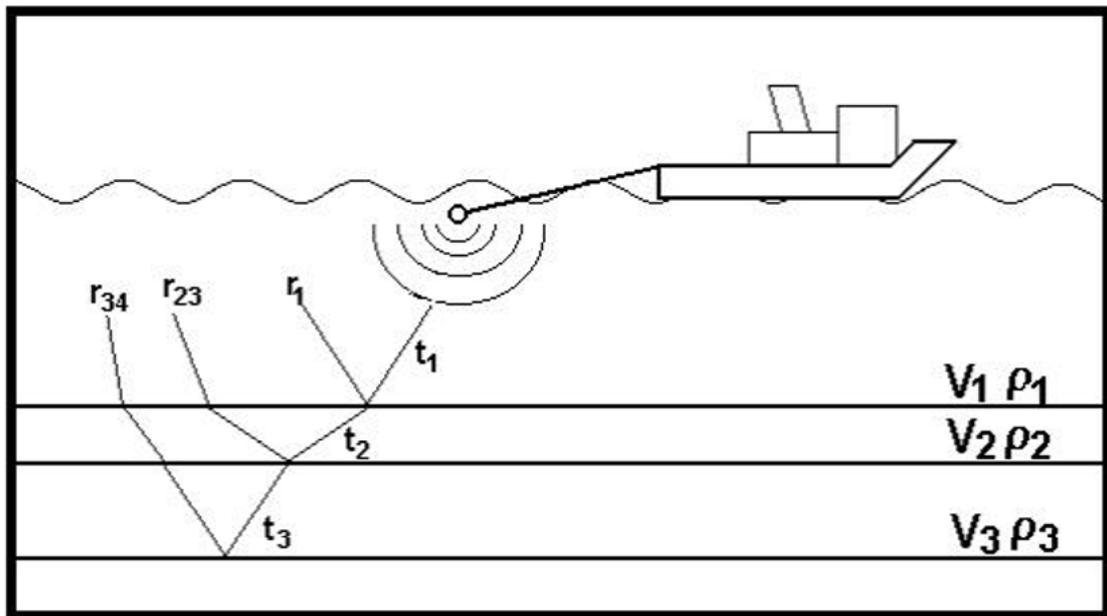


Figura 9. Energia sísmica sendo refletida e transmitida. V corresponde a velocidade e ρ corresponde a densidade (Ayres Neto, 2001).

6 REGISTRO SÍSMICO DE GÁS EM SUBSUPERFÍCIE

A atenção para a presença de gás e o escape de gás em sedimentos marinhos vem crescendo devido ao aquecimento global. Estes gases podem estar contribuindo de forma

significativa para o quadro global de aquecimento, embora ainda não estejam bem entendidos os fatores contribuintes para as altas concentrações atmosféricas de metano e gás carbônico (Garcia-Gil *et al.*, 2002). Essa atenção está sendo voltada para as emissões de gás nas regiões costeiras, pois se infere que essas contribuem com 75% do total de emissões originada dos oceanos (Judd *et al.*, 2002; Dimitrov, 2002). Na região costeira, os gases se concentram em sedimentos lamosos, ricos em matéria orgânica das regiões estuarinas e plataformas costeiras (Frazão & Vital, 2007).

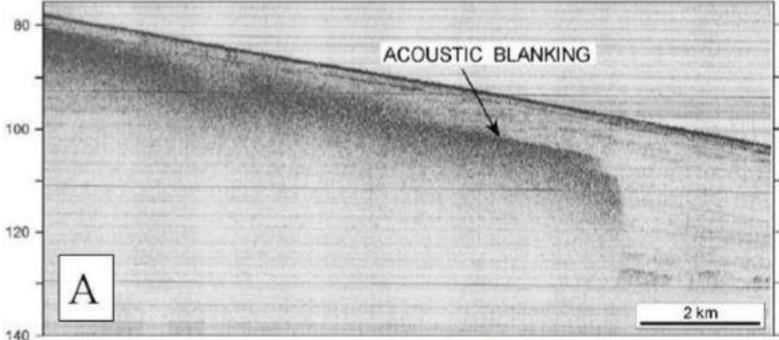
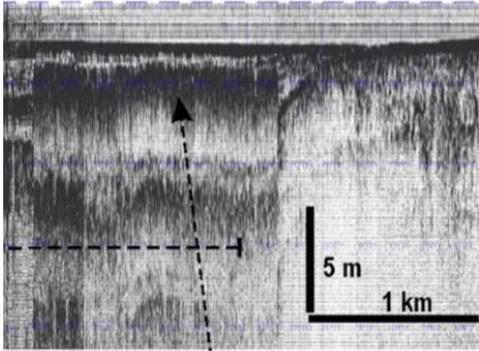
As acumulações de gás em ambientes aquosos são formadas, principalmente, por metano (CH₄) (Felix, 2012). O metano origina-se ou por migração de reservatório de hidrocarbonetos das camadas mais profundas (origem termogênica) ou pela rápida acumulação de sedimentos ricos em matéria orgânica, quando sua origem é dita biogênica (Felix, 2012.). A origem biogênica está relacionada à degradação da matéria orgânica por bactérias, enquanto a origem termogênica está ligada à quebra de compostos orgânicos a muito tempo depositados (Felix, 2012) Sedimentos com acumulações de metano se distribuem largamente através dos oceanos do mundo (Fleischer *et al.*, 2001)

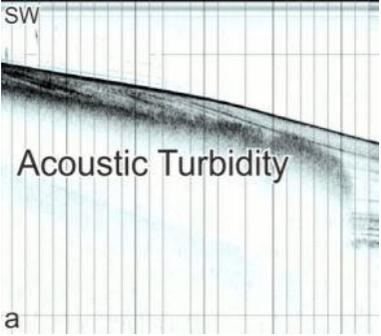
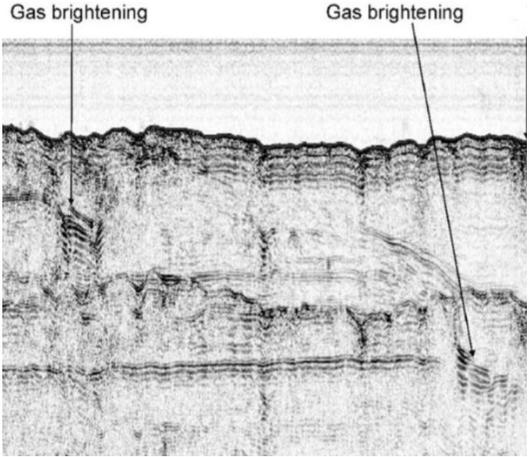
Quando o metano está presente nos sedimentos, mesmo em baixa concentração, o composto pode reduzir drasticamente as velocidades das ondas acústicas e aumentar a atenuação e a dissipação do som (Anderson & Hampton, 1980). Isto é, sedimentos contendo gás geram um bloqueio na penetração do sinal sísmico, podendo resultar em um mascaramento total das propriedades sísmicas (Anderson & Hampton, *op. cit.*).

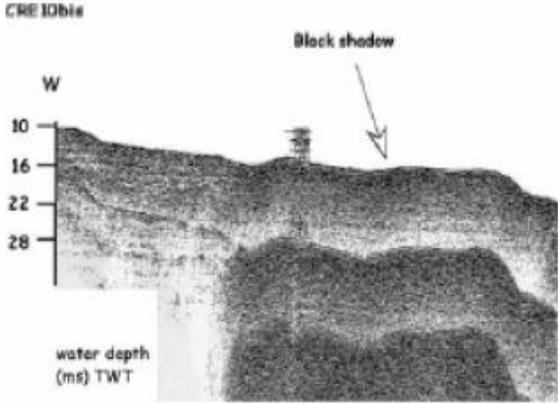
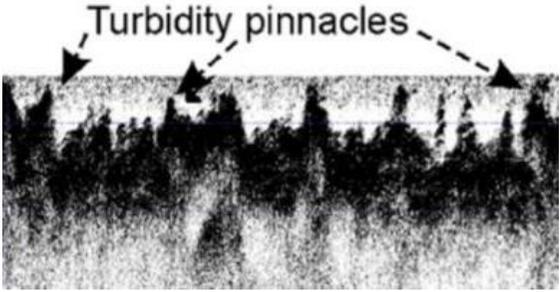
Vários estudos no Brasil registraram anomalias sísmicas, associadas com a presença de gás, em sedimentos de vários ambientes costeiros. Como por exemplo, no sudeste do Brasil essas anomalias foram encontradas por Baptista Neto *et al.* (1996) e Catanzaro *et al.* (2004) na Baía de Guanabara e na Lagoa Rodrigo de Freitas por Baptista Neto *et al.* (2011).

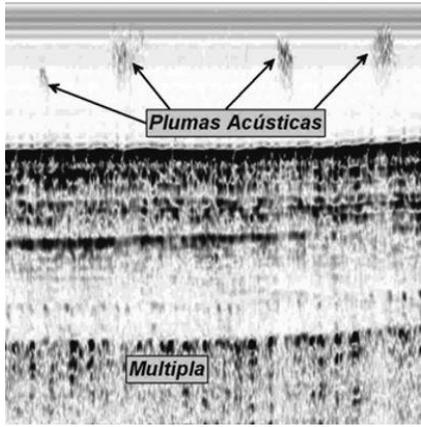
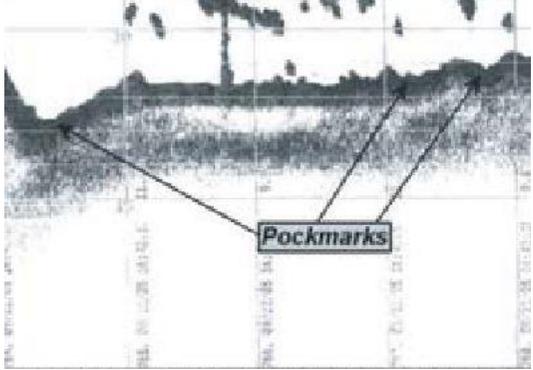
A presença do gás no sismograma se manifesta por evidências específicas na imagem, estas amplamente registradas na literatura (Garcia-Gil *et al.*, 2002; Judd *et al.*, 2002; Dimitrov, 2002; Felix, 2012; Fleischer *et al.*, 2001; Baptista Neto *et al.*, 1996; Catanzaro *et al.*, 2004; Frazão & Vital, 2007 e Baptista Neto *et al.*, 2011). As típicas evidências para as acumulações de gás raso foram revisadas recentemente por Weschenfelder *et al.* (2016) e estão resumidas a seguir (Tabela 1):

Tabela 1. Tipos de alterações nos sismogramas associados à presença de gás em subsuperfície. (continua)

ESTRUTURA	CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS	REGISTRO SÍSMICO
<p>Cobertura acústica (<i>acoustic blanking</i>)</p>	<p>É identificada por uma reflexão superior forte sobre um mascaramento completo do registro sísmico subjacente, sem possibilidade de estabelecer uma conexão com uma fonte de gás ou mesmo de mapear estruturas sísmicas. Esse tipo de acúmulo de gás é indicado por reflexões interrompidas com uma geometria plana em 2D (Frazão e Vital, 2006). Essa assinatura sísmica pode ser comparada com as estruturas tipo <i>blankets</i> descritas por Taylor em 1992 (Garcia-Gil, 1999) e as descritas por Hovland & Judd (1988).</p>	 <p>(Extraído de Lee <i>et al.</i>, 2005)</p>
<p>Cortina acústica (<i>gas curtain; pocket gas</i>)</p>	<p>Essa acumulação de gás normalmente aparece no sismograma como uma anomalia em formato de caixa, marcada com uma reflexão muito forte em sua parte superior. Pode aparecer horizontalmente ou com uma leve inclinação, com uma relativa continuidade lateral. Essa resposta acústica geralmente resulta em um grande distúrbio no sismograma, mascarando as estruturas sedimentares abaixo (Weschenfelder <i>et al.</i>, 2014).</p>	 <p>Gas curtains</p> <p>(Extraído de Weschenfelder <i>et al.</i>, 2016)</p>

ESTRUTURA	CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS	REGISTRO SÍSMICO
<p>Zona de turbidez acústica (<i>acoustic turbid zone</i>)</p>	<p>A anomalia acústica desse tipo de acúmulo de gás é mais irregular e menos marcante que nas anomalias geradas pelas cortinas de gás (<i>gas curtains</i>). Os refletores abaixo dessa anomalia não são inteiramente apagados, o que permite identificar e mapear estruturas sedimentares. (Judd & Hovland, 1992).</p>	 <p>(Extraído de Vardar & Alpar, 2016)</p>
<p>Reflexões Reforçadas (<i>enhanced reflection</i>)</p>	<p>Essa anomalia, também conhecida como <i>gas brightening</i> (Judd & Hovland, 2009), aparece no sismograma como setores brilhantes, causados pelo contraste do aumento da velocidade acústica entre sedimentos com pouca quantidade de gás e sedimentos sem gás em sua estrutura (Judd & Hovland, 1992). Segundo Judd & Hovland (2009) essa estrutura pode ser causada por migração lateral de gás da estrutura descrita acima, a <i>acoustic turbidity</i>.</p> <p>Ainda segundo Judd & Hovland (op. cit.), são interpretadas como acumulações menores de gás, provavelmente em camadas de sedimentos pouco espessas e relativamente porosas.</p>	 <p>(Extraído de Weshenfelder <i>et al.</i>, 2016)</p>

ESTRUTURA	CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS	REGISTRO SÍSMICO
<p>Sombra negra (<i>black shadow</i>)</p>	<p>Essa estrutura é marcada por múltiplas da camada de gás, impossibilitando de identificar qualquer estrutura localizada abaixo da camada de gás. As múltiplas são a manifestação da reverberação da energia sísmica do gás que induz uma extra reflexibilidade da camada superior (Weschenfelder <i>et al.</i>, 2016).</p> <p>Essa estrutura difere da cortina de gás, pois normalmente chega até o topo do perfil sísmico, no fundo marinho (Baltzer <i>et al.</i>, 2005).</p>	 <p>(Extraído de Baltzer <i>et al.</i>, 2005)</p>
<p>Pináculos de Turbidez (<i>turbidity pinacles</i>)</p>	<p>Essa fácies sísmica é característica de escape de gás. É uma variação da cortina acústica que se manifestando em um formato côncavo semelhante ao de um “U” invertido e que impossibilita a visualização de qualquer estrutura abaixo dele. (Iglesias & Garcia-Gil, 2007).</p>	 <p>(Extraído de Weschenfelder <i>et al.</i>, 2016)</p>

ESTRUTURA	CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS	REGISTRO SÍSMICO
<p>Plumas acústicas (<i>acoustic plumes</i>)</p>	<p>Nestas estruturas também há um mascaramento total dos refletores subjacentes, não sendo possível correlacionar a nenhuma fonte de gás. As zonas laterais desse tipo de acumulação de gás exibem fortes reflexões mergulhantes (<i>pull-downs</i>) devido a redução da velocidade acústica (Fader, 1997). Essa estrutura é comparada às estruturas tipo <i>curtains</i> identificadas por Taylor em 1992 e as estruturas do tipo cogumelos identificadas por de Karisiddaiah e colaboradores em 1993(Garcia Gil, 1999).</p>	 <p>(Extraído de Frazão & Vital, 2007)</p>
<p>Pockmarks</p>	<p>Essa estrutura é evidenciada na coluna d'água e pode ter deferentes dimensões, de centímetros até quilômetros. É causada pela erupção do gás e/ou fluidos na coluna d'água, podendo causar liquefação e colapso dos sedimentos de fundo (Weschenfelder <i>et al.</i>, 2016).</p>	 <p>(Extraído de Frazão & Vital, 2007)</p>

(Tabela 1 continuação)

7 METODOLOGIA

O presente trabalho foi dividido em duas partes. A primeira consistiu na busca de material acadêmico para elaboração da revisão bibliográfica e estudo dos mesmos. O principal local de pesquisa foi o site da Capes, bibliotecas físicas e virtuais, além de outras fontes de bibliografia.

O segundo momento foi a utilização de dados sísmicos de 2009 (Figura 10) obtidos para a dissertação ao curso de pós-graduação em Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense apresentada por Sousa (2011).

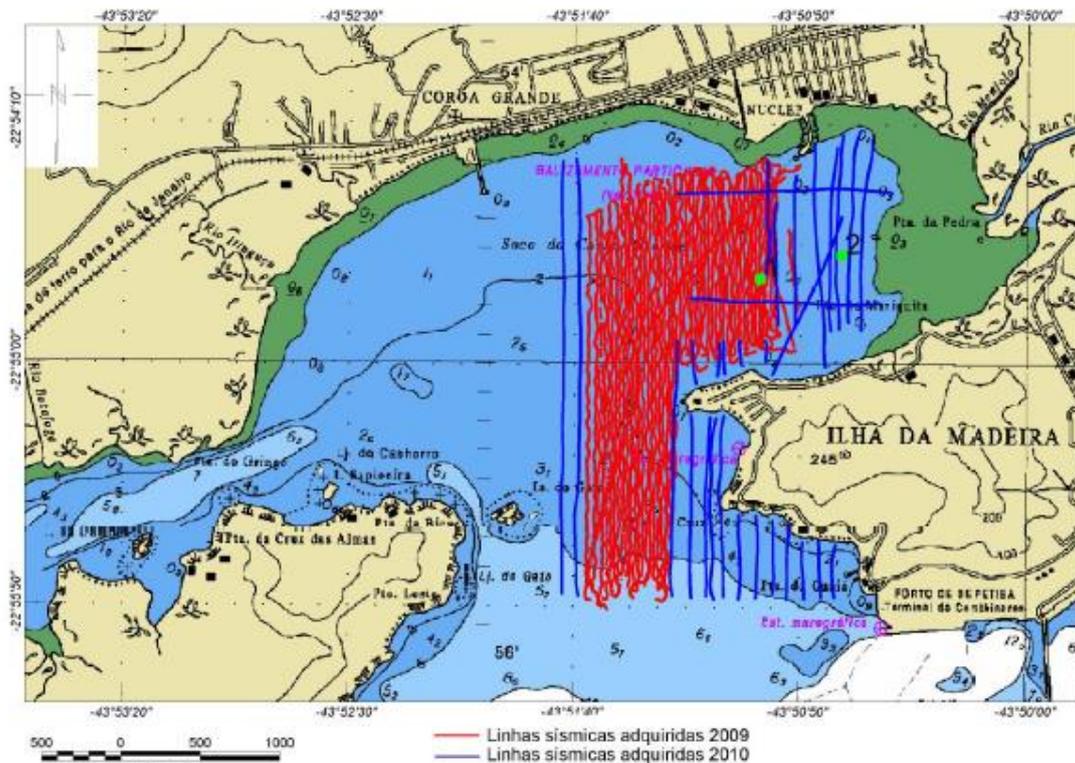


Figura 10: Linhas sísmicas obtidas entre 2009 (em vermelho) e em 2010 (em azul). Retirado de Sousa, 2011.

Para aquisição dos dados sísmicos Sousa (2011) utilizou como equipamento para a aquisição sísmica o perfilador de alta resolução da marca ODEC *StrataBox*, monocanal (Figura 11).

A escolha desse equipamento considerou o tipo de sedimento encontrado na região de estudo, que são principalmente sedimentos finos. Este equipamento é comumente utilizado em levantamentos geofísicos de sísmica rasa com profundidade

máxima até 150 m e opera na frequência de 10kHz. O equipamento tem capacidade de penetração de até 40 m. A profundidade da penetração do equipamento varia em relação ao tipo de sedimento encontrado no fundo marinho.

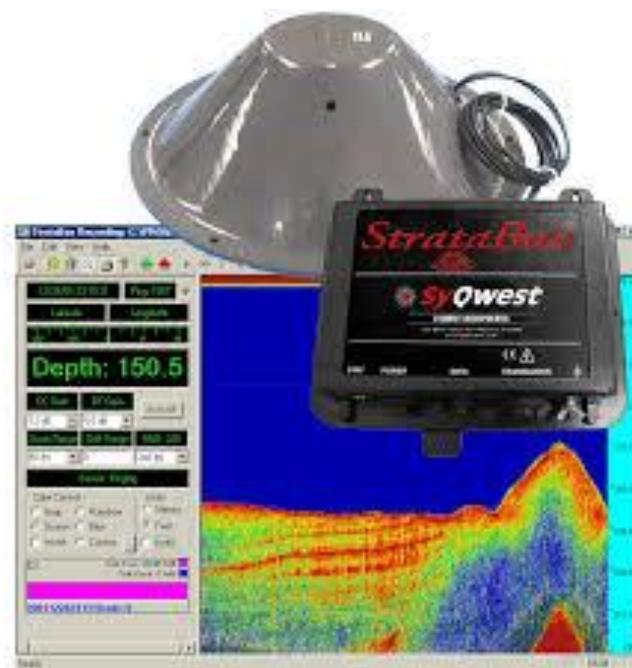


Figura 11: Perfilador de alta resolução da marca ODEC *StrataBox*, monocanal.

Em 2009 foram adquiridas 54 linhas sísmicas, com espaçamento de 50 m entre elas. Por ser uma área pequena, foram realizados vários perfis paralelos para a melhor compreensão da geologia e dos processos sedimentares atuantes. O sistema de posição *GPS GARMIN* foi utilizado acoplado ao *transceiver* (Sousa, 2011). Esses dados serão reinterpretados usando o software *Kingdom 8.2* e reprocessados no software *Sismic Unix*.

8 RESULTADOS

O atual estudo realizou a reinterpretação dos dados adquiridos por Sousa (2011) para a dissertação de mestrado do curso de pós-graduação em Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense. As campanhas de aquisição sísmica monocanal foram realizadas em 04/06/2009 e 05/06/2009 utilizando o equipamento *StrataBox*. Foram obtidas 54 linhas sísmicas, sendo que para este trabalho apenas 50 destas foram disponibilizadas. Das 50 linhas disponíveis para interpretação foram utilizadas apenas 34

(Figura 12) devido a problemas como número de traços e qualidade da imagem sísmica. Além disso, observou-se que o registro das coordenadas das linhas sísmicas apresentavam inconsistências, provavelmente devido a um mal funcionamento do aparelho ou dificuldades logísticas na aquisição do dado sísmico. Com isso, a elaboração de mapas e a confecção do *grid* para análise dos dados foi dificultada. Essas dificuldades foram contornadas associando outros softwares à análise, como o *Oasis Montaj* e o *ArcGis*.

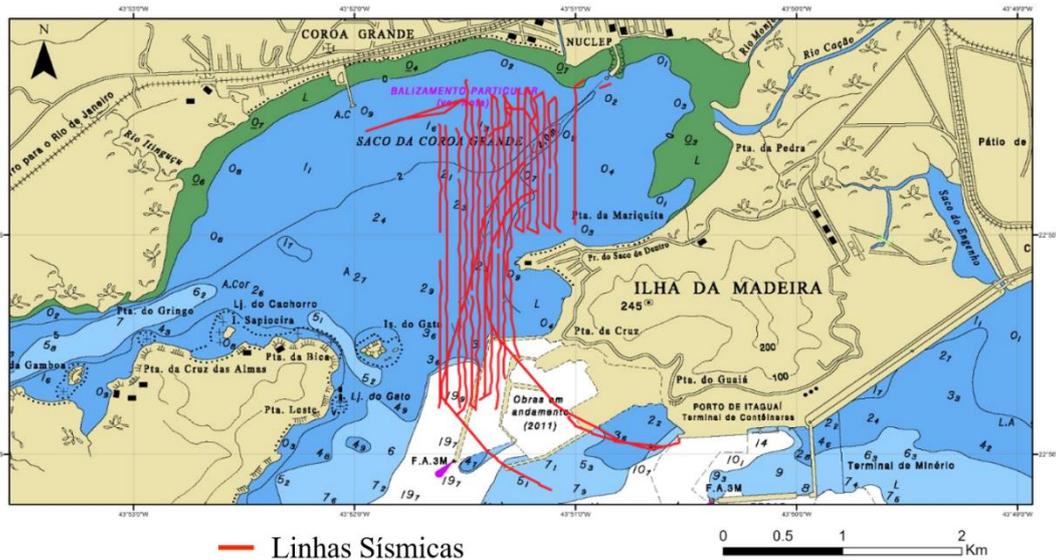


Figura 12. Linhas sísmicas utilizadas neste trabalho. *Datum* WGS84.

Ao interpretar os registros sísmicos foi possível observar duas superfícies refletoras principais dentro do pacote sedimentar. A primeira superfície é caracterizada por um refletor sísmico escuro e bem definido, representado pelo horizonte destacado em vermelho nos sismogramas. A outra superfície é representada por refletores sísmicos pouco definidos e ausentes em algumas áreas. Nos sismogramas essa superfície é identificada pelo horizonte verde.

O primeiro refletor foi interpretado como sendo o fundo marinho e o segundo como o embasamento acústico. A Figura 13 que representa a Linha 13 do levantamento realizado, exemplifica os dois refletores acima mencionados.



Linha L 13 – Saco da Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ

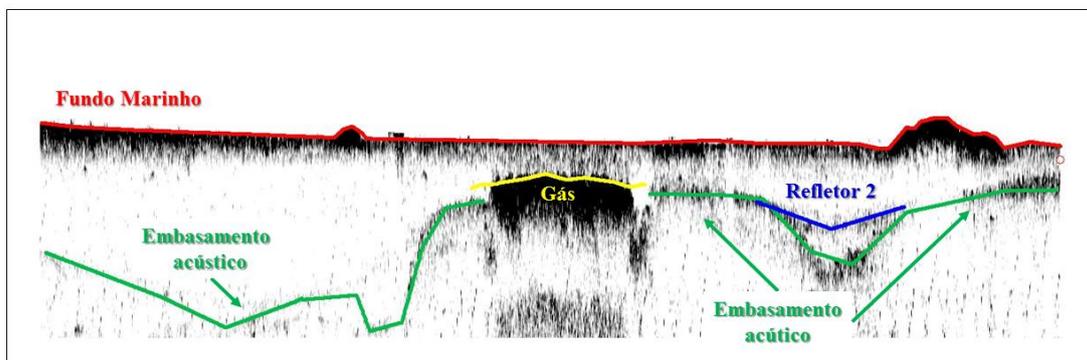


Figura 13. Linha 13, demonstrando os refletores principais encontrados. Em vermelho, o fundo marinho e em verde o embasamento acústico.

Ainda, foi possível a identificação de dois refletores sísmicos subjacentes descontínuos, identificados nos sismogramas como Refletor 2, em azul e Refletor 3, em rosa. Este, aparece apenas nas linhas R11 (Figura 14) e R12 (Figura 15), enquanto o Refletor 2 foi encontrado na maior parte das linhas (Figura 13, 14 e 15).



Linha R 11 – Saco da Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ

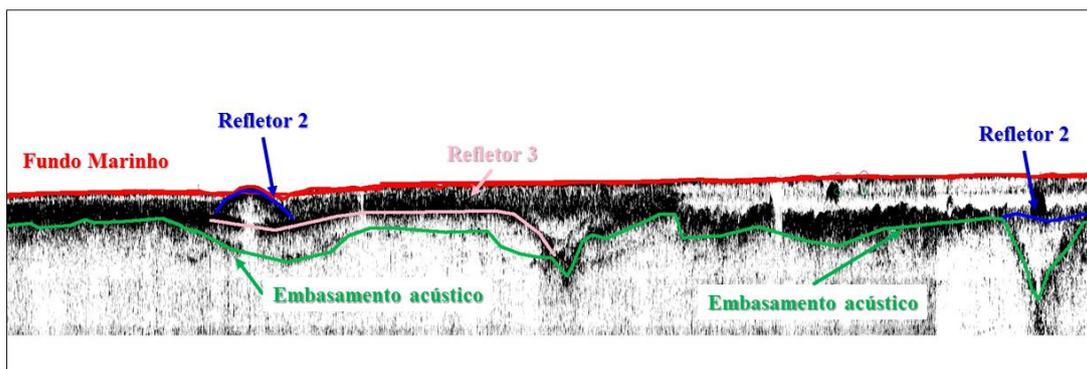


Figura 14. Linha R11 mostrando a presença dos refletores subjacentes 2 e 3.



Linha R.12 – Saco da Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ

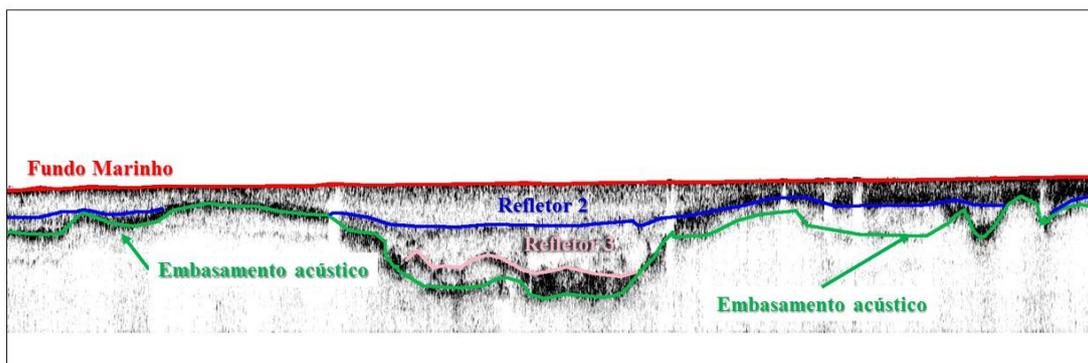


Figura 15: Linha R12 mostrando a presença dos refletores subjacentes 2 e 3.

Para a interpretação dos dados obtidos foi gerado *grid* no software *Kingdom* utilizando o método de interpolação *FlexGridding*. O *grid* realizado foi o do horizonte interpretado como fundo marinho, para análise da profundidade e do relevo da região.

No *grid* as profundidades variam de 0 a 12,255 metros. Apresentando uma menor profundidade em direção a região costeira do Saco da Coroa Grande. Observa-se que as maiores profundidades da região estudada se encontram entre a Ilha Madeira e a Ilha de Itacuruçá, na saída do Saco da Coroa Grande, para a parte central da Baía de Sepetiba. O mapa batimétrico feito pelos dados nas linhas sísmicas obtidas também possibilitou a identificação de um possível canal na região (Figura 16) na porção central do mapa com orientação NE-SW.

Nos sismogramas foi possível notar áreas em que a penetração acústica é interrompida bruscamente, causando uma região de invisibilidade das estruturas subsequentes. Esses eventos ocorrem na parte mais próxima da costa, na porção nordeste, onde o material é lamoso e na região onde foi identificada a presença de um possível canal. Também são observadas múltiplas, ou seja, repetições do sinal, que foram associadas a presença de gás. Essas zonas associadas à presença de gás estão marcadas na Figura 17.

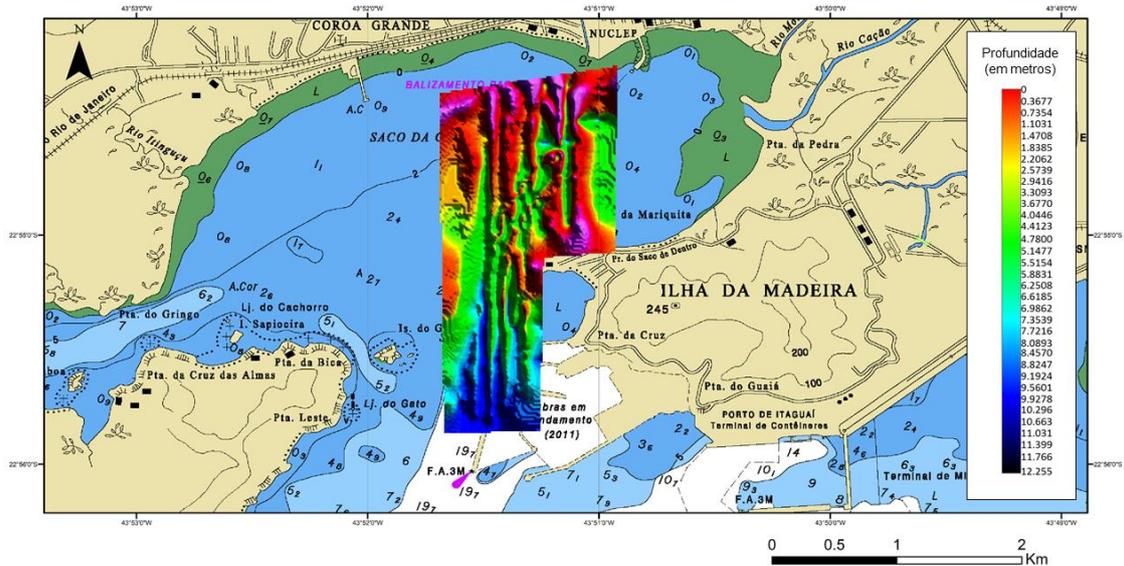


Figura 16. Grid do relevo de fundo da área de estudo criado a partir da interpolação *FlexGridding*. Mostrando a presença de um possível canal na região.

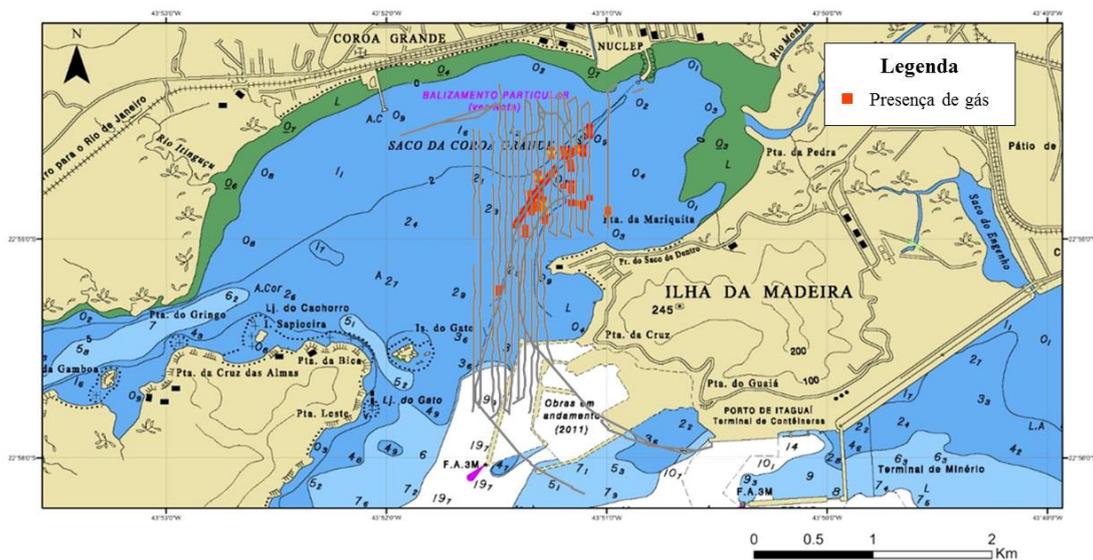
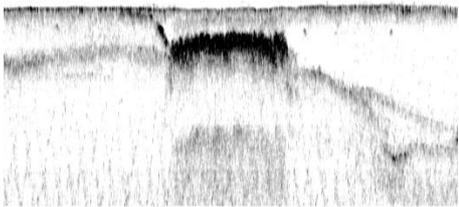
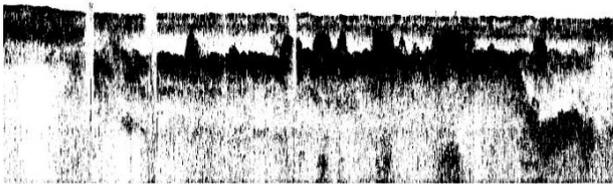
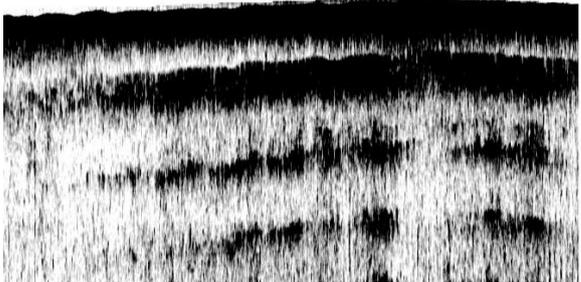


Figura 17. Mapa demarcando as localizações das regiões em que a visibilidade do sismograma foi interrompida, provavelmente associado a presença de gás (em vermelho).

As fáceis acústicas mais comuns nos sismogramas foram a cortina acústica (*gas curtain*), os pináculos de turbidez (*turbidity pinnacles*) e a sombra negra (*black shadow*). Exemplos dessas estruturas encontradas nos sismogramas deste trabalho são apresentadas na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2. Exemplos das fácies acústicas mais frequentemente encontradas nos sismogramas do Saco da Coroa Grande.

FÁCIES ACUSTICAS	DESCRIÇÃO
	<p>Fáceis acústica com forte reflexão no topo com formato de caixa mascarando os refletores seguinte (linha L11)</p>
	<p>Fáceis acústica indicando escape de gás em forma de U inverso e mascarando refletores subjacentes (linha R12).</p>
	<p>Fáceis acústica com uma forte reflexão no topo e grande quantidade de múltiplas impedindo a visualização de outros refletores.(Linha L15)</p>

A continuidade lateral do gás é facilmente mapeada pelos dados sísmicos. Entretanto, continuidade vertical não está precisamente definida, pois o gás é uma fonte de interferência no sinal sísmico, interrompendo o sinal e mascarando os refletores subsequentes (Figura 18), sendo impossível determinar uma fonte.

Ainda avaliando as estruturas presentes nos sismogramas, podemos observar estruturas semelhante a uma depressão curvilínea, que foram aqui interpretadas como sendo paleocanais afogados devido à elevação do nível do mar (Figura 18). Percebe-se, também, outra estrutura muito presente nos sismogramas: uma elevação bem arredondada do tipo "Pão de Açúcar", que foi avaliada como sendo um possível indicativo do embasamento cristalino.



Linha R 20 – Saco da Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ

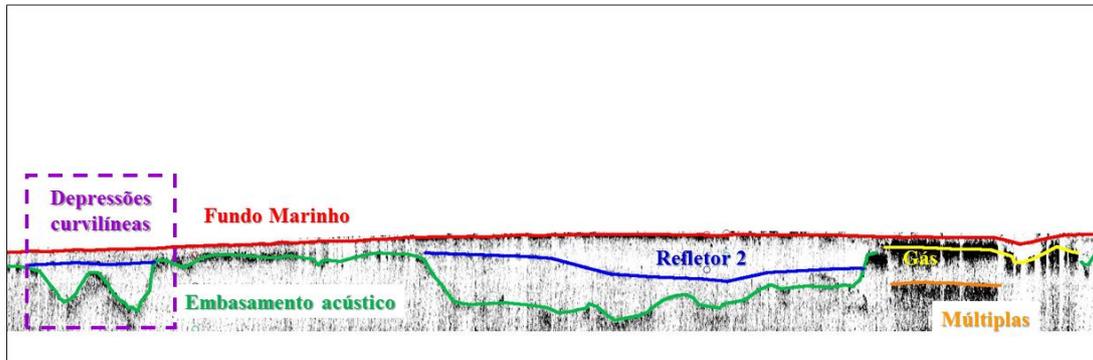


Figura 18. Linha sísmica R20. Mostrando a presença dos paleocanais e dos “apagões acústicos”.

9 DISCUSSÃO

Conforme apresentado anteriormente, os resultados apresentados neste trabalho refletem a interpretação de 34 linhas sísmicas na região do Saco da Coroa Grande. Nos sismogramas obtidos identificam-se, inicialmente, dois refletores sísmicos, sendo estes os principais refletores encontrados.

O primeiro refletor está relacionado com o fundo marinho, que segundo Sousa (2011) varia entre sedimentos lamosos e areia fina, contendo biodetritos. O segundo refletor sísmico foi identificado como embasamento acústico, pois, segundo Sousa (2011), para se determinar o embasamento cristalino da região é preciso outras informações além deste método indireto. Sendo assim, o embasamento acústico mapeado não necessariamente é o embasamento cristalino, pois a energia do sinal acústico é dissipada com profundidade (ver Figura 19).



Linha L 16 – Saco da Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ

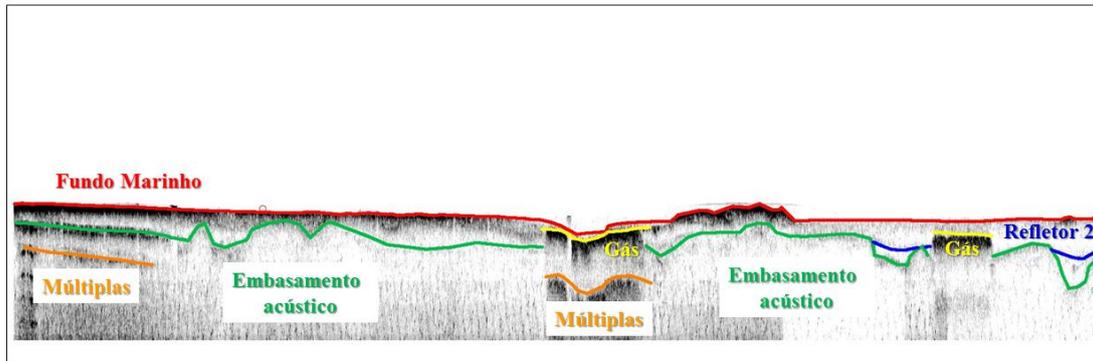
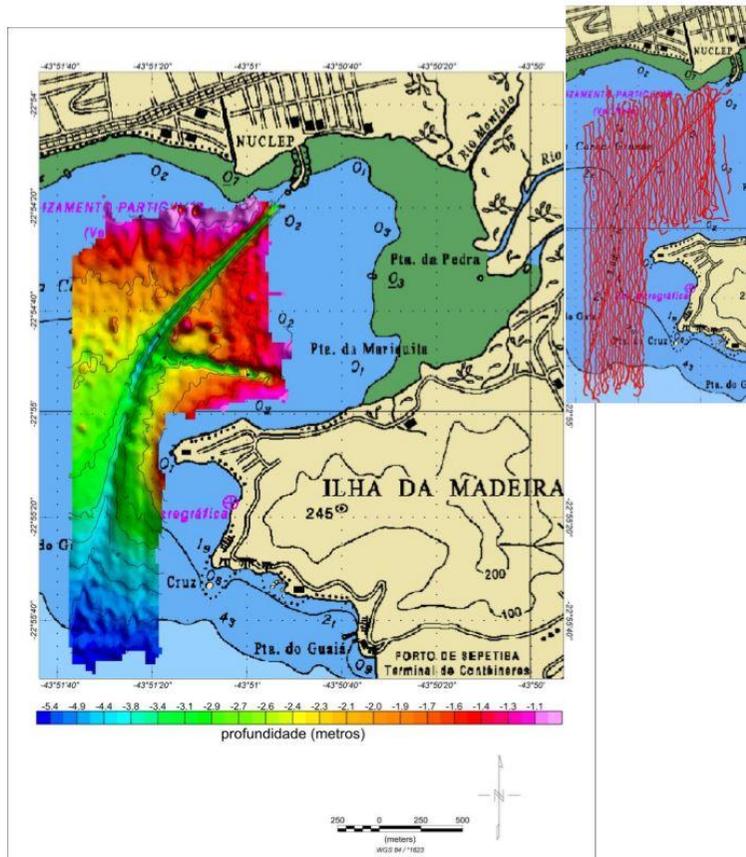


Figura 19. Linha sísmica L 16. Mostrando os principais refletores. Em vermelho o Fundo Marinho e em verde o embasamento acústico.

O *grid* de fundo criado através dos dados sísmicos teve o propósito de identificar e caracterizar o relevo da região. Os resultados deste trabalho foram comparados ao de Sousa (2011), que realizou um levantamento batimétrico na região de estudo.

Primeiramente, observa-se uma nítida diferença entre os dois *grids*, causada, principalmente, pela maior quantidade de dados disponíveis para interpretação no trabalho de Sousa (2011). Por isso, em Sousa (2011) percebe-se claramente o canal (Figura 20A), enquanto que nos resultados deste trabalho, apenas percebe-se uma tênue presença desse mesmo canal (Figura 20B).

(A) Sousa, 2011



(B) Abílio, 2017 (presente estudo)

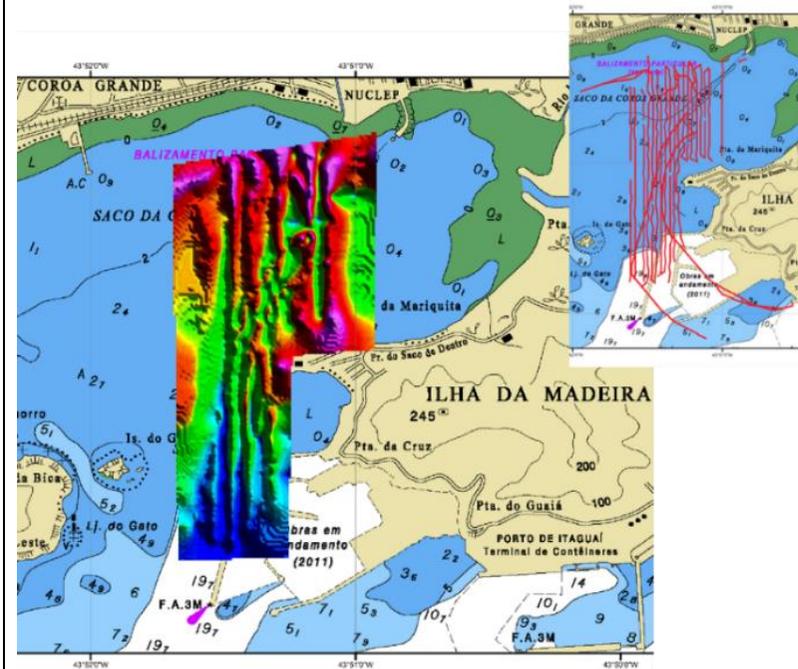


Figura 20. Comparação entre os dados batimétricos obtidos por Sousa (2011) e os obtidos pelo presente estudo.

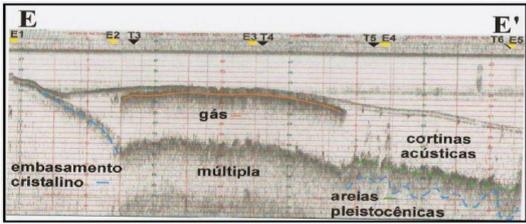
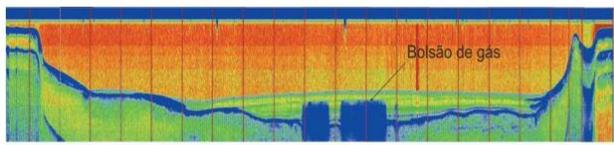
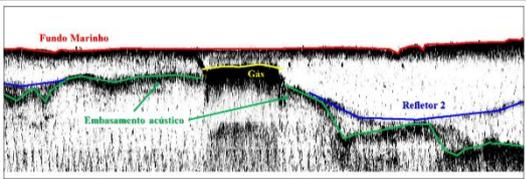
Apesar da limitação da quantidade de dados processadas, observa-se que o resultado final apresentado neste trabalho mostra semelhanças com o dado de Sousa (2011). Na comparação entre os dois trabalhos, percebe-se claramente a elevação da profundidade em direção à parte central da Baía de Sepetiba, nas proximidades das Ilhas de Itacuruçá e Madeira.

O sismograma avaliado neste trabalho apresenta claramente uma zona de distúrbio acústico, que pode estar associado à presença de gás em subsuperfície. Esse padrão é identificado em diversos outros trabalhos como regiões de gás (Oliveira, 2000; Emeis *et al.*, 2004; Hatushika *et al.*, 2007 e Kim *et al.*, 2004), conforme demonstrado na Tabela 3.

Adicionalmente, Sousa (2011) identificou a presença de gás nos testemunhos realizados na área, o que corrobora a interpretação feita neste trabalho, que mapeou a presença de bolsões de gás nas linhas L02, L08, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L19, R27, R26, R24, R20 e R12. (Figura 17).

Tabela 3. Comparativos das interpretações dos distúrbios identificados como gás em outras regiões (continua).

REFERÊNCIA	REGIÃO	EVIDÊNCIA DA PRESENÇA DE GÁS
Kim <i>et al.</i> , 2004	SE da Plataforma continental ao largo do estreito da Coreia	
Emeis <i>et al.</i> , 2004 (apud Pinto, 2012)	Plataforma continental da Namíbia.	

REFERÊNCIA	REGIÃO	EVIDÊNCIA DA PRESENÇA DE GÁS
Oliveira, 2000 (<i>apud</i> Fontana, 2014)	Proximidades da Ilha de Paquetá, Baía de Guanabara, RJ.	
Hatushika <i>et al.</i> , (2007)	Lago Juparanã, Linhares, ES.	
Abílio, 2017 (presente trabalho)	Saco da Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ.	

Conforme relatado por Yuan *et al.*, (1992), a origem dos gases encontrados nos sedimentos marinhos pode ser biogênica e/ou termogênica, sendo comum a observação de gás em subsuperfície em áreas estuarinas e costeiras, como é a área de estudo do presente trabalho, o Saco da Coroa Grande.

A ocorrência de gás raso nos sedimentos de fundo marinho é comum em ambientes rasos que recebem grandes fornecimentos de matéria orgânica para reação (Mazumdar *et al.*, 2009). O gás de origem biogênica é formado por metanogênese microbiana em ambientes anaeróbicos (Yamamoto *et al.*, 1976).

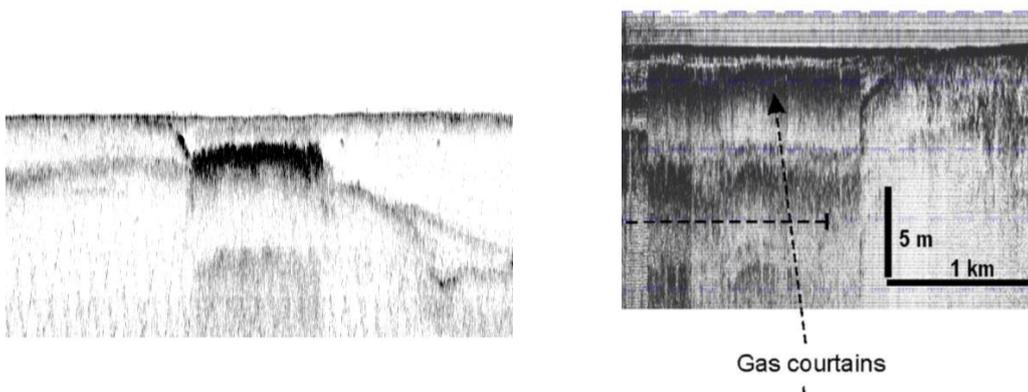
Segundo Judd (2004) os sedimentos de granulometria fina são normalmente ricos em matéria orgânica, se tornando ideal para geração de metano. A forte presença de matéria orgânica e dos sedimentos principalmente finos, relatada por Sousa (2011) nos testemunhos coletados, nos permite inferir a origem biogênica para o gás encontrado no presente estudo.

Nesse trabalho a presença de gás junto ao sedimento foi registrado no sismograma como três tipos e fáceis sísmicas diferentes. A fáceis sísmica mais presente nos dados foi a cortina acústica (*gas curtain*). Segundo Weschenfelder *et al.* (2014) a cortina acústica tem o formato de caixa com uma grande reflexão no topo e mascara todas as estruturas sedimentares abaixo impossibilitando o mapeamento destas (Figura 21A).

Outra fáceis comum nos sismogramas foi a sombra negra (*black shadow*). Segundo Baltzer *et al.* (2005) esse tipo de fáceis se difere da cortina de gás uma vez que ela alcança o topo do sismograma (fundo marinho). A presença dessa fáceis gera uma reverberação da energia sísmica induzindo uma repetição (múltiplas) dessa estrutura no sismograma (Weschenfelder *et al.*, 2016) (Figura 21B).

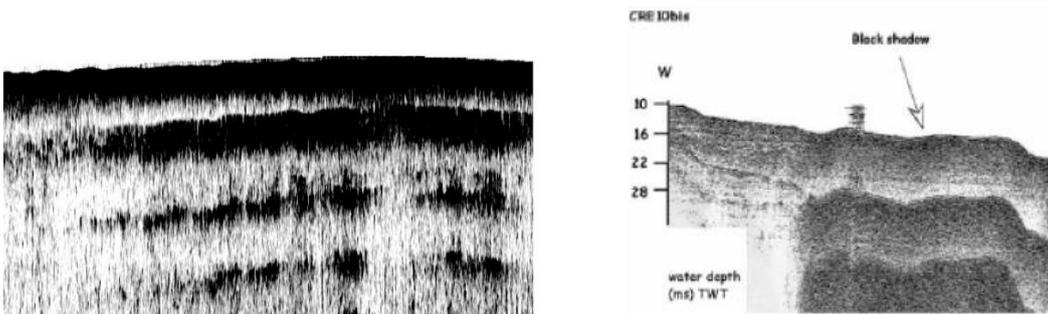
Por último, observa-se uma outra fáceis, não tão presente quanto as demais: os pináculos de turbidez (*turbidity pinnacles*). Segundo Weschenfelder *et al.* (2016) essa fáceis é característica de escape de gás. Se manifesta em um formato côncavo semelhante a um “U” invertido e impossibilita a visualização das camadas subjacentes assim como as outras fácies acima (Iglesias & Garcia-Gil, 2007) (Figura 21C).

(A) Cortina Acústica (*gas courtain*)



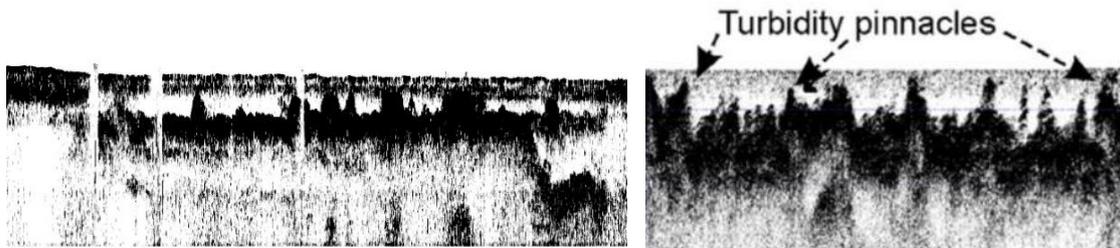
(Extraído de Weschenfelder et. al, 2016)

(B) Sombra Negra (*black shadow*)



(Extraído de Baltzer et al, 2005)

(C) Pináculos de Turbidez (*turbidity pinnacle*)



(Extraído de Weshenfelder et. al, 2016)

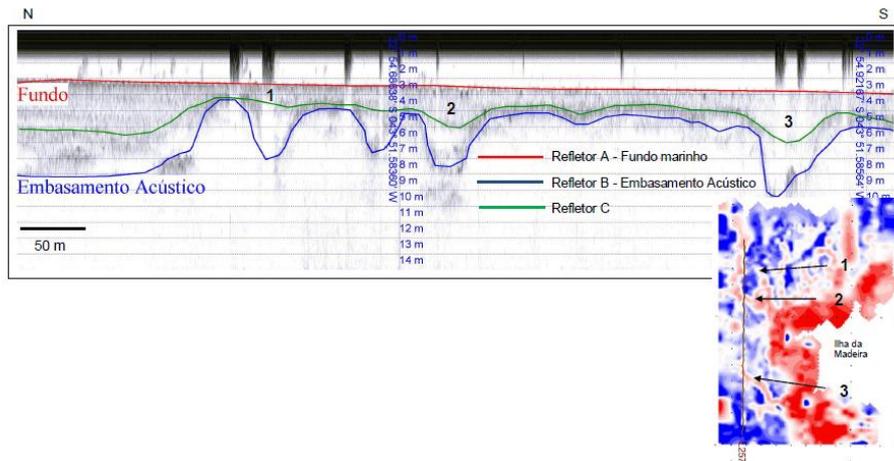
Figura 21. Comparação entre as estruturas identificadas por este trabalho e as reportadas na literatura. Em a – cortina acústica; b – sombra negra e c – pináculos de turbidez.

Merece destaque, também, a presença de paleocanais na área do Saco da Coroa Grande. Evidenciados como depressões curvilíneas (Figura 22) no sismograma, tanto por Sousa (2011) quanto por este trabalho e por Friederichs *et al.* (2013). Segundo Sousa (2011), esses canais podem ter sido estabelecidos a 7 mil anos atrás, numa época em que o nível do mar esteve mais baixo.

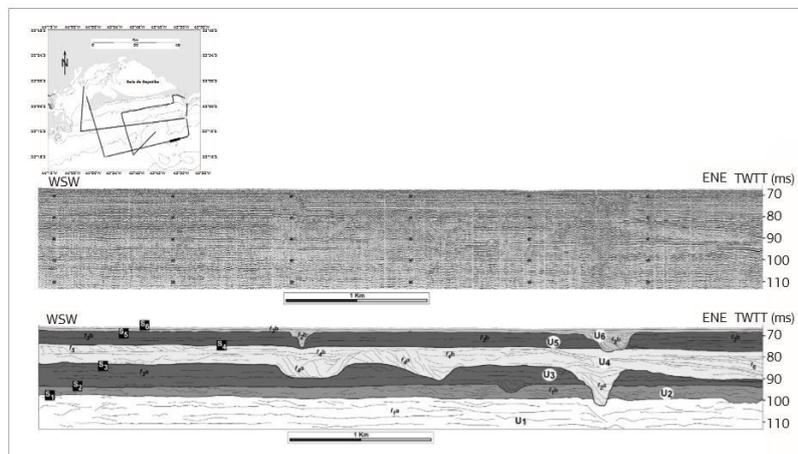
Posteriormente, estes canais foram submersos com a elevação do nível do mar e gradativamente soterrados. Estruturas similares foram identificadas por Friederichs *et al.*, (2013) como sendo canais fluviais na plataforma rasa da baía de Sepetiba, afogados posteriormente pela deglaciação (~22 - 18 ka até ~8 ka A.P.), que representavam a atuação de um sistema fluvial.

Ainda estudando essas depressões curvilíneas, pode se notar um alto arredondado, delimitado, normalmente, pelo refletor que corresponde ao embasamento acústico. Segundo Baptista Neto *et al.*, (2011) podemos inferir que esse relevo bastante irregular, com formas do tipo “pão de açúcar” (Baptista Neto *et al.*, 1996; Catanzaro *et al.*, 2004) e seguido de canais, trata-se do embasamento cristalino (Figura 22).

(A) Sousa (2011)



(B) Friederichs et. al. (2013)



(C) Abílio (2017) – presente estudo



Linha R 20 – Saco da Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ

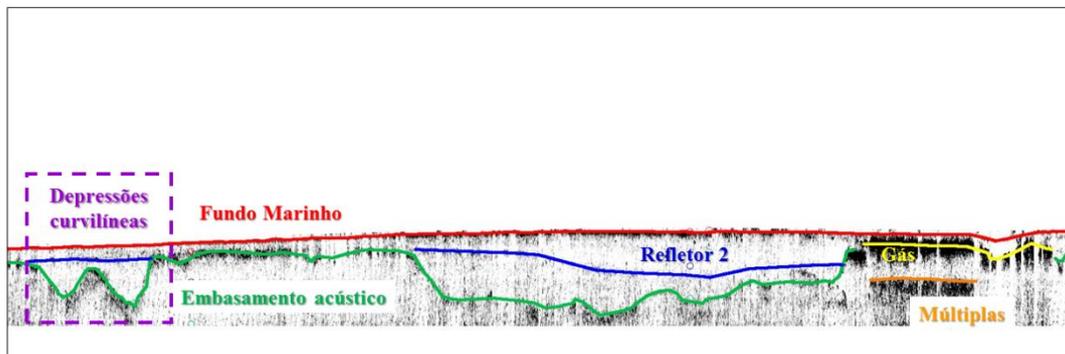


Figura 22: Sismogramas mostrando a presença de depressões curvilíneas classificadas como paleocanais em Sousa, (2011) – (A); Friederichs *et al.*, (2013) - (B) e pelo presente estudo - (C), exemplificado pelo sismograma da linha R20.

10 CONCLUSÃO

Esse trabalho analisou a região da baía de Sepetiba com foco na região do Saco da Coroa grande situada ao Norte da baía acima da Ilha Madeira e a Ilha de Itacuruçá. A região apresenta em sua maioria sedimentos finos devido ao seu semi confinamento. Muitos autores ainda estudam a formação dessa região.

Esse estudo objetivou a análise geológica e geomorfológica da região através de dados sísmicos. Foram usados dados de sísmica de alta resolução obtidos pelo aparelho *Stratabox* operando em 10khz. Esses dados foram adquiridos entre 04/06/2009 e 05/06/2009.

O atual estudo possibilitou a localização de dois principais refletores que foram identificados como sendo o fundo marinho e o embasamento acústico. Refletores subjacentes em alguns sismogramas porém estes são descontínuos e/ou ausentes em grande parte do dado.

As estruturas mais marcantes no dado sísmico foram os distúrbios acústicos. Essas estruturas já foram identificadas por outros autores, associadas a presença de gás. Este trabalho corrobora a associação dos distúrbios acústicos a presença de gás em subsuperfície. Outra estrutura encontrada nos sismogramas foi a depressão curvilínea, encontra em alguns sismogramas e associada a paleocanais. Estes paleocanais foram encontrados e datados em outros trabalhos na região, como o de Sousa (2011).

Recomenda-se que, em estudos futuros na região, para a uma melhor interpretação dos dados, seja associada a perfuração de poços para amarração com os dados sísmicos já levantados na região. Deste modo, seria possível identificar mais camadas e associar com a estratigrafia da região, possibilitando o mapeamento do embasamento cristalino da região.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, A. L. & HAMPTON, L. D. (1980). **Acoustics of gas bearing sediments I, Background.** Journal of the Acoustical Society of America, 67(6):1865-1889.

AYRES NETO, A. & BAPTISTA NETO, J. A. (2004). Métodos diretos e indiretos de investigação do fundo oceânico. In: **Introdução à geologia marinha.** Orgs: BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. Interciências, Rio de Janeiro, cap. 6:127-151.

AYRES, A. N. (2001). **Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina.** Brazilian Journal of Geophysics, Vol. 18(3):241-255.

BALTZER, A.; TESSIER, B.; NOUZÊ, H.; BATES, C.; MOORE, C. & MENIER, D. (2005). **Seistec seismic profiles: a tool to differentiate gas signatures.** Marine Geophysical Researches, 26(2-4):235-245.

BAPTISTA NETO J. A.; SILVA C. G.; MACEDO DIAS G. T. & FONSECA E. M. (2011). **Distribuição sedimentar da Lagoa Rodrigo de Freitas através de sísmica de alta resolução.** Revista Brasileira de Geofísica, 29(1):187-195.

BAPTISTA NETO, J. A.; SILVA, M. A. M. & FIGUEIREDO JR., A. G. (1996). **Sísmica de alta frequência e o padrão de distribuição de sedimentos na enseada de Jurujuba (Baía de Guanabara) - RJ/Brasil.** Revista Brasileira de Geofísica, 14(1):51-57.

BORGES, H. V. & NITTRouer, A. C. (2015). **The paleo-environmental settings of Sepetiba bay, Rio de Janeiro, Brazil, in the late Pleistocene: interpretations from high-resolution seismic stratigraphy.** Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 33(3).

BRÖNNIMANN, P.; MOURA, J. A. & DIAS-BRITO, D. (1981). **Ecologia dos foraminíferos e microrganismos associados da área de Guaratiba/Sepetiba: Modelo ambiental e sua aplicação na pesquisa de hidrocarbonetos.** Relatório 3549. PETROBRAS.

CATANZARO, L. F. (2004). **Processos sedimentares distintas na Baía de Guanabara - SE / Brasil, com base na análise de eco-caráter (7,0 kHz).** Dissertação de Mestrado. 124 p.

- CATANZARO, L.F.; BAPTISTA NETO, J. A.; GUIMARÃES, M. S. D. & SILVA, C. G. (2004). **Distinctive sedimentar processes in Guanabara Bay – SE/Brazil, based on the analysis of echo-character (7.0kHz)**. *Revista Brasileira de Geofísica*, 22(1):69–83.
- DIMITROV, L. (2002). **Contribution to atmospheric methane by natural seepages on the Bulgarian continental shelf**. *Continental Shelf Research*, 22:2429-244
- EMEIS, K. C.; BRÜCHERT, V.; CURRIE, B.; ENDLER, R.; FERDELMAN, T.; KIESSLING, A.; LEIPE, T.; NOLIPEARD, K.; STRUCK, U.; VOGT, T. (2004). **Shallow gas in shelf sediments of the Namibian coastal upwelling ecosystem**. *Cont. Shelf Res.*:24(6):627-642.
- FADER, G. B. J. (1997). **The effects of shallow gas on seismic reflection profiles**. *In: Glaciated Continental Margins. An Atlas of Acoustic Images*. DAVIES, T. A.; BELL, T.; COOPER, A. K.; JOSEPHANS, H.; POLYAK, L.; SOLHEIM, A.; STOKER, M. S. & STRAVERS, J. A. (Eds.). Chapman & Hall, London, pp. 29–30.
- FELIX C.A. (2012). **Evolução quaternária superior e formação de gás raso em ambiente estuarino tropical: o caso do canal de Bertioga, Sao Paulo**. Dissertação de Mestrado em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Geológica. Universidade de São Paulo. 96p
- FIGUEIREDO JR, A.G.; IVO, F.C.; GUIRO, P.P.; GALLEA, C.G.; BORGES, H.V.; DUQUE, H.R. (1989). **Estratigrafia sísmica rasa, Baía de Sepetiba - RJ**. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica, 1. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geofísica. Resumos. p.786-792.
- FLEISCHER, P.; ORSI, T. H.; RICHARDSON, M. D. & ANDERSON, A. L. (2001). **Distribution of free gas in marine sediments: a global overview**. *Geo-Marine Lett.* 21:103-122.
- FRAZÃO, E. & VITAL, H. (2007). **Estruturas rasas de gás em sedimentos no estuário Potengi (Nordeste do Brasil)**. *Revista Brasileira de Geofísica*. 25:17-26.
- FRIEDERICHS, Y. L.; dos REIS, A. T.; SILVA, C. G.; TOULEMONDE, B.; MAIA, R. M. da C. & GUERRA, J. V. 2013. **The seismic architecture of the Sepetiba fluvio-estuarine system preserved on the shallow stratigraphic record on the offshore inner-mid shelf, Rio de Janeiro, Brazil**. *Brazilian Journal of Geology*, 43(1):124-138.

- GARCIA-GARCIA, A.; VILAS, F & GARCIA-GIL, S. (1999). **A seeping sea-floor in Ria environment: Ria de Vigo (Spain)**. Environ. Geol. 38:296-300.
- GARCIA-GIL, S.; VILAS, F. & GARCIA-GARCIA, A. (2002). **Shallow gas features in incised-valley fills (Ria de Vigo, NW Spain): a case study**. Continental Shelf Research, 22(16):2303-2315.
- HATUSHIKA R. S.; SILVA C. G. & MELLO C. L. (2007). **Sismoestratigrafia de alta resolução no lago Juparana, Linhares (ES, Brasil) como base para estudos sobre a sedimentação e tectônica quaternária**. Revista Brasileira de Geofísica, 25(4):433-442.
- HOVLAND, M. & JUDD, A.G. (1988). **Seabed Pockmarks and Seepages. Impact on Geology, Biology and the Marine Environment**. Graham and Trotman, London, 294pp.
- IGLESIAS, K. & GARCIA-GIL, S. (2007). **High-resolution mapping of shallow gas accumulations and gas seeps in San Simon Bay (Ria de Vigo, NW Spain). Some quantitative data**. Geo-Marine Letters, 27(2-4):103-114.
- JUDD, A. G. & HOVLAND, M. (1992). **The evidence of shallow gas in marine sediments**. Continental Shelf Research, 12(10),1081-1095.
- JUDD, A. G. (2004). **Natural seabed gas seeps as sources of atmospheric methane**. Environmental Geology, 46:988-996.
- JUDD, A. G., & HOVLAND, M. (2007). **Seabed Fluid Flow: The Impact of Geology, Biology and the Marine Environment**, xv, 475 pp., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K. and New York.
- JUDD, A.G.; SIM, R.; KINGSTON, P. & MCNALLY, J. (2002). **Gas seepage on an intertidal site: Torry Bay, Firth of Forth, Scotland**. Continental Shelf Research, 2002. 22:2317-2331.
- JUNIOR, P. V.; BASTOS, A. C.; PIZZIN, B. F.; GAVA, R. D.; QUARESMA, V. S. & SILVA, C. G. (2009). **Sonar de Varredura Lateral e Sísmica de Alta Resolução Aplicados no Estudo de Ecofácies na Baía de Vitória – ES**. Revista Brasileira de Geofísica, 27(3):411-425.
- KEAREY, P; BROOKS, M; HILL, I. (2009). **Geofísica de Exploração**. Oficina de Textos, 440p

- KIM, D. C.; LEE, G. H.; SEO, Y. K.; KIM, G. Y.; KIM, S. Y.; KIM, J. C.; PARK, S. C. & WILKENS, R. (2004). **Distribution and acoustic characteristics of shallow gas in the Korea strait shelf mud off SE Korea**. *Marine Georesources and Geotechnology*, 22:21-31.
- KLEIN, A. H. da F.; DEMARCO, L. F. W.; GUESSER, V.; FLEMMING, G. R.; BONETTI, J.; PORPILHO, D.; AYRES NETO, A.; de SOUZA, J. A. G & FÉLIX, C. A. (2016). **Shallow gas seismic structures: forms and distribution on Santa Catarina Island, Southern Brazil**. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(4):324-338.
- LAMEGO, A. R. (1945). **Ciclo evolutivo das lagoas fluminenses**. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral. 48p.
- LEE, G.; KIM, D.; KIM, H.; JOU, H. & LEE, Y. (2005). **Shallow gas in the central part of the Korea Strait shelf mud off the southeastern coast of Korea**. *Continental Shelf Research*, 25(16):2036-2052.
- MAZUMDAR, A.; PEKETI, A.; DEWANGAN, P.; BADESAB, F.; RAMPRASAD, T. & RAMANA, M. V. (2009). **Shallow gas charged sediments off the Indian west coast: Genesis and distribution**. *Marine Geology*, 267:71-85.
- MORANG, A.; LARSON, R & GORMAN, L. (1997). **Monitoring the Coastal Environment, Part III: Geophysical and Research Methods**. *Journal of Coastal Research*, 13(4):1064-1085.
- MOSHER, D.C. & SIMPKIN, P.G. (1988). **Status and Trends of Marine High-Resolution Seismic Profiling: Data Acquisition**. *Geoscience Canada*, 26(4).
- PEREIRA, S. D. (1998). **Influência da variação relativa do nível do mar no manguezal de Guaratiba Baía de Sepetiba – RJ**. Centro de Geologia Costeira e Oceânica da UFRGS. Tese de Doutorado. 133p.
- PONÇANO, W. L. (1976). **Sedimentação atual na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro: contribuição à avaliação de viabilidade geotécnica da implantação de um porto**. São Paulo, Instituto de Geociências da USP. Dissertação de Mestrado.
- SCHÖN, J. H. (1996). **Physical Properties of Rocks. Fundamentals and Principles of Petrophysics**. *Handbook of Geophysical Exploration. Section I, Seismic Exploration*, V.18. Pergamon Press. 583 pp.

- SHARMA, P. V. (1997). **Environmental and Engineering Geophysics**. Cambridge University Press. 475 pp.
- SHERIFF, R. E. & GELDART, L. P. (1982). **Exploration Seismology Vol.1: History, Theory and Data Acquisition**. Cambridge University Press, Cambridge.
- SILVA, K. J. (2006). **Paleoecologia de foraminíferos bentônicos do Holoceno Superior na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. 30pp.
- SOUSA de, F. C. A. M. F. (2011). **Evolução sedimentar do Saco da Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ**. Niterói, RJ. Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR), Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense. Dissertação de Mestrado. 71pp.
- TEIXEIRA B. P. (2013). **Processamento sísmico aplicado a dados de alta resolução para caracterização de feição geológica do fundo oceânico ao largo de Cabo Frio-RJ**. Monografia do curso de graduação em geofísica, Universidade Federal Fluminense. 45p.
- VARDAR, D. & ALPAR, B. (2016). **High-Resolution Seismic Characterization of Shallow Gas Accumulations in the Southern Shelf of Marmara Sea, Turkey**. *Acta Geophysica* 63(3):589-609.
- WESCHENFELDER, J.; BAITELLI, R.; CORREA, I. C. S.; BORTOLIN, E. C. & SANTOS, C. B. (2014). **Quaternary incised valleys in the southern Brazil coastal zone**. *J. S. Am. Earth Sci.* 55:83-93.
- WESCHENFELDER, J.; KLEIN, A. H. F.; GREEN, A. N.; ALIOTTA, S.; MAHIQUES, M. M.; AYRES NETO, A.; TERRA, L. C.; CORREA, I. C. S.; CALLIARI, L. J.; MONTOYA, I.; GINSBER, S. S. & GRIEP, G. H. (2016). **The control of palaeotopography in the preservation of shallow gas accumulation: Examples from Brazil, Argentina and South Africa**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (172):93-107.
- WILKENS, R. H. & RICHARDSON, M. D. (1998). **The influence of gas bubbles on sediment acoustic properties: in situ, laboratory, and theoretical results from Eckern f'orde Bay, Baltic Sea**. *Cont. Shelf Res.* 18, 1859-1892.

YAMAMOTO, S.; ALCAUSKAS, J. B. & CROZIER, T. E. (1976). **Solubility of methane in distilled water and seawater**. Journal of Chemical and Engineering Data, 21:78-80

YUAN, F.; BENNELL, J. D & DAVIS, A. M. (1992). **Acoustic and physical characteristics of gassy sediments in the western Irish Sea**. Continental Shelf Research, 12(10):1121-1134.