

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS



**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS
ACUMULAÇÕES DE GÁS RASO NA LAGOA DOS
PATOS, SUL DO BRASIL – RS**

VINÍCIUS EDUARDO BESTETTI DE VASCONCELLOS

ORIENTADOR – Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Salvador Aliotta – Universidad del Sur – Bahía Blanca,
Argentina

Prof. Dr. Lauro Julio Calliari – Fundação Universidade Federal do Rio
Grande, FURG

Prof. Dr. Jair Weschenfelder – Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul

Dissertação de Mestrado
apresentada como requisito
parcial para a obtenção do Título
de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – setembro 2009

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO	1
1. OBJETIVOS.....	1
2. ÁREA DE ESTUDO	2
3. REVISÃO CONCEITUAL	3
3.1. Método sísmico	3
3.2. Classificação de Refletores	4
II. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
1. BACIA DE PELOTAS	9
2. PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL	11
3. SISTEMAS DEPOSICIONAIS COSTEIROS	12
3.1. Sistemas de Leques Aluviais	13
3.2. Sistemas do Tipo Laguna-Barreira.....	14
4. LAGOA DOS PATOS	18
III. METODOLOGIA	21
1. FONTES DE AQUISIÇÃO.....	21
2. DADOS SÍSMICOS.....	22
IV. RESULTADOS	26
1. PERFIL 1	26
2. PERFIL 2	27
3. PERFIL 3	29
4. PERFIL 4	31
5. PERFIL 5	35
6. PERFIL 6	37
7. PERFIL 7	39
8. PERFIL 8	42
9. PERFIL 9	44
10. PERFIL 10	46
11. PERFIL 11	48
12. PERFIL 12	50
13. PERFIL 13	52
14. PERFIL 14	54
15. PERFIL 15	56
16. PERFIL 16	58
17. PERFIL 17	60
18. PERFIL 18	62
19. PERFIL 19	64
20. PERFIL 20	66
21. PERFIL 21	68
22. PERFIL 22	70
23. PERFIL 23	72
24. PERFIL 24	75
25. PERFIL 25	77
26. PERFIL 26	80
27. PERFIL 27	82
28. PERFIS DE 7,0 kHz.....	84
29. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS FIGURAS.....	86

30.	<i>MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DO GÁS RASO</i>	86
V.	DISCUSSÕES	90
1.	<i>OCORRÊNCIAS MUNDIAIS DE GÁS RASO</i>	90
2.	<i>ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS</i>	97
2.1.	Características do Gás Raso	98
3.	<i>PRESENÇA DE GÁS RASO NA LAGOA DOS PATOS</i>	99
3.1.	Sistemas Vinculados ao Gás	100
VI.	CONCLUSÕES	105
VII.	REFERÊNCIAS	107

RESUMO

A presença abundante de gás nos sedimentos quaternários do substrato da Lagoa dos Patos, detectada através de perfis sísmicos de alta resolução (3,5 kHz) tem sido evidenciada (Weschenfelder, 2005; Weschenfelder *et al.* 2005; Vasconcellos, 2006). Com a crescente necessidade e procura por novos reservatórios de hidrocarbonetos, a Lagoa dos Patos, localizada na Bacia de Pelotas, merecer ser avaliada mais cuidadosamente com relação ao gás presente em seu substrato, fato esse, até recentemente desconhecido. O estudo tem por finalidade o reconhecimento e mapeamento das acumulações de gás raso na Região da Lagoa dos Patos, assim como estabelecer modelos de formação e reconhecer os fatores que condicionam as acumulações. A análise sísmica de alta resolução (3,5 kHz), juntamente com um sistema de posicionamento por satélite dos perfis levantados, mostra-se um importante instrumento para o mapeamento das feições indicativas de gás raso presentes em perfis sísmicos, sendo notadas por sua impedância acústica anômala, configuração interna quase sempre caótica e terminações laterais abruptas, características desse tipo de gás. É possível diferenciar duas formas principais de acumulações, que são os bolsões de gás e o gás disseminado no sedimento. O objetivo do estudo é integrar dados do projeto temático em geologia “Acumulações de Gás Raso no substrato da Lagoa dos Patos reveladas por sísmica de alta resolução: Caracterização, Mapeamento e Fatores Condicionantes” com dados sísmicos inéditos, adquiridos na campanha intitulada “Operação LAGUPATOS II” do projeto de pesquisa “*Levantamento sísmico da Laguna dos Patos na caracterização dos depósitos sedimentares com presença de gás no fundo lagunar*”; realizado em julho de 2006. Quer-se aqui desenvolver mapas que reflitam a distribuição do gás raso, diferenciando suas variadas formas de acumulações no sedimento e ainda determinar os processos que geraram as camadas selantes e reservatórias, paleotopografia, assim como outros fatores que propiciaram a geração e armazenamento e, por vezes, o escape do gás. Devido a atual importância do gás natural na economia nacional e ao provável potencial da Bacia de Pelotas como geradora de gás, é importante localizar suas reservas, mesmo que estas acumulações estejam a pequenas profundidades. Diferenciar, através da sísmica, as propriedades acústicas das acumulações para a determinação de possíveis alvos de interesse econômico e ambiental é outro fator importante de aplicação deste trabalho.

Palavras chave: Sismoestratigrafia, Gás Raso, Lagoa dos Patos.

ABSTRACT

The abundant presence of gas in the Quaternary sediments of the substrate of the Patos Lagoon, detected by high resolution seismic profiles (3.5 kHz) has been evidenced (Weschenfelder, 2005; Weschenfelder *et al.* 2005; Vasconcellos, 2006). With the growing need and demand for new reservoirs of hydrocarbons, the Patos Lagoon, located in the Pelotas Basin, deserve to be evaluated more carefully with respect to the gas present in the substrate, a fact that, until recently unknown. The study aims at the recognition and mapping of shallow gas accumulations in the region of Lagoa dos Patos and establishes generation models and recognizes the factors that influence the accumulations. The analysis of high resolution seismic (3.5 kHz), with a global positioning system satellite of the raised profiles, show an important tool for mapping the indicative features of shallow gas present in seismic profiles and is noted for its anomalous acoustic impedance, internal configuration almost always chaotic and abrupt lateral terminations, characteristics of this type of gas. It is possible to distinguish two main forms of accumulation, which are pocket gas and disseminated gas in the sediment. The objective is to integrate data in geology theme "Acumulações de Gás Raso no substrato da Lagoa dos Patos reveladas por sísmica de alta resolução: Caracterização, Mapeamento e Fatores Condicionantes" with unpublished seismic data acquired in the campaign entitled "Operação LAGUPATOS II "the research project "*Levantamento sísmico da Lagoa dos Patos na caracterização dos depósitos sedimentares com presença de gás no fundo lagunar*", held in July 2006. The objective of the study is to develop maps that reflect the distribution of shallow gas, differentiating its various forms of accumulation in sediment and also determine the processes that generated the sealant layers and reservoirs, paleotopography as well as other factors that contributed to the generation and storage, and sometimes the gas seeps. The current importance of natural gas in the national economy and the likely potential of the Pelotas Basin as a generator of gas, it is important to locate their stores, even if these accumulations are in small depths. Differentiate, through the seismic, the acoustic properties of the accumulations to determine possible targets of economic and environmental interest is another important application of this work.

Keywords: seismic stratigraphy, shallow gas, Lagoa dos Patos.

I. INTRODUÇÃO

1. OBJETIVOS

Objetivo geral:

O estudo tem por finalidade o reconhecimento e mapeamento das acumulações de gás raso na Região da Lagoa dos Patos, assim como estabelecer modelos de formação e reconhecer os fatores que condicionam as acumulações. Esse mapeamento das fácies sísmicas relativas à presença de gás nos sedimentos contribuirão de forma significativa para uma melhor compreensão da evolução geológica dos sistemas laguna-barreira reconhecidos e observados amplamente na planície costeira do RS. Determinar padrões e criar modelos para a geração do gás local poderá ser utilizada para analisar acumulações de gás raso em sistemas sedimentares similares.

Objetivos específicos:

O objetivo do projeto é integrar dados do projeto temático em geologia denominado “Acumulações de Gás Raso no substrato da Lagoa dos Patos reveladas por sísmica de alta resolução: Caracterização Mapeamento e Fatores Condicionantes” com dados sísmicos inéditos, adquiridos na campanha intitulada “Operação LAGUPATOS II” do projeto de pesquisa “*Levantamento sísmico da Laguna dos Patos na caracterização dos depósitos sedimentares com presença de gás no fundo laguna*”; realizado no período de 24 a 28 de julho de 2006. Espera-se desenvolver mapas que representem uma configuração mais próxima da real da distribuição do gás raso presente nos sedimentos, diferenciando suas variadas formas de acumulação no sedimento e ainda determinar os processos que geraram as camadas selantes e reservatórias, paleotopografia, assim como outros fatores

que propiciaram a geração e armazenamento e, por vezes, o escape do gás do fundo lagunar para a coluna d'água.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a região central e sul da Lagoa dos Patos (Fig. 1), localizada na planície costeira do Rio Grande do Sul. O corpo lagunar tem como limite o Lago Guaíba a norte-nordeste e o Oceano Atlântico a sudeste, onde mostra conexão com o mesmo através do Canal de Rio Grande.

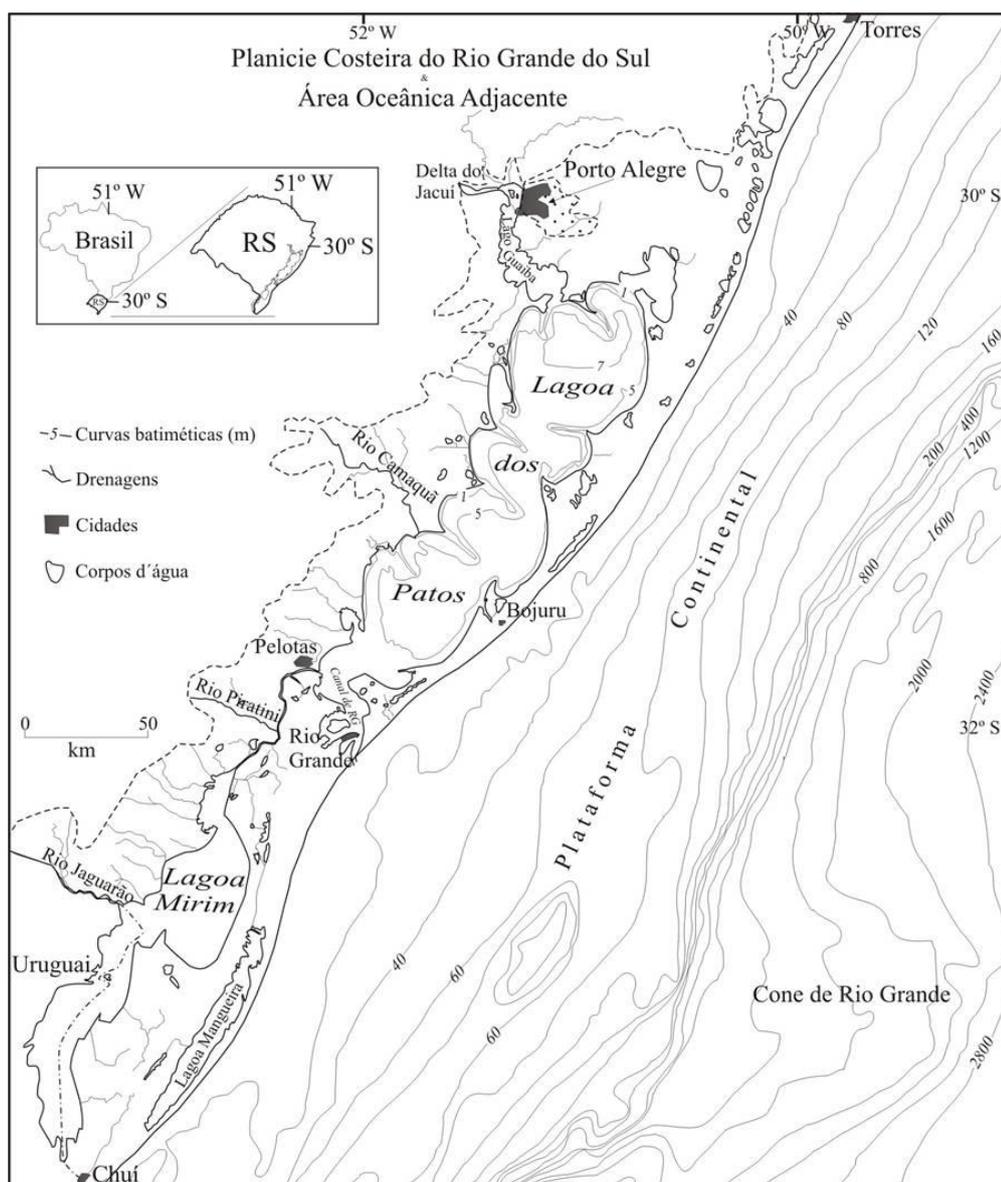


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo que compreende a Lagoa dos Patos.

A Lagoa dos Patos, juntamente com a Lagoa Mirim, ao sul, forma o Sistema Lagunar Patos-Mirim que se encontra paralelo à linha de costa oceânica (SO-NE). O canal de São Gonçalo, localizado ao sul da cidade de Pelotas, interliga a Lagoa dos Patos com a Lagoa Mirim, formando o Sistema Lagunar Patos-Mirim. Sua grande extensão lhe confere o *status* de maior laguna do Brasil.

A Lagoa dos Patos é abrigada da ação das ondas por um sistema complexo de barreiras arenosas que se desenvolveu em consequência dos eventos transgressivos e regressivos do final do Quaternário. Em seu substrato estão presentes grandes quantidades de matéria orgânica e ali ocorrem também inúmeras acumulações de gás em subsuperfície, fato esse que será detalhado no presente trabalho.

3. REVISÃO CONCEITUAL

Este estudo aborda o reconhecimento e mapeamento dos elementos arquiteturais e reflexões anômalas presentes em perfis sísmicos de alta resolução levantados na Lagoa dos Patos. Desta forma, uma breve revisão conceitual do método sísmico, englobando a sísmica de reflexão, torna-se necessária e será exposta a seguir.

3.1. Método sísmico

O método sísmico aproveita o fato de que as ondas elásticas (ondas sísmicas) viajam com diferentes velocidades em diferentes tipos de rochas. Ao longo do processo de propagação, o material responde às perturbações provocadas pela passagem das ondas elásticas, deformando-se em função das suas constantes elásticas. Isso ocorre porque as rochas se comportam efetivamente como materiais com propriedades elásticas intrínsecas, influenciadas, por exemplo, pela porosidade, conteúdo de fluídos e composição mineral. Por conta disso, quando da execução do tratamento matemático do complexo fenômeno físico em questão, isto é, o da propagação de ondas sísmicas, adotam-se algumas aproximações para as propriedades das rochas. A mais simples delas consiste em assumi-las com o mesmo comportamento de materiais elásticos e homogêneos, cujas propriedades são constantes em todos os pontos, e isotrópicos, nos quais as propriedades não variam para quaisquer que sejam as direções em que as observações são efetuadas.

Através da geração de ondas sísmicas, e observando-se o tempo de chegada destas ondas em diferentes pontos, é possível determinar a distribuição de velocidade e localizar interfaces onde as ondas são refletidas e refratadas.

3.1.1. Sísmica de Reflexão

O método sísmico de reflexão emprega os princípios da ótica geométrica que regem a reflexão de ondas planas incidentes numa superfície refletora. A velocidade com que a onda é refletida pela rocha e a densidade da mesma geralmente são diferentes para rochas de composições diferentes ou geradas por processos físicos e químicos variados.

A amplitude do sinal refletido é função de uma complexa interação de diversos fatores. No entanto uma simplificação desta relação é definida para ângulos de incidência normal à superfície refletora.

O produto entre a velocidade e a densidade é definido como Impedância Acústica. É exatamente o contraste de impedância acústica que determina o espalhamento da energia sísmica na forma de reflexão de ondas elásticas. Portanto o coeficiente de reflexão depende do contraste de impedância acústica entre dois meios físicos. Estas interfaces aparecem nos registros sísmicos como horizontes refletores ou simplesmente refletores sísmicos.

O padrão da reflexão (eco) é resultado da interação entre o fundo e o pulso da energia usada como fonte. O retorno do eco é afetado pelo tipo de sedimento e suas camadas (coeficiente de reflexão, espessura das camadas, interferência entre as camadas, reflexões internas múltiplas, etc.) e pelas suas estruturas e topografias (difrações, extensão das camadas, variação lateral no espaçamento das camadas, etc.) (Flood, 1980).

3.2 Classificação de Refletores

O estudo de reconhecimento e o mapeamento dos elementos arquiteturais sísmicos têm sido conduzidos com base na *configuração interna* dos refletores, o tipo de *terminação lateral* e a *geometria externa* dos pacotes, em concordância com as linhas gerais estabelecidas pela sismoestratigrafia (Mitchum *et al.*, 1977). É uma abordagem metodológica que permite a interpretação geológica sistemática dos registros sísmicos, a qual fornece informações sobre os elementos sismo-

deposicionais de estruturação, paleotopografia, processos de sedimentação e formação das acumulações de gás raso presentes na Lagoa dos Patos; há ainda fatores como a frequência e amplitude que podem auxiliar na predição da possível litologia do pacote analisado.

Os padrões de terminação lateral (Fig. 2) de refletores que são usados mais comumente nas interpretações sísmo-estratigráficas são: *lapout*, *onlap*, *downlap*, *toplap*, truncamento erosional e concordante.

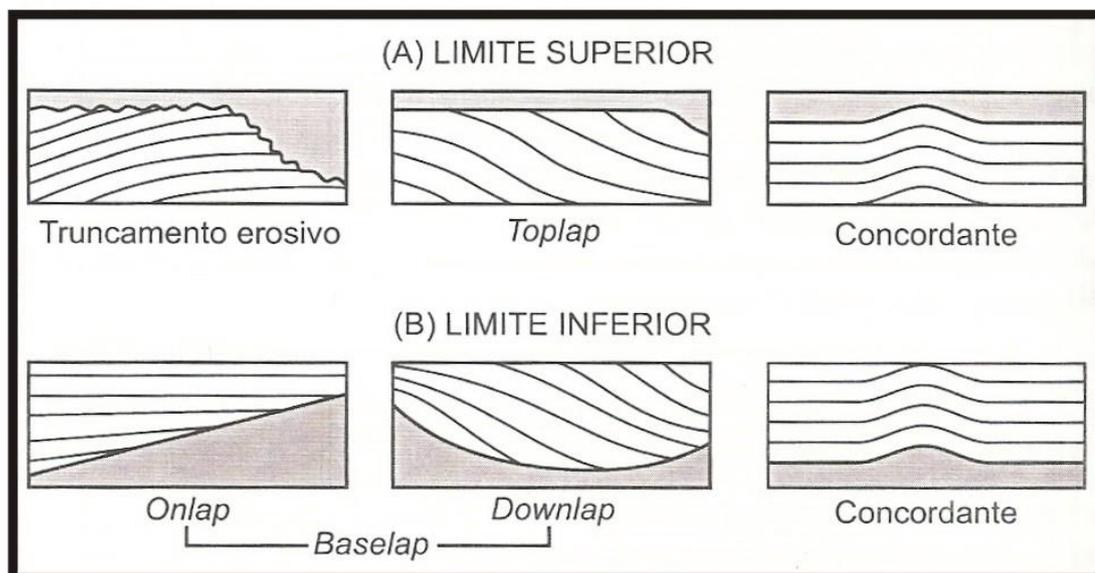


Figura 2: Padrões de terminação de reflexões/ estratos nos limites superior e inferior de uma seqüência sísmica/ seqüência deposicional (retirado de Severiano Ribeiro, *et al.* 2001).

No *lapout* as reflexões apresentam as terminações laterais em seu limite deposicional original. É dividido em *baselap* e *toplap*. O primeiro é quando o *lapout* ocorre no limite inferior e o segundo quando ocorre no limite superior da unidade sísmica.

Baselap é subdividido em *onlap* e *downlap*. O *onlap* é caracterizado pela terminação de refletores horizontais contra uma superfície inclinada, caracterizando uma discordância ou um limite de seqüência. *Downlap* é quando os refletores mergulham suavemente contra uma superfície inclinada ou horizontal. Em algumas situações *onlap* e *downlap* podem ser confundidos, nesse caso usa-se o termo mais abrangente de *baselap*.

A terminação em *toplap* fica caracterizada quando os estratos acabam ascendentemente contra camadas superiores e é interpretada como resultado de não-deposição ou erosão muito reduzida.

Um truncamento erosional implica em deposição de camadas e seu conseqüente basculamento e remoção por erosão, resultando uma superfície discordante.

A concordância é quando as reflexões de duas unidades sísmicas ou seqüências adjacentes se apresentam paralelas com a superfície que as delimitam, podendo ocorrer no topo ou na base de uma unidade sísmica ou seqüência.

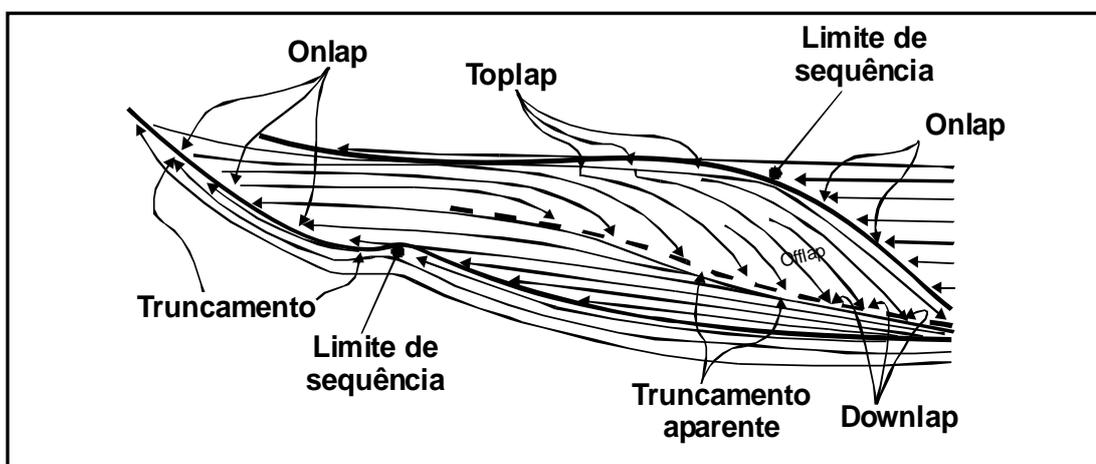


Figura 3: Padrões de terminação de reflexões dentro de uma seqüência sísmica idealizada, ressaltando os padrões em *offlap* e convergência interna (retirado de Severiano Ribeiro, *et al.* 2001).

Uma seqüência (Fig. 3) pode ser subdividida em tratos de sistema, levando em consideração o modelo de deposição de parasseqüências, a mudança lateral de fácies sísmicas e o empilhamento/ordenamento das fácies sísmicas no ambiente deposicional.

A configuração interna (Fig. 4) das reflexões é o parâmetro de fácies sísmicas que melhor as caracteriza, sendo mais comumente utilizado na análise sísmica.

As configurações paralelas e subparalelas indicam uma taxa de deposição uniforme dos estratos, sobre uma superfície estável ou uniformemente subsidente. A configuração divergente indica uma variação em área a taxa de deposição e/ou inclinação progressiva do substrato.

As configurações progradantes ocorrem em áreas onde os estratos superpõem-se lateralmente, constituindo assim superfícies inclinadas chamadas de cliniformas. As configurações caóticas constituem em reflexões discordantes e descontínuas, onde a feição deposicional pode ou não ser reconhecida, podendo evidenciar estratos com dobramentos, pequenas falhas, estruturas de escorregamento ou convolutas.

Os padrões de configuração transparentes são intervalos com ausência de reflexão, podendo indicar litologia homogênea ou não estratificada para o método sísmico.

A configuração *hummocky* apresenta os refletores descontínuos, irregulares, subparalelos, formando um padrão ondulado segmentado. Esse padrão é interpretado como lobos de estratos interdigitados no prodelta, área interdeltáica de águas rasas ou leques turbidíticos de sopé de talude.

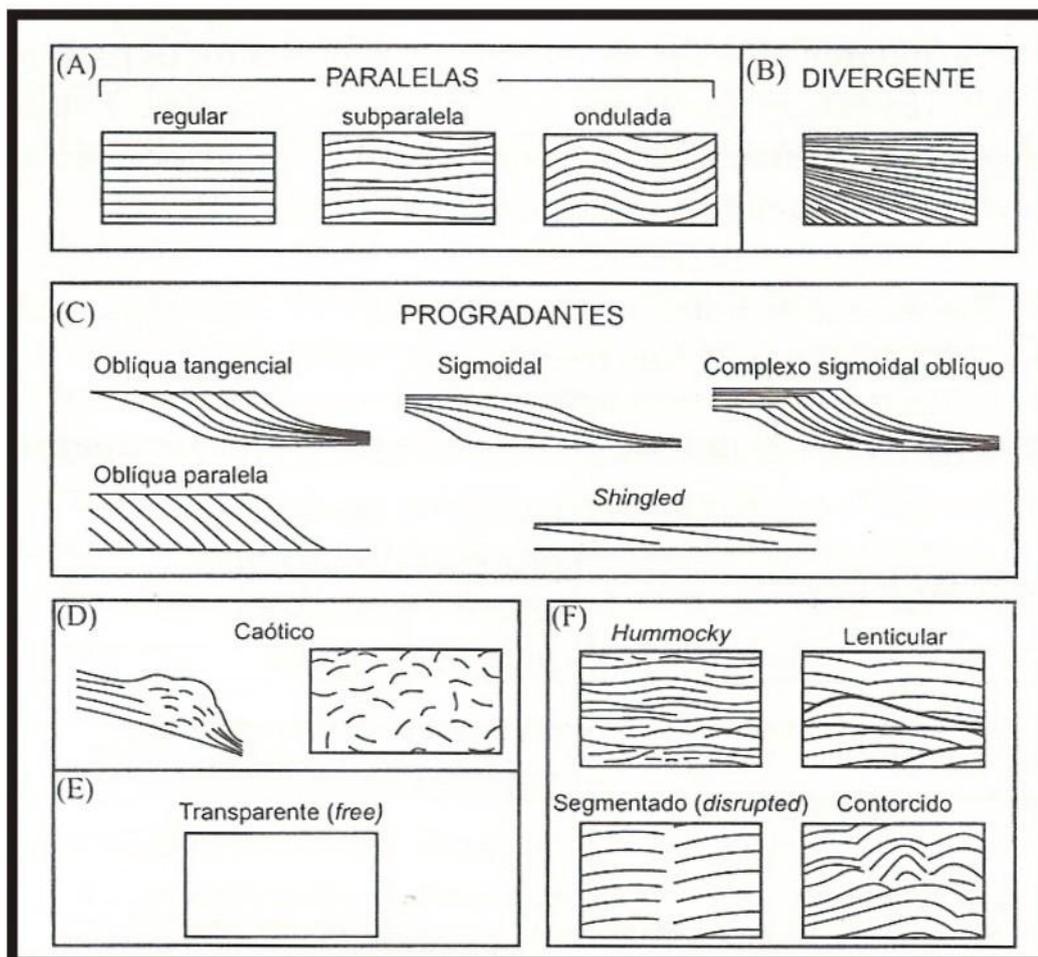


Figura 4: Padrões de configurações internas dos principais tipos de fácies sísmicas (retirado de Severiano Ribeiro, *et al.* 2001).

A forma tridimensional e expressão areal dos pacotes sedimentares são fatores importantes e caracterizam a geometria externa (Fig. 5) das fácies sísmicas.

As geometrias em lençol, cunhas e bancos indicam ambientes plataformais, podendo ter configurações internas do tipo paralela, divergente e progradacional.

É denominado de lençol ondulado a geometria externa de superfície paralela, pouco ondulada e configuração interna paralela. Essa geometria caracteriza deposição uniforme em conformidade com a superfície subjacente.

As geometrias em lentes associam-se a várias fácies sísmicas, sendo mais comum nas cliniformas progradantes.

As montiformas caracterizam feições deposicionais mais elevadas topograficamente em relação às camadas adjacentes, podem ser resultados de processos sedimentares, ígneos e biogênicos.

As geometrias de preenchimento são interpretadas como a sedimentação negativa em feições do relevo da superfície deposicional, sendo erosivas ou não.

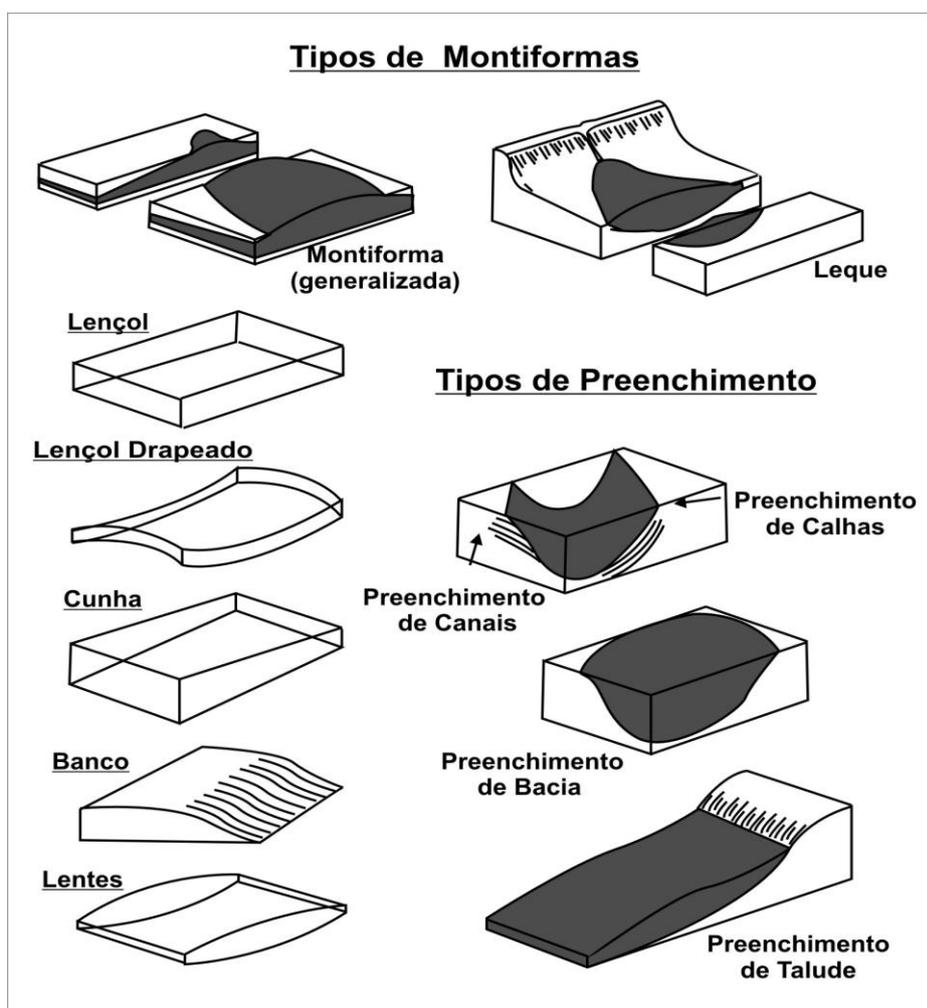


Figura 5: Geometrias externas típicas de algumas unidades de fácies sísmicas (modificado de Severiano Ribeiro, *et al.* 2001).

II. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa dos Patos está localizada na planície costeira do Estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil. Inserida na Bacia de Pelotas, mais precisamente na Província Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS); a Lagoa representa os depósitos superiores da Bacia de Pelotas formados a partir de quatro eventos transgressivos-regressivos que remobilizaram os Sistemas de Leques Aluviais gerando, a partir do Pleistoceno, quatro sistemas do tipo Laguna-Barreira.

1. BACIA DE PELOTAS

A Bacia de Pelotas está localizada no segmento meridional da margem continental brasileira, ao Sul da Plataforma de Pelotas (Fig. 6). Insere-se dentro de um contexto de bacias marginais brasileiras formadas a partir da ruptura de massas do Gondwana Oeste, iniciada no Jurássico, que separou os continentes sul-americano e africano, formando o oceano Atlântico Sul; a Bacia de Pelotas constituiu-se em uma ampla bacia preenchida por sedimentos terciários e quaternários.

No estágio oceânico ocorreu a acumulação de sedimentos na Bacia de Pelotas, com a deposição da Seqüência do Mar, durante o Aptiano, enquanto progressivamente ocorria o afastamento das massas continentais e a construção de crosta oceânica proveniente da Cordilheira Meso-Atlântica (Villwock e Tomazelli, 1995).

Gonçalves *et al.* (1979), Ojeda (1982) e Fontana (1996), caracterizaram o arcabouço estrutural da Bacia de Pelotas com base em estudos sismoestratigráficos.

Feição notável na Bacia é a Linha de Charneira Albo-Aptiana que separa uma zona onde o topo do embasamento é relativamente raso e mergulha suavemente para leste, de outra onde o embasamento se aprofunda rapidamente, com mergulhos acentuados, no mesmo sentido, dividindo-a longitudinalmente em um Bacia Rasa, a oeste, onde o pacote sedimentar é jovem, e uma Bacia Profunda,

a leste, onde ocorrem os sedimentos mais antigos (Asmus e Guazelli, 1981). Essa feição é resultante de sucessivos basculamentos sofridos pela margem continental que acompanhava a subsidência da crosta continental (Gonçalves *et al.*, 1979).

Mais de 10 km de espessura de sedimentos foram depositados e acumulados, obedecendo ao controle estrutural atuante na Bacia de Pelotas (Fontana, 1987; 1990a). Esses sedimentos são de natureza essencialmente clástica-terrígena provenientes de duas áreas fontes principais: rochas ígneas-metamórficas do Escudo Sul-Rio-Grandense e Uruguaio e de rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Paraná (Fig. 7).

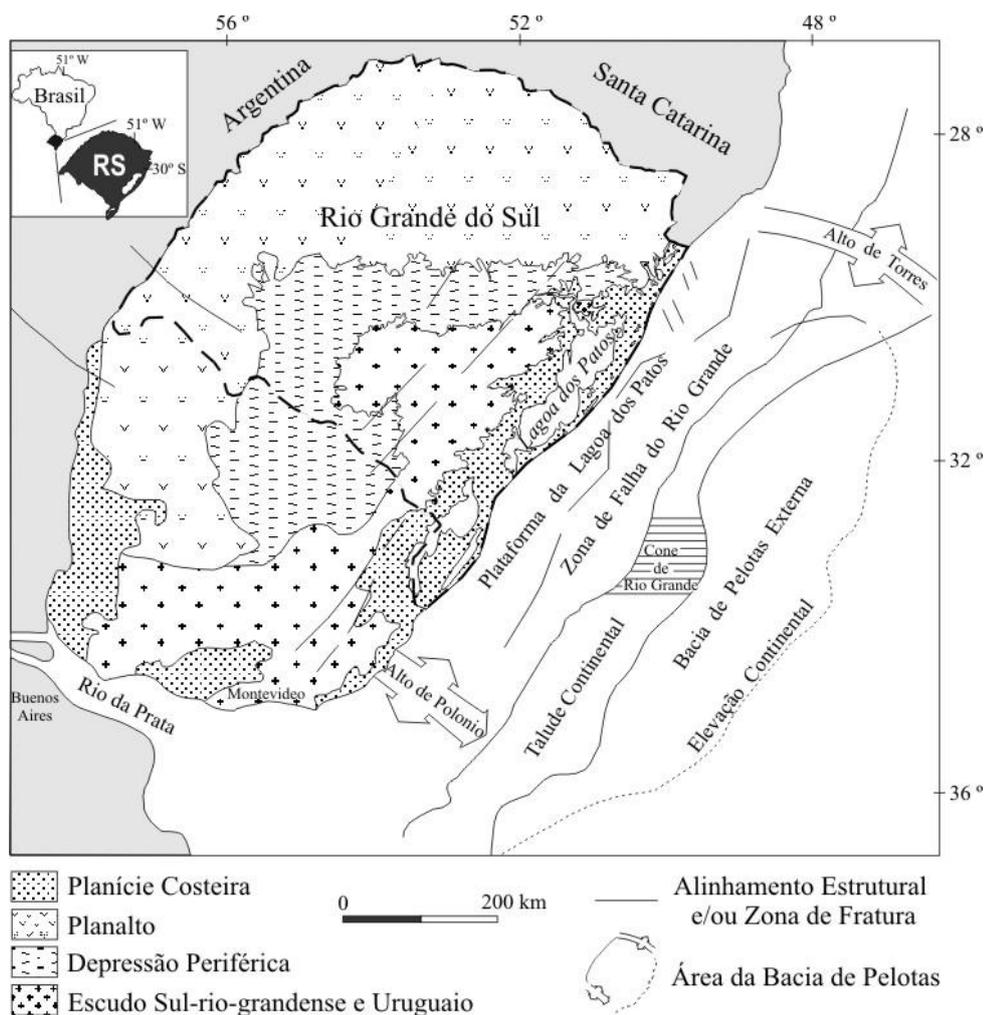


Figura 6: Fisiografia e principais estruturas geológicas do embasamento e da Bacia de Pelotas (modificado de Urien e Martins, 1978, *apud* Dillenburg, 1988).

Fontana (1987, 1990a) mostra que no pacote de sedimentos depositados, os folhelhos predominam sobre os arenitos, calcilutitos e conglomerados, e que estas litologias estão assentadas parte sobre a crosta continental, parte sobre as rochas vulcânicas expelidas no início da fase "riff" e, na zona mais distal, sobre o assoalho oceânico.

Geomorfologicamente a Bacia de Pelotas é dividida em dois grandes compartimentos que integram a Província Costeira: o das Terras Altas, onde estão inclusos o Escudo-Sul-Rio-Grandense, a Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias; e o das Terras Baixas, que compreende a Planície Costeira e a Plataforma Continental. Sedimentos clásticos terrígenos provenientes da dissecação das Terras Altas aportam nas Terras Baixas onde, sob a ação de uma série de processos dinâmicos e sedimentares costeiros ali atuantes, acumulam-se em diversos ambientes transicionais e marinhos. (Villwock e Tomazelli, 1995).

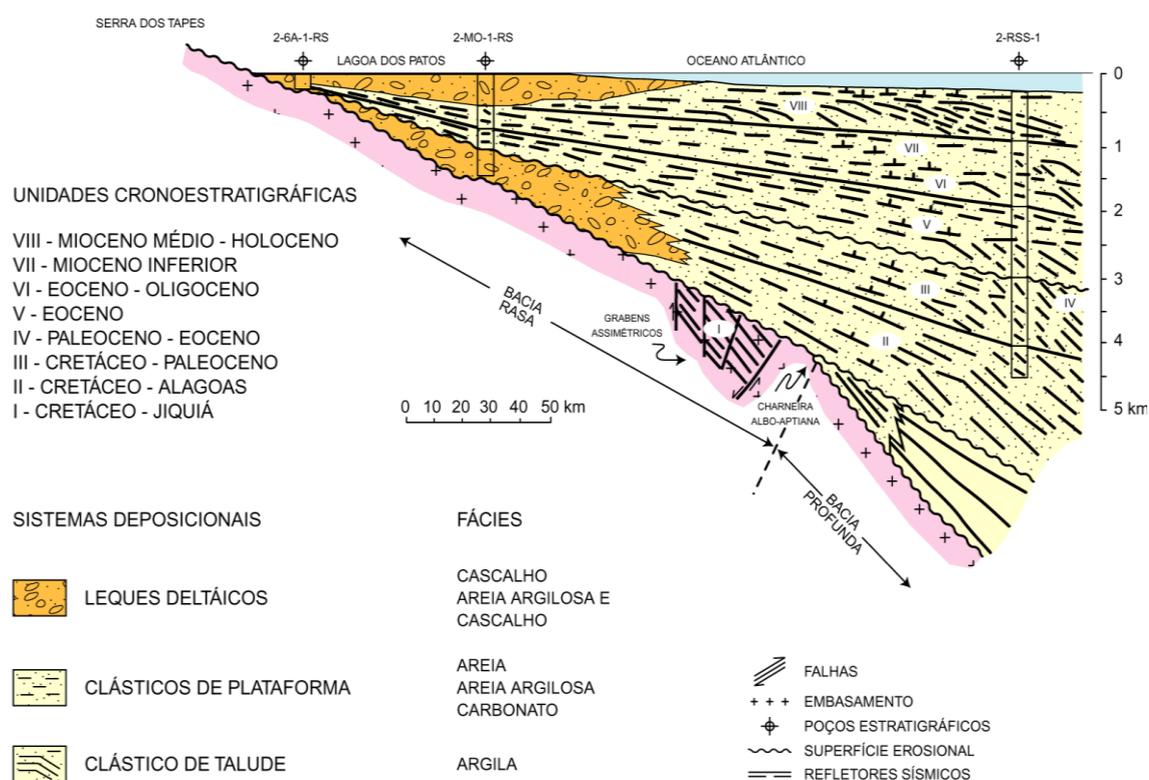


Figura 7: Seção geológica esquemática da Bacia de Pelotas (segundo Villwock, 1984).

2. PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL

Constituindo a parte superficial da PCRS, a Planície Costeira do Rio Grande do Sul representa uma ampla área plana de terras baixas alongadas na direção SW-NE por aproximadamente 600 km. Sua largura média varia de 15-20 km na porção norte e 60-70 km na porção centro-sul, sendo que em sua maior parte é

ocupada em superfície por um sistema de lagos costeiros, atingindo em torno de 33.000 km² (Fig. 8).

A Planície Costeira mostra uma compartimentação geomorfológica compreendendo 5 terrenos distintos: A Planície Aluvial Interna, a Barreira das Lombas, o Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, a Barreira Múltipla Complexa e o Sistema Lagunar Patos-Mirim. (Villwock e Tomazelli, 1995).

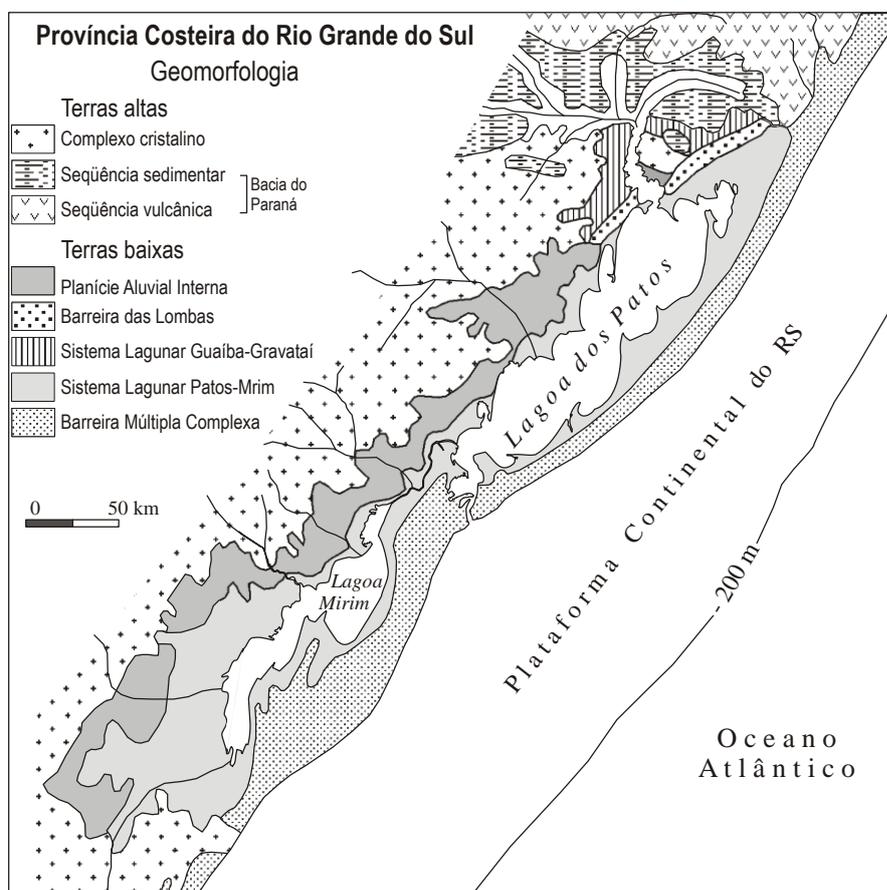


Figura 8: Compartimentação geomorfológica da Planície Costeira, inserida na Província Costeira do Rio Grande do Sul (modificada de Villwock, 1984).

3. SISTEMAS DEPOSICIONAIS COSTEIROS

Estas unidades correspondem aos sistemas que se acumularam na PCRS (Fig. 9), durante o Cenozóico e representam fácies sedimentares de natureza predominantemente clástica-terrígena, provenientes das terras altas do oeste. Sua deposição ocorreu através de processos desenvolvidos em ambientes deposicionais costeiros ali instalados.

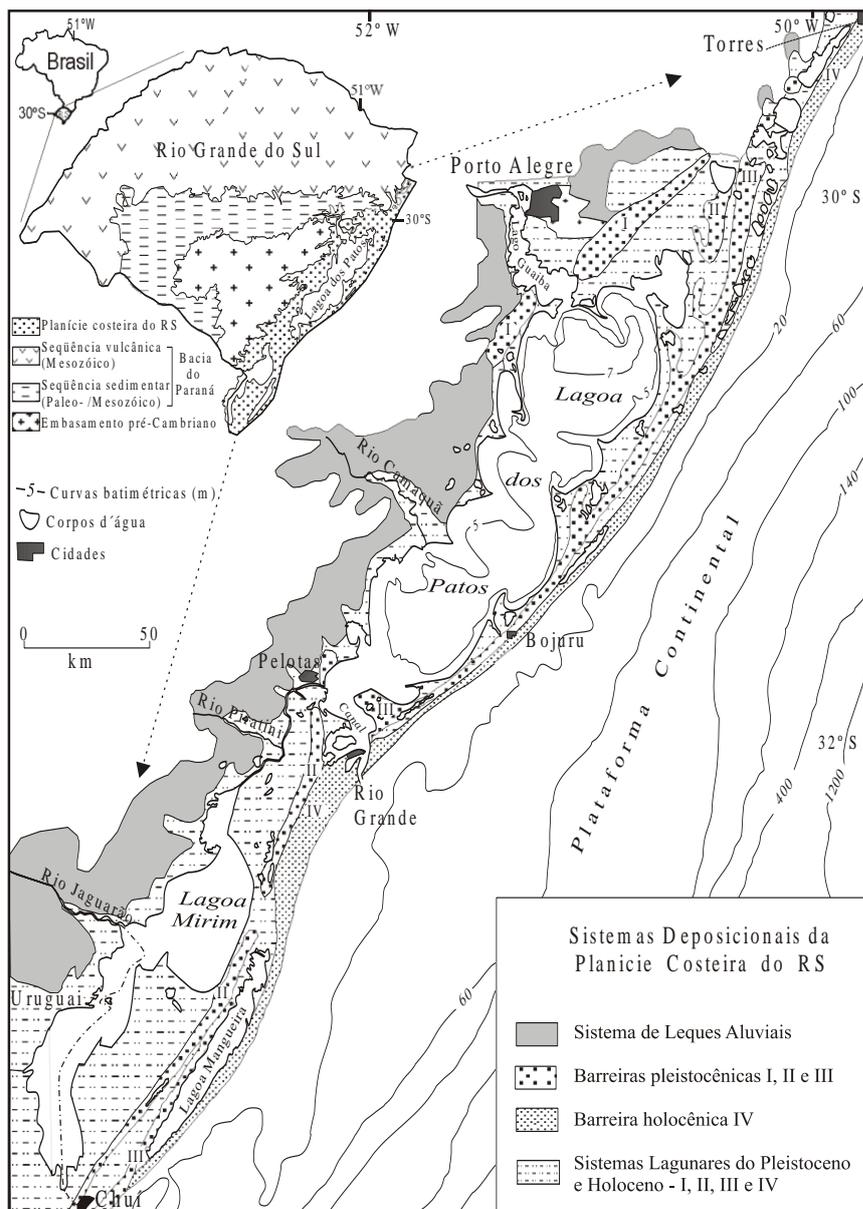


Figura 9: Mapa geológico do RS (Villwock, 1984) e mapa geológico simplificado dos sistemas deposicionais da planície costeira do RS (Tomazelli e Villwock, 2000)

Villwock e Tomazelli (1995) dando um enfoque diferente de trabalhos anteriormente propostos para a área, que levavam em conta apenas a litologia, e utilizando o conceito de sistemas deposicionais agruparam as fácies sedimentares da Planície Costeira do Rio Grande do Sul em dois tipos de sistemas deposicionais siliciclásticos: Sistema de Leques Aluviais e Sistema tipo Laguna-Barreira.

3.1. Sistemas de Leques Aluviais

O Sistema Depositional de Leques Aluviais (Fig. 9) engloba o conjunto de fácies sedimentares resultantes de processos de transporte associados aos ambientes de encosta das terras altas, marcando a mudança de um contexto de terras altas, ou área fonte, para o de sistemas deposicionais costeiros adjacentes. Sua implantação se deu na borda da Bacia de Pelotas, provavelmente no Terciário (Villwock e Tomazelli, 1995). Basicamente o sistema de Leques Aluviais tem duas áreas fontes distintas e pode ser subdividido em dois subsistemas: Leques alimentados pelo Escudo e Leques alimentados pelo Planalto.

O subsistema de Leques alimentados pelo Escudo Pré-Cambriano percorre quase que em totalidade a margem oeste da planície costeira do Rio Grande do Sul ao sul de Porto Alegre. Sua área fonte corresponde às rochas ígneas e metamórficas do Escudo Sul-Rio-Grandense (batólito de Pelotas). São fácies que petrograficamente são descritas como diamictitos, conglomerados, arenitos e lamitos.

Os Leques alimentados pelo Planalto ocupam a parte interna da Província Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) na sua porção norte, começando, aproximadamente, da latitude de Porto Alegre e estendendo-se pela Depressão Central. Este subsistema de leques aluviais é associado às encostas do Planalto das Araucárias. Ao compará-lo com o subsistema de leques ao sul, observa-se uma notória diferença nas fácies como reflexo da diferença composicional das rochas fontes, que são sedimentares e vulcânicas e na energia do relevo, que é muito mais elevado e que, por vezes, atinge altitudes da ordem de 1000 m (Villwock e Tomazelli, 1995).

3.2. Sistemas do Tipo Laguna-Barreira

A Província Costeira do Rio Grande do Sul evoluiu para Leste através da coalescência lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira”. Cada um destes sistemas registra o pico de uma transgressão, seguida de um evento regressivo (Villwock e Tomazelli, 1995).

O sistema mais antigo (Sistema Laguna-Barreira I) é o mais interiorizado e a idade decresce no sentido do sistema mais externo (Sistema Laguna-Barreira IV) (Fig. 6). Segundo Villwock e Tomazelli (1995), é possível correlacionar os máximos transgressivos de cada um desses sistemas laguna-barreira com os picos da curva isotópica proposta por Imbrie *et al.* (1984) (Fig. 10) para as variações glácio-eustáticas do nível do mar no Pleistoceno em escala mundial. Acredita-se então, que os quatro sistemas deposicionais tenham se formado nos últimos 400.000 anos.

Ainda segundo Villwock e Tomazelli (1995), a presença deste tipo de sistema (Laguna-Barreira) implica na existência contemporânea e interligada de 3 subsistemas deposicionais geneticamente relacionados: o subsistema lagunar; o subsistema de barreira e o subsistema de canal de ligação (“*inlet*”).

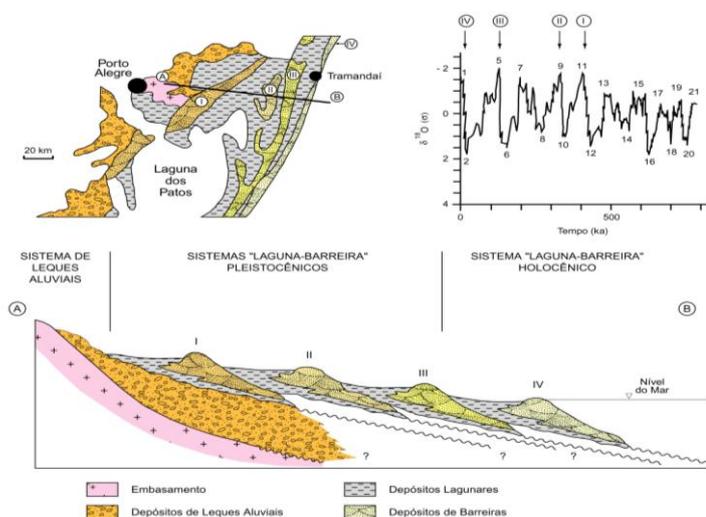


Figura 10: Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira” na latitude de Porto Alegre. As barreiras são correlacionadas aos picos da curva isotópica do oxigênio de Imbrie *et al.* (1984) (modificada de Tomazelli e Villwock, 2000).

3.2.1. Sistema Laguna-Barreira I

Resultado do primeiro dos eventos transgressivos-regressivos pleistocênicos, o Sistema Laguna-Barreira I é o mais antigo dos quatro sistemas. Sua curva isotópica de oxigênio corresponde ao estágio isotópico 11 (Fig. 10); atribuindo-se a ele uma idade absoluta de 400.000 anos (Villwock e Tomazelli, 1995).

A formação e o desenvolvimento da Barreira I se deu principalmente a partir da acumulação de sedimentos eólicos que se ancoraram preferencialmente sobre altos do embasamento (Villwock e Tomazelli, 1995).

O Sistema Lagunar I ocupou as terras baixas situadas entre a Barreira I e os terrenos mais antigos formados principalmente pelas rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná e pelos terrenos pré-cambrianos da região de Porto Alegre, Viamão e Guaíba (Villwock e Tomazelli, 1995). A região em que estava instalado o Sistema Lagunar I sofreu a influência de vários eventos transgressivos-regressivos durante o Quaternário. Os depósitos eram retrabalhados a cada nova invasão marinha. Camadas de turfa, de idade holocênica representam o topo da sucessão vertical de fácies, estendendo-se por boa parte da região, como as descritas por Villwock *et al.* (1980).

3.2.2. Sistema Laguna-Barreira II

Este sistema evoluiu como resultado de um segundo evento transgressivo-regressivo pleistocênico, cujo pico transgressivo, provavelmente, pode ser correlacionado com o estágio isotópico de oxigênio 9, o que corresponderia a uma idade absoluta de aproximadamente 325.000 anos (Fig. 10) (Villwock e Tomazelli, 1995).

A Barreira II ficou preservada, ao norte como um grande pontal arenoso desenvolvido ao leste da Lagoa dos Barros e, ao sul, como um antigo sistema de ilhas-barreira.

O Sistema Lagunar II se desenvolveu em uma região de retrobarreira e durante a rápida transgressão do Sistema II as águas do corpo lagunar avançaram sobre os sedimentos do Sistema de Leques Aluviais, retrabalhando-os e esculpindo um terraço de abrasão que se estende por boa parte da margem oeste da planície costeira.

3.2.3. Sistema Laguna-Barreira III

O sistema laguna-barreira é o responsável pela implantação final do Sistema Lagunar Patos-Mirim. É associado a um terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico, correlacionável ao evento de mar alto relacionado ao pico isotópico 5

da curva de oxigênio (Villwock e Tomazelli, 1995); datado por Poupeau *et al.* (1985), através de areias eólicas da barreira III, em 120.000 anos (Fig. 10). Os depósitos correlacionáveis à Barreira III são contínuos ao longo de toda a planície costeira, desde Torres até o Chuí.

Na porção média da planície costeira, entre Osório e Rio Grande, os depósitos associados a este evento transgressivo-regressivo pleistocênico atuaram como uma barreira, isolando do lado do continente, na região retrobarreira, um importante sistema lagunar (Sistema Lagunar III) hoje em dia ocupado, em sua maior parte, pela Lagoa dos Patos. O estudo detalhado das estruturas sedimentares e a distribuição vertical das fácies da Barreira III evidencia claramente que a mesma constitui uma sucessão praial progradante (regressiva) (Villwock e Tomazelli, 1995).

A maior parte do Sistema Lagunar III foi ocupada por gigantescos corpos lagunares, precursores do atual Sistema Patos-Mirim envolvendo um complexo de ambientes deposicionais instalados na região de retrobarreira. Os depósitos ali acumulados são representados principalmente por areias finas, siltico-argilosas, pobremente selecionadas, de coloração creme, com laminação plano-paralela e, freqüentemente, incluindo concreções carbonáticas e ferruginosas (Villwock e Tomazelli, 1995).

3.2.4. Sistema Laguna-Barreira IV

Desenvolveu-se durante o Holoceno e é o mais recente sistema deposicional do tipo “laguna-barreira” da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Reflete a última grande transgressão pós-glacial (estágio isotópico de oxigênio 1) (Fig. 10).

Há cerca de 5.000 anos, o nível do mar alcançava, na região da PCRS, aproximadamente 5 m acima do nível atual, atingindo seu pico transgressivo e possibilitando a formação de uma barreira constituída por areias eólicas e praias. Esta barreira, denominada Barreira IV, progradou durante a fase regressiva que se seguiu, devido à grande quantidade de sedimentos arenosos existentes na plataforma continental interna. A progradação se desenvolveu principalmente através da construção de cordões litorâneos regressivos (“*beach ridges*”) (Villwock e Tomazelli, 1995). Petrograficamente as areias praias da Barreira IV se caracterizam por serem quartzosas, de granulação fina a muito fina (Villwock, 1972).

O espaço de retrobarreira, situado entre a Barreira IV e os sedimentos pleistocênicos da Barreira III, foi ocupado, no pico transgressivo holocênico, por grandes corpos lagunares que, acompanhando a posterior progradação da barreira, evoluíram para um complexo de ambientes deposicionais, o sistema Lagunar IV. A ingressão marinha no máximo transgressivo se estendeu pelos terrenos baixos situados entre os depósitos das barreiras pleistocênicas e o sistema de leques aluviais e restabelecendo mais uma vez o Sistema Lagunar Patos-Mirim (Villwock e Tomazelli, 1995).

Quartzo e fragmentos de conchas de moluscos são os constituintes essenciais nas fácies arenosas, ocorrendo ainda, em pequenas quantidades, minerais pesados, mica, fragmentos de madeira, foraminíferos, concreções ferruginosas e fragmentos de rocha. Nas fácies sílticas e argilosas predominam os fragmentos de concha e o quartzo, ocorrendo os demais componentes em pequenas proporções. Os maiores teores em matéria orgânica são encontrados nas imediações do delta do Rio Camaquã, o mesmo acontecendo com a quantidade de minerais pesados (Villwock e Tomazelli, 1995).

4. LAGOA DOS PATOS

Com aproximadamente 10.000 km² a Lagoa dos Patos (Fig. 11) é um elemento fisiográfico marcante na Planície Costeira do Rio Grande do Sul. A lagoa apresenta extensão de 240 km no sentido NE-SO e cerca de 60 km de largura média. Serve como laguna de captação da rede de drenagem da Bacia Nordeste da República do Uruguai e da Bacia Sudeste do Rio Grande do Sul, recebendo uma enorme descarga de água e sedimento de seus tributários, sendo o principal deles o complexo Guaíba, situado a norte do corpo lagunar. A extensão total da bacia de drenagem chega aos 180.000 km², cujas águas escoam para o Oceano Atlântico através do canal de Rio Grande (Toldo, 1994).

A carga de material em suspensão presente na Lagoa dos Patos oscila entre 70 a 30 mg/l na parte norte, influenciada pelas maiores descargas fluviais, passando por 15 mg/l na porção média e por fim, na parte estuarina, variações entre 4 mg/l na superfície, e 32 mg/l, junto ao fundo, condicionadas, ali, pelos processos de floculação. Avaliações das taxas de sedimentação mostram resultados que oscilam entre 5 e 8 mm/ano (Villwock e Tomazelli, 1995).

Os sedimentos que estão sendo acumulados na laguna têm sua fonte nas rochas polimetamórficas, ígneas e sedimentares, pré-cambrianas e paleozóicas do embasamento cristalino, além das seqüências sedimentares e ígneas, paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná, todas constituintes do embasamento da Bacia de Pelotas. Outra contribuição surge do retrabalhamento dos depósitos da Planície Aluvial Interna e da Barreira Múltipla Complexa, que constituem os terrenos cenozóicos das margens do corpo lagunar (Villwock e Tomazelli, 1995).

Estudos de sedimentação, padrão de ondas e dinâmica na Lagoa dos Patos é apresentado por Toldo (Toldo, 1994 e Toldo *et al.*, 2000). De acordo com esses dois trabalhos, a laguna é um corpo aquoso costeiro, muito extenso e pouco profundo (profundidade média de 6m), pouco influenciada pelas marés astronômicas (< 45 cm) e protegida do oceano por um sistema de barreiras. Segundo Villwock e Tomazelli (1995) a topografia de fundo embora suave é variada. Grande parte das margens mostra-se rasa, oscilando entre 0,5 e 1,0m, estando as partes mais profundas confinadas às zonas centrais com médias entre 7,0 a 8,0 m, sendo encontradas profundidades maiores ao longo do Canal de Rio Grande (10,0-15,0 m).

As fácies arenosas ocupam as partes mais rasas (até 4,0 m). As fácies sílticas distribuem-se pelas partes centrais e mais profundas (4,0 a 10,0 m) ocorrendo também ao longo dos canais de acesso ao porto de Rio Grande. Fácies argilosas ocorrem em pequenas áreas nas zonas mais profundas e ainda numa ampla zona situada em frente ao delta do Rio Camaquã. Fácies mistas, areno-silto-argilosas, tem ocorrência restrita nas partes mais profundas das baías que se situam na porção mais meridional do corpo lagunar.

O Sistema Lagunar Patos sofreu influência das variações do nível do mar que ocorreram durante o Quaternário, sendo este o principal agente responsável pela evolução sedimentar da laguna. Os depósitos alternam-se basicamente em barreiras costeiras arenosas e depósitos lagunares com presença de sedimentos finos, tendo correlação com as quatro fases do sistema deposicional laguna-barreira (Villwock e Tomazelli, 1995).



Figura 11: Imagem de satélite mostrando, ao centro, a Lagoa dos Patos (Fonte: Google Earth, 2009)

III. METODOLOGIA

Dentro das diversas fontes sísmicas utilizadas na aquisição sísmica, cada uma emitindo um sinal dentro de um determinado espectro de frequência e com assinatura característica, procurou-se um método que resultasse em perfis de alta-resolução, com baixa penetração, pertinentes ao estudo das feições geológicas, como o gás raso e outros componentes do Quaternário da área em questão. De uma maneira geral quanto mais alto for o espectro de frequência de uma fonte sísmica maior será a sua atenuação e, por conseguinte menor será sua capacidade de penetração abaixo do fundo lagunar.

1. FONTES DE AQUISIÇÃO

As fontes com frequências mais altas produzem um registro com maior resolução, ou seja, permitem uma maior definição das camadas geológicas logo abaixo do corpo d'água. Para esta finalidade existem alguns tipos de fontes especiais que emitem um sinal na faixa de 3 a 7 kHz. No presente projeto optou-se pela obtenção de perfis sísmicos adquiridos a partir de uma fonte emissora com sinal de 3,5 kHz e também a utilização de perfis de 7,0 kHz obtidos em campanhas sísmicas anteriores (Toldo e Dillenburg, 1993) realizadas na área do projeto. Essas fontes são denominadas “ressonantes” e diferentemente dos sistemas que utilizam *boomers* e *sparkers* como fontes sísmicas, que necessitam de um receptor (hidrofonos), as fontes ressonantes são ao mesmo tempo emisoras e receptoras do sinal sísmico. As fontes ressonantes são equipamentos piezelétricos do tipo usado nos ecobatímetros, sonares de varredura lateral e perfiladores de subfundo. Eles produzem um pulso que muito se assemelha a uma curva senoidal cuja frequência é principalmente determinada pela frequência de ressonância dos cristais piezelétricos. Uma das desvantagens deste tipo de fonte é que a atenuação do sinal durante a propagação distorce a forma do pulso emitido tornando sua

polaridade ambígua. A maior vantagem é que a forma inicial do pulso é bem conhecida facilitando a identificação de ruídos.

A baixa potência necessária para geração dos sinais e a melhor repetibilidade do sinal emitido são as principais características destas fontes. São equipamentos mais simples e compactos permitindo a operação em embarcações de pequeno porte. Os transdutores são fixados ao casco da embarcação e a forma do sinal emitido é bem definida facilitando a determinação de ruídos.

Os registros de sísmica de alta frequência, 3,5, 7,5 e 12 kHz têm sido largamente utilizados como ferramentas em geologia marinha nas investigações dos tipos de sedimentos de fundo do mar, geomorfologia submarina e processos sedimentares (Damuth, 1975; Damuth e Hayes, 1977 *apud* Flood, 1980), e têm se mostrados muito úteis na detecção de gás raso em sedimentos de ambientes lagunares. Esses equipamentos operam em frequências elevadas 3,5 a 12 kHz o que permite uma resolução submétrica dos refletores em superfície em detrimento de uma maior penetração, que em condições ideais, em sedimentos lamosos pode atingir mais de 20 m (Quaresma, 2000).

2. DADOS SÍSMICOS

No ano de 2002, durante o período de 30/11/2002 a 05/12/2002, a bordo da Lancha Oceanográfica LARUS, da Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG, foram levantados aproximadamente 400 km de perfis sísmicos de alta resolução no interior da Lagoa dos Patos, divididos em 12 seções que foram numerados de 1 a 12 (Figura 12). Posteriormente no ano de 2006, no período de 24/07/2006 a 28/07/2006, a bordo da mesma embarcação e usando o mesmo equipamento, foram levantados mais 320 km de perfis sísmicos, que foram divididos em 15 seções e numerado de 13 a 27 (Figura 12). A rota e o posicionamento foram feitos com o auxílio de um sistema de posicionamento por satélite nos duas campanhas sísmicas (DGPS).

Os dados adquiridos no ano de 2006 são inéditos e estarão aqui expostos. contribuindo de forma significativa para o maior detalhamento do mapeamento da distribuição do gás raso na Lagoa dos Patos. Esse dados proporcionam uma visão mais apurada sobre os locais de acumulação do gás além da possibilidade de reconhecimento de novas feições sísmicas não observadas no levantamento do ano de 2002.

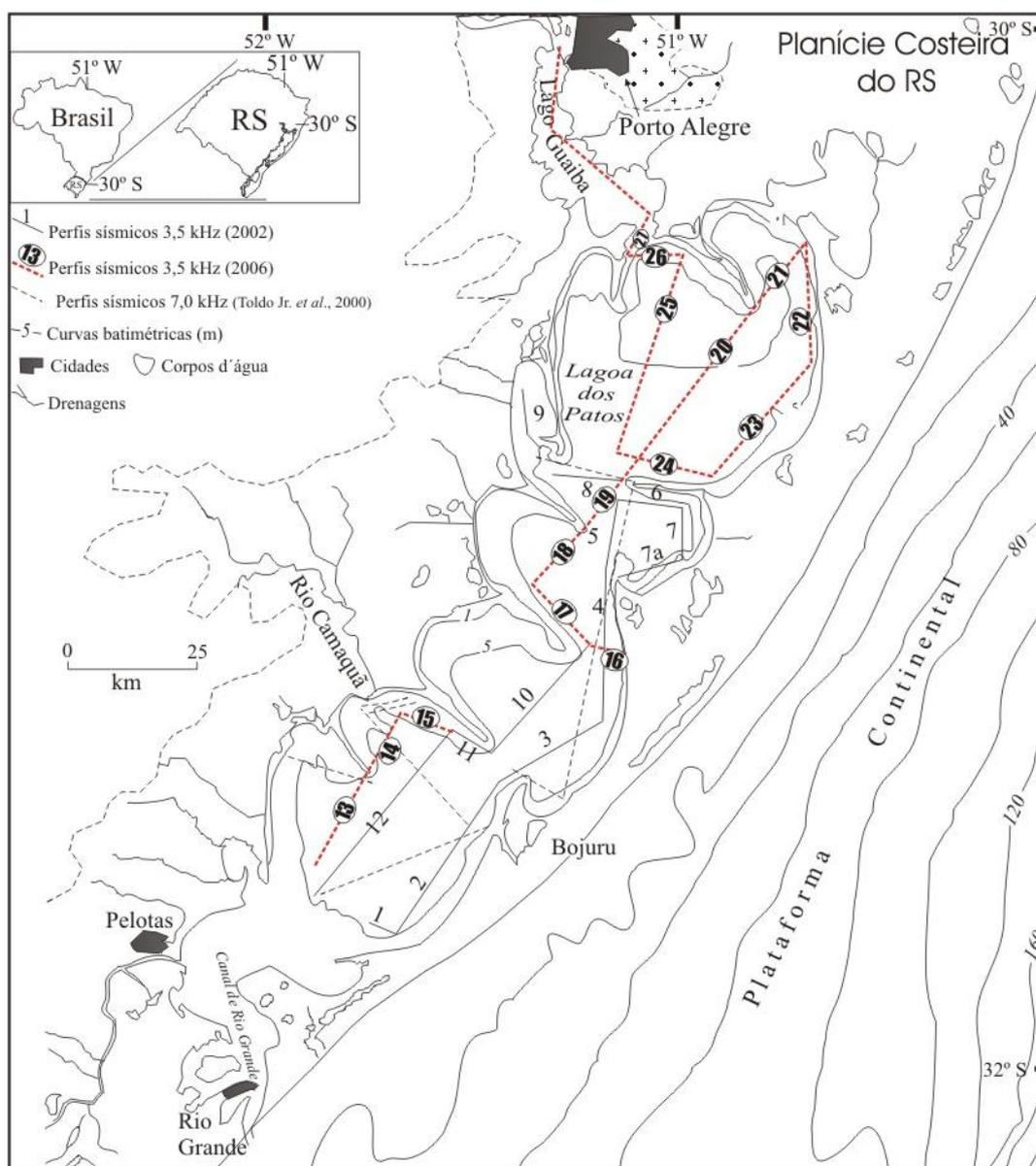


Figura 12: Localização dos perfis sísmicos levantados no interior da Lagoa dos Patos.

Os dados sísmicos foram obtidos com um equipamento perfilador de subsuperfície *GeoAcoustics* (Fig. 13), sistema analógico e digital, operando na frequência de 3,5 kHz, associado ao processador digital com sistema de aquisição, gravação, correção de imagem, análise do sinal, geração e exibição dos perfis em tempo real.

O sistema de aquisição sísmica era composto por: - transmissor *Geopulse* (5430A); - receptor *Geopulse* (5210A); - transdutor (132B, com 4 elementos); - impressora (EPC HSP1086); - unidade de processamento (*GeoPro*); - unidade digital Pentium III com software de aquisição *Sonarwiz.SBP* da *Chesapeake Technology, Inc.*, com acessórios e periféricos.



Figura 13: Sistema *GeoAcoustics* utilizado na aquisição e processamento em tempo real dos dados sísmicos.

As características principais desse sistema de aquisição são: - ajuste da potência de saída; - ajuste da impedância (12,5, 25, 50 ou 100); - ajuste contínuo da frequência de 2 a 12 kHz; - seletor de comprimento do pulso; - amplificador interno; - comprimento do pulso de 1, 2, 4, 8, 16 ou 32 ciclos; - modos de operação em ganho compartilhado ou ganho zero e TVG (*Time Variant Gain*) com atenuação de 20 db; - processador digital com sistema de aquisição, gravação, correção de

imagem, análise do sinal, identificação do objeto e mosaico em tempo real; - processamento analógico incluindo ganho, atenuação e filtros de banda alta e baixa, TVG, correção da velocidade e filtros de imagens; - dados gravados no formato SEG-Y em disco rígido ou periféricos.

O conjunto de dados sísmicos foi salvo em formato digital (SEG-Y), podendo então ser utilizado em uma série de *softwares* de processamento, visualização, interpretação e edição de dados sísmicos. Além da gravação em formato digital, os perfis também foram impressos em papel termicamente ativado. Em intervalos de 3 minutos foram marcados pontos de controle, automaticamente, sobre os registros sísmicos analógicos (*fix*). Para cada ponto de controle foram anotados, em uma planilha, os dados de posição, hora, nome do perfil, azimute da rota, parâmetros de aquisição e qualidade dos registros.

Para avaliar a profundidade dos refletores sísmicos foi considerada uma velocidade média de deslocamento do sinal acústico de 1.500 m/s na água e 1.650 m/s no pacote sedimentar (Jones, 1999).

Para auxiliar no presente estudo também foram analisados dados sísmicos obtidos durante um cruzeiro oceanográfico realizado na Lagoa dos Patos, em 1993, dentro do projeto “Evolução Paleogeográfica do Quaternário Costeiro-Marinho da Margem Continental Sul-brasileira”, conduzido por pesquisadores do CECO/UFRGS (Toldo e Dillenburg, 1993; Toldo, 1994 e em Toldo *et al.*, 2000). O equipamento utilizado foi um sistema de sísmica rasa RTT 1000 *Raytheon*, composto por um registrador 719 C RTT, um transdutor de 3,5 a 7 kHz e um transceptor PTR 106C. São aproximadamente 300 km de perfis sísmicos, distribuídos em diversas seções.

IV. RESULTADOS

São apresentados neste capítulo os resultados da análise sísmica efetuada em perfis de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) e resolução levantados no interior da Lagoa dos Patos.

Considerando a excelente qualidade do registro sísmico, os vinte e sete perfis levantados em duas campanhas realizadas nos anos de 2002 e 2006 foram selecionados para uma análise detalhada de suas reflexões anômalas e feições indicativas da presença de gás no substrato da Lagoa dos Patos. Perfis sísmicos de 7,0 kHz adquiridos em outras campanhas sísmicas efetuadas no corpo lagunar (Toldo e Dillenburg, 1993; Toldo, 1994; Toldo *et. al.*, 2000) também serviram para um complemento do mapeamento das acumulações de gás presentes na Lagoa dos Patos.

A seguir são descritos os vinte e sete perfis sísmicos levantados. A descrição procurou enfatizar características como tipo da reflexão anômala, forma e profundidade das acumulações de gás, bem como apresentar os elementos arquiteturais deposicionais (ou refletores) à elas relacionados.

1. **PERFIL 1**

O perfil 1 é o menor dos doze perfis sísmicos levantados na Lagoa dos Patos na campanha do ano de 2002. Está orientado de oeste para leste, subparalelo ao Pontal dos Lençóis, com comprimento aproximado de 4,5 km.

Em seus primeiros 240 m, o perfil 1 apresenta um refletor característico de um truncamento erosivo que começa em 16,0 ms e sobe para os 12,5 ms ao final desse trecho, mas que, em outras partes do perfil pode alcançar um máximo de 22,0 ms e um mínimo de 9,0 ms. Ainda neste trecho, os refletores que aparecem sobre o truncamento erosivo são do tipo plano-paralelos que, lateralmente formam com o truncamento uma feição denominada de *onlap*.

Observa-se a partir de então, uma turbidez acústica (Fig.14, que tem sua localização no mapa de figuras (Fig. XX)) que ocorre até o final do perfil, porém,

com menos intensidade. As zonas acusticamente turvas começam a ocorrer a partir dos 11,0 ms, podendo oscilar até o tempo de 13,5 ms, impossibilitando a visualização clara das estruturas sismo-deposicionais nos trechos em que elas estão presentes. No último quilômetro do perfil, a turbidez acústica é pouco intensa. É possível observar truncamentos erosivos, bem como refletores sigmoidais e também plano-paralelos.

Os refletores que ocorrem acima da zona de turbidez acústica são plano-paralelos, oblíquos, ondulados, com truncamentos erosivos e também sigmoidais.

O fundo lagunar, no início do perfil 1, encontra-se no tempo de 8,5 ms, subindo gradativamente até atingir os 6,0 ms ao final do perfil. A relação de distância entre o fundo lagunar e as partes menos profundas onde ocorre a turbidez acústica não é bem definida, podendo variar entre 3,0 e 7,5 ms.

2. PERFIL 2

O perfil 2 está localizado na porção sul da Lagoa dos Patos e orientado na direção sudoeste para nordeste, paralelo à margem lagunar e ao Pontal de Bojuru, apresentando uma extensão de aproximadamente 38 km. Em sua parte inicial até um pouco depois de sua metade, o perfil não apresenta acumulações de gás, mostrando uma série de paleocanais de dezenas a milhares de metros sem expressões de gás, além de estratificações de preenchimento desses canais e também, estratificações plano-paralelas.

Perfil 1

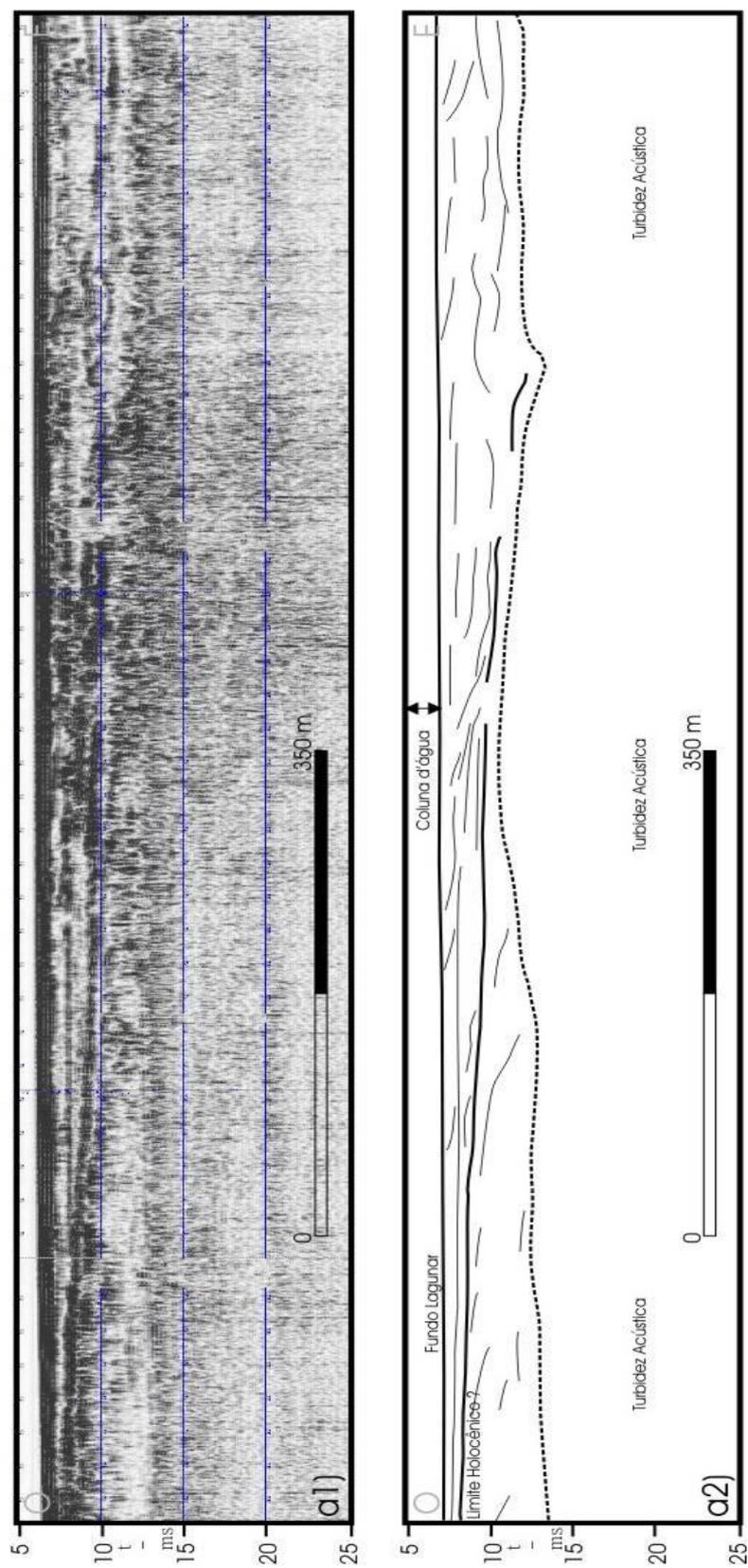


Figura 14: Trecho do Perfil 1. a1) Registro sísmico; a2) interpretado.

Um grande “bolsão de gás” está presente neste perfil perfazendo um total de aproximadamente 9,8 km de comprimento. Desde o seu começo o bolsão tem seu topo em cerca de 15 ms, seguindo a direção NE ele vai mantendo a mesma cota de topo e mostrando algumas janelas acústicas dentro do bolsão onde se podem identificar estratificações do tipo progradantes, inclinadas na direção NE. Ocorre mudanças do topo para os tempos de 16,875 ms e 17,5 ms nas partes mais centrais do perfil. Seguindo para a parte final do perfil, o topo então gradativamente vai subindo sua profundidade para os 15,0 ms na direção NE, aproximando-se do final do perfil.

Acima das acumulações de gás presentes no perfil 2 predominam as estratificações plano-paralelas. Dentro desse grande bolsão ocorrem muitas vezes feições parecidas com “escadarias” (Fig. 15), onde observa-se a queda brusca e de duração curta lateralmente, do topo do bolsão em sucessivos degraus. Quanto à topografia de fundo, na porção inicial tem sua profundidade em cerca de 5 ms, descendo até um máximo de 9,0 ms, mas mantendo-se praticamente constante em 8,75 ms (ou 7 m), permanecendo assim até mais ou menos a metade final do perfil. Na parte final, o fundo lagunar bem como as outras feições em geral, como exemplo os paleocanais, começam a atingir cotas mais rasas de cerca de 7,5 ms aproximando-se do Pontal de Bojuru. A diferença entre as profundidades do fundo lagunar e o topo das acumulações de gás (levando em conta suas diferenças de cotas) permanece, no geral, em torno dos 7,0-8,0 ms.

3. PERFIL 3

O perfil 3 está localizado na parte central da Lagoa dos Patos, próximo da margem lagunar e do Pontal de Bojuru. Possui 23 km de comprimento, orientado de sudoeste para nordeste. Tem seu início próximo ao Pontal de Bojuru.

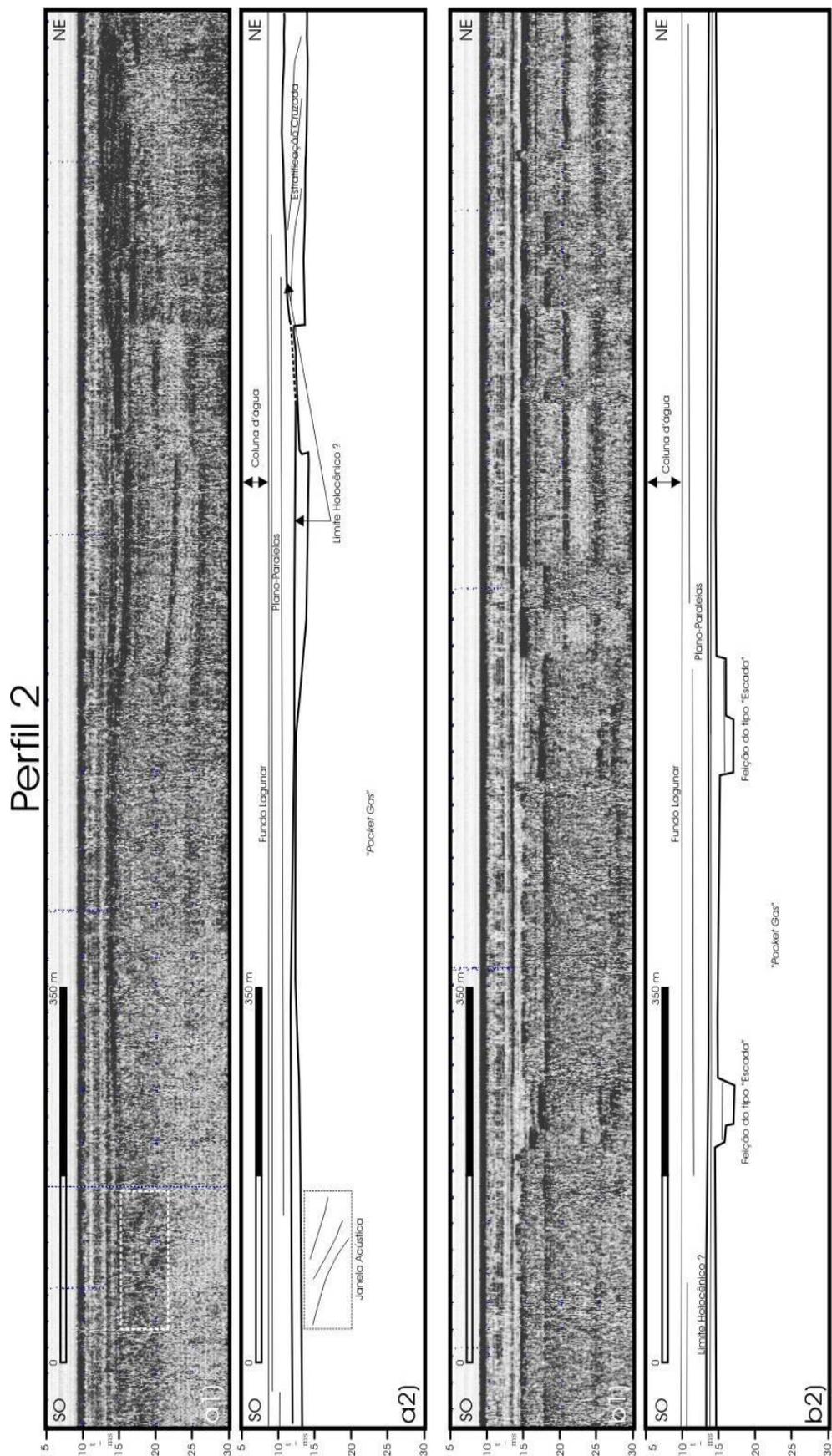


Figura 15: Trechos do Perfil 2. a1) e b1) Registro sísmico. a1); a2) e b2) interpretados.

Desde seu início o perfil 3 mostra grandes concentrações de gás no substrato, reconhecidas na feição de um extenso bolsão (*"Pocket Gas"*). O bolsão de gás é reconhecido em praticamente todo o perfil, excetuando os últimos 140 m do registro sísmico. O topo dessa acumulação encontra-se, no início do perfil, no tempo de 14,0 ms e depois desce suavemente para os 14,5 ms, mantendo-se nesse tempo durante os primeiros 3,7 km. Durante os 11,4 km seguintes, o topo do bolsão permanece no tempo de 13,5 ms, porém, mostra uma série de subidas bruscas para o tempo de 12,5 ms e extensão lateral de, no máximo, 20 m. A partir do referido ponto, a reflexão anômala indicativa da presença de gás atinge, permanentemente, em seu topo o tempo de 12,5 ms, seguindo nesse mesmo tempo até o final da acumulação. O fim do bolsão (Fig. 16) é evidenciado por uma terminação lateral abrupta onde se pode observar o início de um truncamento erosivo (ou incisão), sobreposto por refletores de preenchimento de canal e, mais acima, por refletores plano-paralelos. No encontro com o bolsão, o truncamento encontra-se nos 30 ms; já no fim do perfil ele aparece nos 22,5 ms.

Apesar do registro sísmico do perfil 3 estar praticamente mascarado em quase sua totalidade e impossibilitar a visualização de grande parte dos elementos arquiteturais deposicionais, consegue-se observar refletores plano-paralelos acima da extensa acumulação de gás.

O fundo lagunar permanece ao longo de todo o perfil na profundidade em tempo de 10 ms (cerca de 8 m). O fundo lagunar e o topo do bolsão possuem uma relação de distância entre eles que varia de 2,5 a 4,0 ms.

4. PERFIL 4

Localizado na margem leste da Lagoa dos Patos e orientado de sul para norte, o perfil 4 possui um comprimento aproximado de 30,5 km. Em seus primeiros 380m apresenta apenas um pequeno bolsão com cerca 50 m de extensão e topo em 12,5 ms; predominando estratificações do tipo plano-paralela dos 10 aos 17 ms, onde em seguida aparece um refletor de grande espessura e continuidade. Abaixo desse refletor nota-se a presença de estratificações do tipo oblíqua-tangencial e outros refletores inclinados para norte e para sul.

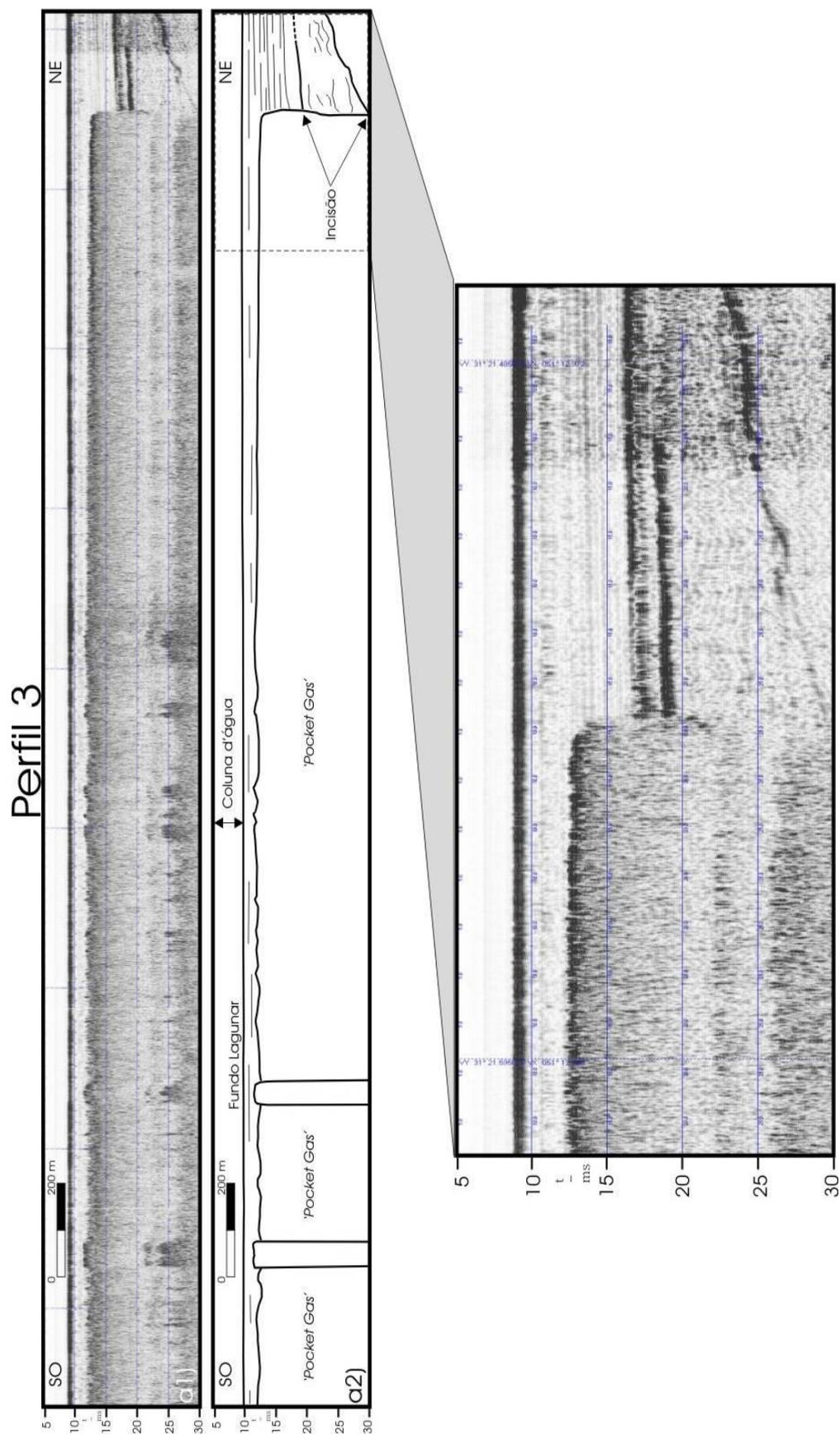


Figura 16: Trecho do Perfil 3. a1) Registro sísmico; a2) interpretado.

Nos 2,2 km seguintes observa-se a presença de uma reflexão anômala, que oblitera os refletores sismo-deposicionais a partir dos 12,5 ms esta feição é representativa de um bolsão de gás. Após o final desse primeiro bolsão, surge uma série de janelas acústicas de poucas dezenas de metros de extensão e com boa resolução do registro até 30 ms intercaladas com bolsões pouco extensos, de dezenas a poucas centenas de metros de comprimento e com topo no tempo de 12,5 ms.

Na parte inicial do perfil 4, ocorre um extenso bolsão medindo aproximadamente 3,9 km. O topo do bolsão é bem marcado e mantém-se contínuo em 12,5 ms, com leves mudanças da ordem de decímetros até o seu final.

Chegando na parte central do perfil, observa-se a presença de 20 bolsões de gás de comprimento restrito, sendo que apenas 3 deles alcançam 1 km de extensão. Esses bolsões, diferentemente dos anteriores, têm seu topo no tempo de 13,5 ms (aproximadamente 11m de profundidade abaixo do nível da água). Os trechos (janelas acústicas) onde é possível se identificar as estruturas sedimentares no registro possuem comprimento de dezenas de metros a, no máximo, 300 m. Esses trechos ocorrem intercalados com os bolsões e neles a resolução das estruturas sismo-deposicionais é da ordem de decímetros. É notável a presença de um refletor bem marcado e de grande continuidade que aparece nas janelas acústicas no tempo de 22,0 ms nessa parte do perfil (Fig. 17).

Seguindo para o norte do perfil, a partir do último ponto referido, as feições características de acumulações de gás mudam. As anomalias acústicas alcançam e ultrapassam o fundo lagunar, fixado em 10 ms. São então descritas como “chaminés”. Elas possuem, no geral, poucos metros de largura, povoando a parte central do perfil, mas algumas acumulações desse tipo chegam a alcançar até 700 m de extensão no perfil. As janelas acústicas ocorrem intercaladas a esses tipos de feições. Toda essa mudança nas características das acumulações é acompanhada de uma mudança gradativa para tempos menores (profundidades) do refletor contínuo presente aos 22,0 ms, observado anteriormente em janelas acústicas de outras partes do perfil.

Os últimos 10,6 km não apresentam acumulações de gás do tipo “*pocket gas*” (ou bolsões). No trecho final, uma turbidez acústica mascara levemente os elementos arquiteturais, evidenciando a presença do gás. Esse tipo de ocorrência do gás é caracterizada por ser difusa e não apresentar um topo bem marcado. Essa

Perfil 4

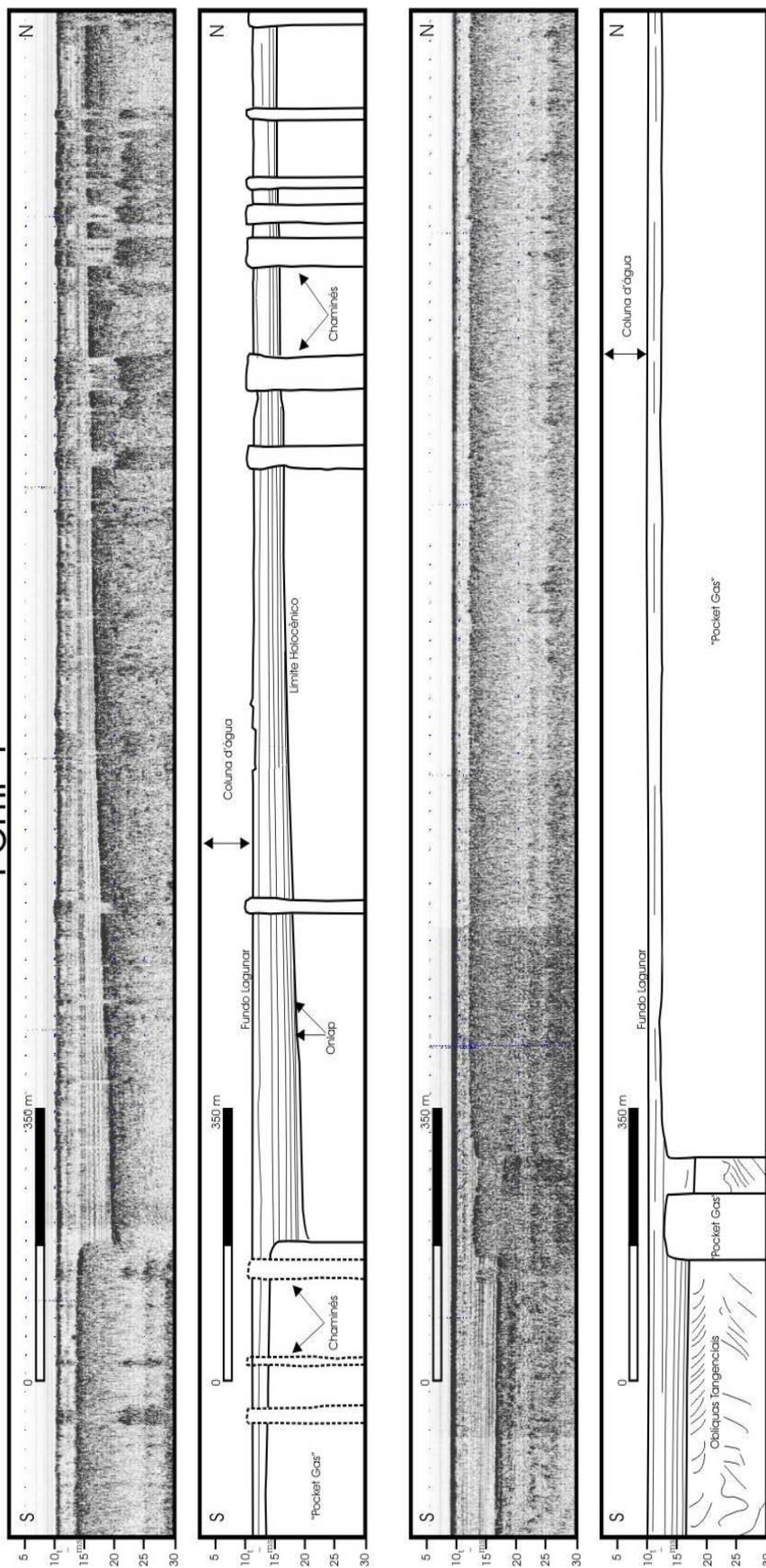


Figura 17: Trechos do Perfil 4. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

feição mantém-se até o fim do perfil, porém com variações de intensidade. Nos últimos 1,5km a turbidez acústica tem sua maior expressão, que mesmo assim é branda, não caracterizando uma grande acumulação de gás.

Como acontece em outros perfis, os refletores que aparecem acima dos bolsões de gás são do tipo plano-paralelos. Entre as chaminés, observa-se que, nas janelas acústicas presentes, os tipos de refletores ou estratos também são os plano-paralelos. Turbidez acústica ocorre entre, abaixo e acima de refletores inclinados do tipo progradantes, refletores representativos de preenchimento de canais e, até mesmo, em reflexões sem padrão.

O fundo lagunar no perfil 4 parte dos 9,0 ms mantendo-se constante até praticamente o seu final quando então começa a subir suavemente, chegando aos 8,5 ms, próximo ao Pontal Cristóvão Pereira. A relação de distância do fundo com o topo dos bolsões geralmente mantém-se entre os 3,5 – 4,5 ms. A mudança de profundidade em tempo do fundo lagunar é acompanhada pelo topo dos bolsões na mesma proporção. As chaminés por sua vez ultrapassam o fundo lagunar, bem como a turbidez acústica que, pode ou não, chegar até a coluna d'água.

5. PERFIL 5

O perfil 5 possui 16 km de extensão e está orientado de sul-sudoeste para norte-nordeste; subparalelo à projeção do Pontal Cristóvão Pereira.

Em seus primeiros 900 m (Fig. 18), o registro sísmico apresenta uma leve turbidez acústica. Observa-se nesse trecho a presença de duas múltiplas de fundo nas profundidades de 18,0 e 27,0 ms.

Após esse trecho ocorre uma reflexão anômala que tem por características uma terminação lateral abrupta e reta, além de ocultar os elementos arquiteturais posicionais abaixo e no local onde ela ocorre. Essa feição, que possui também um refletor de topo bem definido, é denominada de bolsão de gás (*"Pocket Gas"*). Esse bolsão que ocorre no perfil 5, após seus 900 m iniciais, tem uma extensão aproximada de 15 km. O topo da reflexão, em seu início, surge aos 14,5 ms e desce, muito suavemente, para os 16,5 ms. Logo em seguida, mais precisamente 100 m após o ponto, o topo do bolsão muda abruptamente para o tempo de 13,0 ms. Novamente, a reflexão do topo sofre uma queda gradual para tempos maiores e então alcança os 14,5 ms, permanecendo neste tempo até o final do perfil.

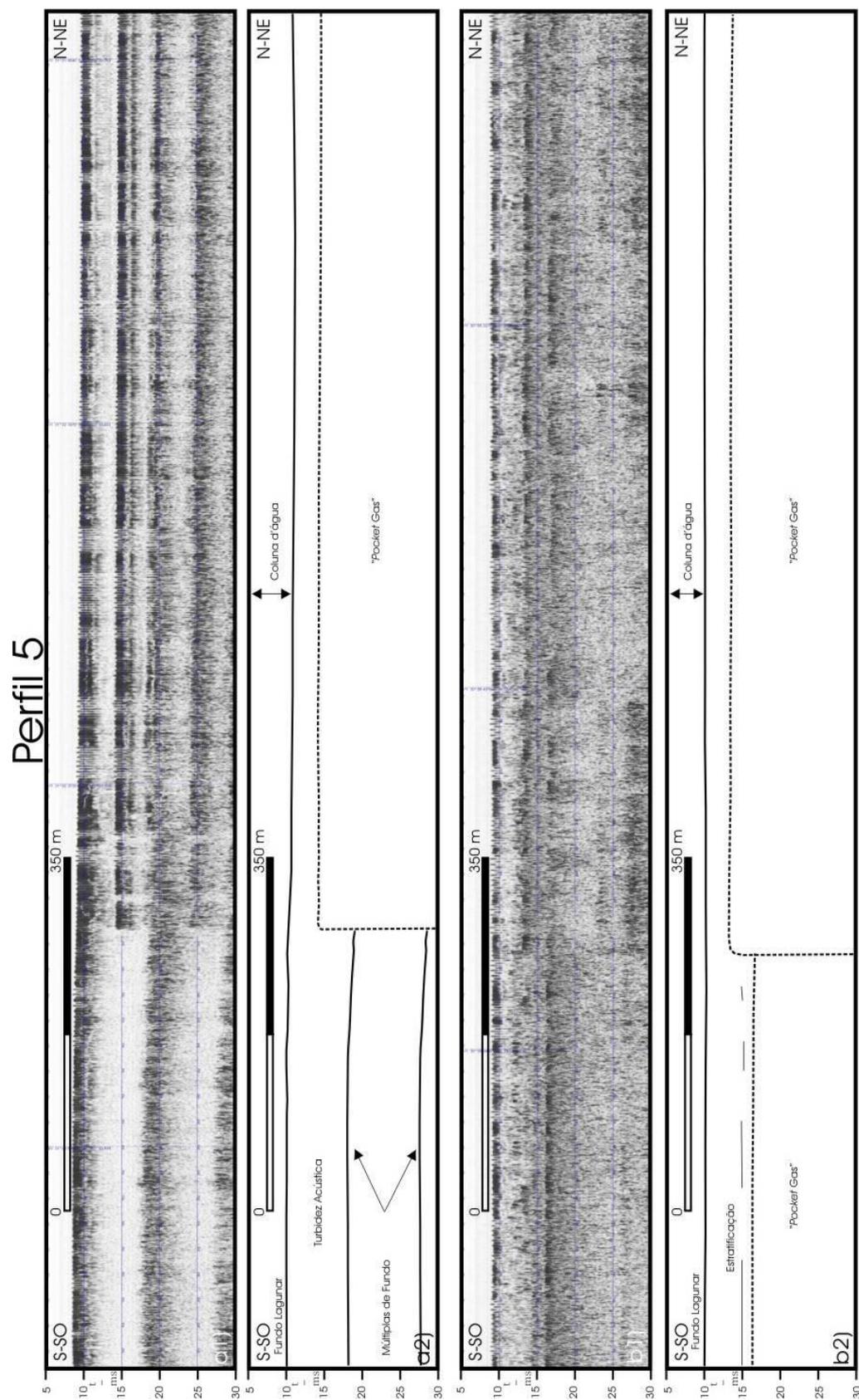


Figura 18: Trechos do Perfil 5. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

Refletores plano-paralelos aparecem, por vezes, acima do bolsão de gás. Já na zona acusticamente turva, o único refletor visível sobreposto marcante a ela é o fundo lagunar.

O fundo lagunar aparece aos 9,0 ms praticamente ao longo de toda a extensão do perfil, mostrando pequenas ondulações que atingem os 8,0 ms. A relação de distância entre o fundo lagunar e o bolsão varia de 4,0 a 7,5 ms devido, principalmente, às mudanças de tempo do topo da reflexão do bolsão de gás.

6. PERFIL 6

O perfil 6 foi levantado paralelo ao esporão submerso do Pontal de São Simão. Está orientado de oeste para leste e possui comprimento aproximado de 12 km.

Desde o seu início nota-se a presença de uma intensa turbidez acústica que, quando não mascara o registro, torna possível a observação de alguns refletores do tipo inclinados (Fig. 19) e sub-paralelos. Cerca de 700 m após o início do perfil, observa-se a presença de um pequeno bolsão de gás, com topo bem definido na profundidade de tempo de 11 ms e extensão de cerca de 100 m. A partir de então a feição indicativa da presença de gás nos sedimentos volta a ser a turbidez acústica, que desde os 11 ms para tempos maiores de profundidade, não permite a observação de estruturas. A turbidez acústica mostra-se intensa até 3,1 km antes final do perfil e, durante o referido trecho, é possível ver refletores plano-paralelos de grande continuidade lateral e refletores inclinados (ou progradantes) acima da zona acusticamente turva.

Nos 1,4 km após a zona de turbidez acústica, ocorrem dez bolsões de gás com topo em 13,5 ms e de extensão relativamente pequena, sendo que o maior deles, o segundo de oeste para leste, tem aproximadamente 470 m. Os cinco bolsões seguintes têm comprimento da ordem de poucas dezenas de metros. Os últimos três chegam perto dos 100 m de comprimento. Intercalado com os bolsões, aparecem uma série de janelas acústicas de extensão reduzida, onde é possível observar uma grande quantidade de refletores plano-paralelos.

Os últimos 1,7 km do perfil não mostram indícios da presença de gás nos sedimentos. É possível observar dois refletores de grande continuidade lateral,

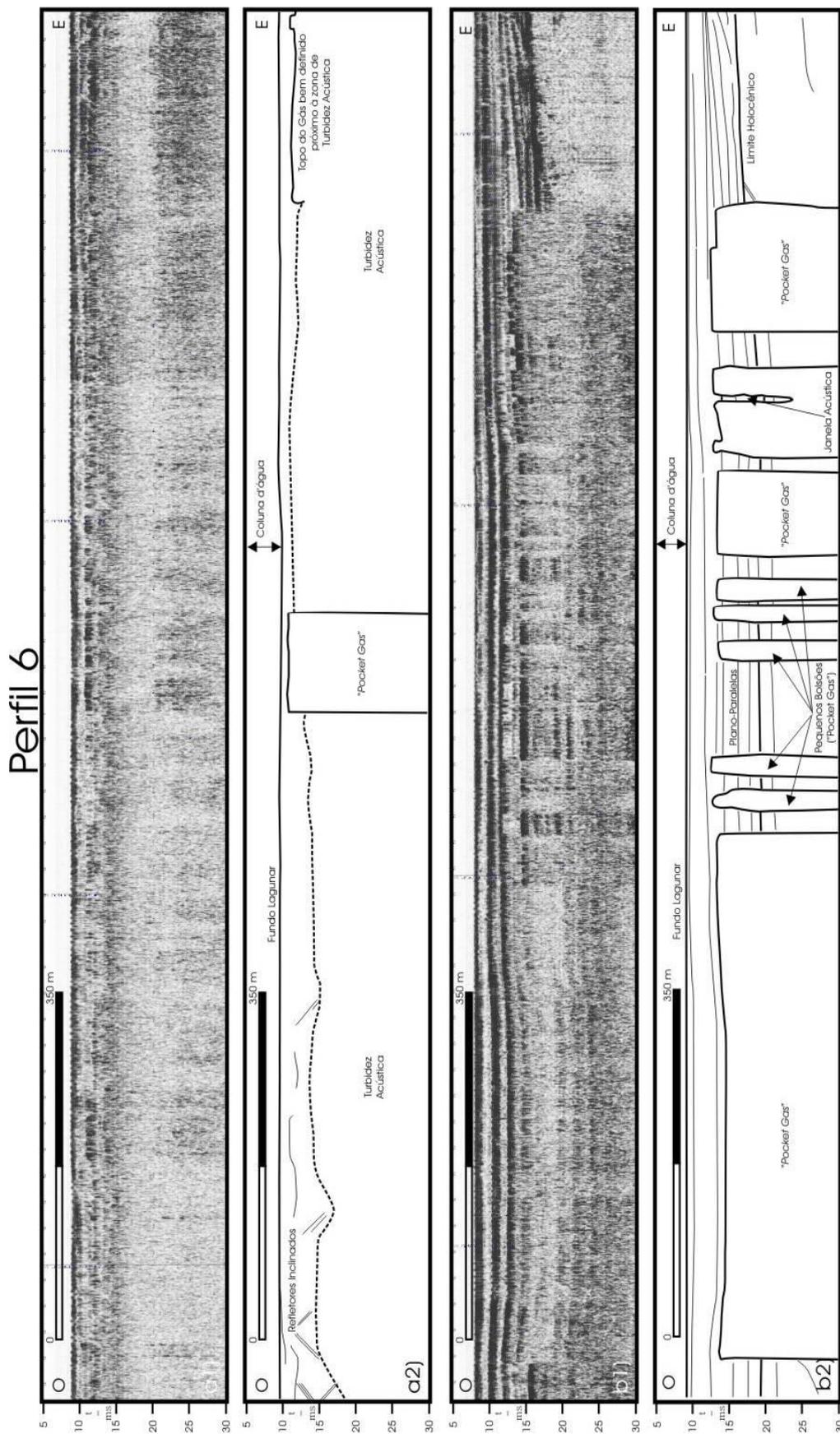


Figura 19: Trechos do Perfil 6. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

abaixo (17 ms) e acima (12 ms) de refletores oblíquo-tangenciais inclinados em um primeiro momento para oeste e depois para leste. Esses dois refletores sobem suavemente em tempo e alcançam 14 e 9 ms respectivamente. Há também nesse trecho, a presença de uma múltipla de fundo que ocorre sempre no tempo duas vezes maior que o tempo do fundo lagunar.

Refletores plano-paralelos, invariavelmente, estão sobrepostos aos bolsões de gás. Já sobre as zonas acusticamente turvas, ocorrem tanto os refletores plano-paralelos quanto os inclinados. O topo dos bolsões, assim como acontece no perfil 2, podem apresentar quebras bruscas na sua profundidade em tempo, apresentando feições do tipo “escadarias”.

O fundo lagunar aparece em cerca de 10 ms no início do perfil e mantém-se assim por boa parte do perfil. Uma suave subida do fundo lagunar é observada ao longo do perfil a partir de sua parte central. Aproximando-se do Pontal de São Simão a taxa de subida cresce e o fundo lagunar apresenta sua profundidade mínima no tempo de 7,0 ms. O fundo mantém uma relação de distância de 4,5 a 5,0 ms com o topo dos bolsões de gás.

7. PERFIL 7

O perfil 7 é dividido em duas partes, orientadas em direções distintas. A primeira parte tem comprimento aproximado de 9 km e é orientada de norte para sul, iniciando próxima ao Pontal de São Simão. A segunda parte é orientada de leste para oeste, possuindo cerca de 11 km de extensão.

- Parte (N-S)

A parte N-S do perfil 7 (Fig. 20) mostra desde seu início uma gama variada de elementos sísmicos. São refletores do tipo plano-paralelos, truncamentos erosivos, de preenchimento de canal e oblíquos paralelos.

Apenas a partir dos 4,5 km iniciais do perfil, é que começam a aparecer indícios significativos da presença de gás nos sedimentos. Inicialmente aparecem dois bolsões com cerca de 50 m de comprimento, o primeiro com topo em 10 ms e o segundo em 9,0 ms. Aproximadamente 700 m após, surge outro bolsão, inserido em uma incisão, com 75 m de extensão e topo em 14,5 ms. Ao lado desse bolsão ocorre uma zona acusticamente turva com aproximadamente 150 m de comprimento e iniciando nos 17,0 ms.

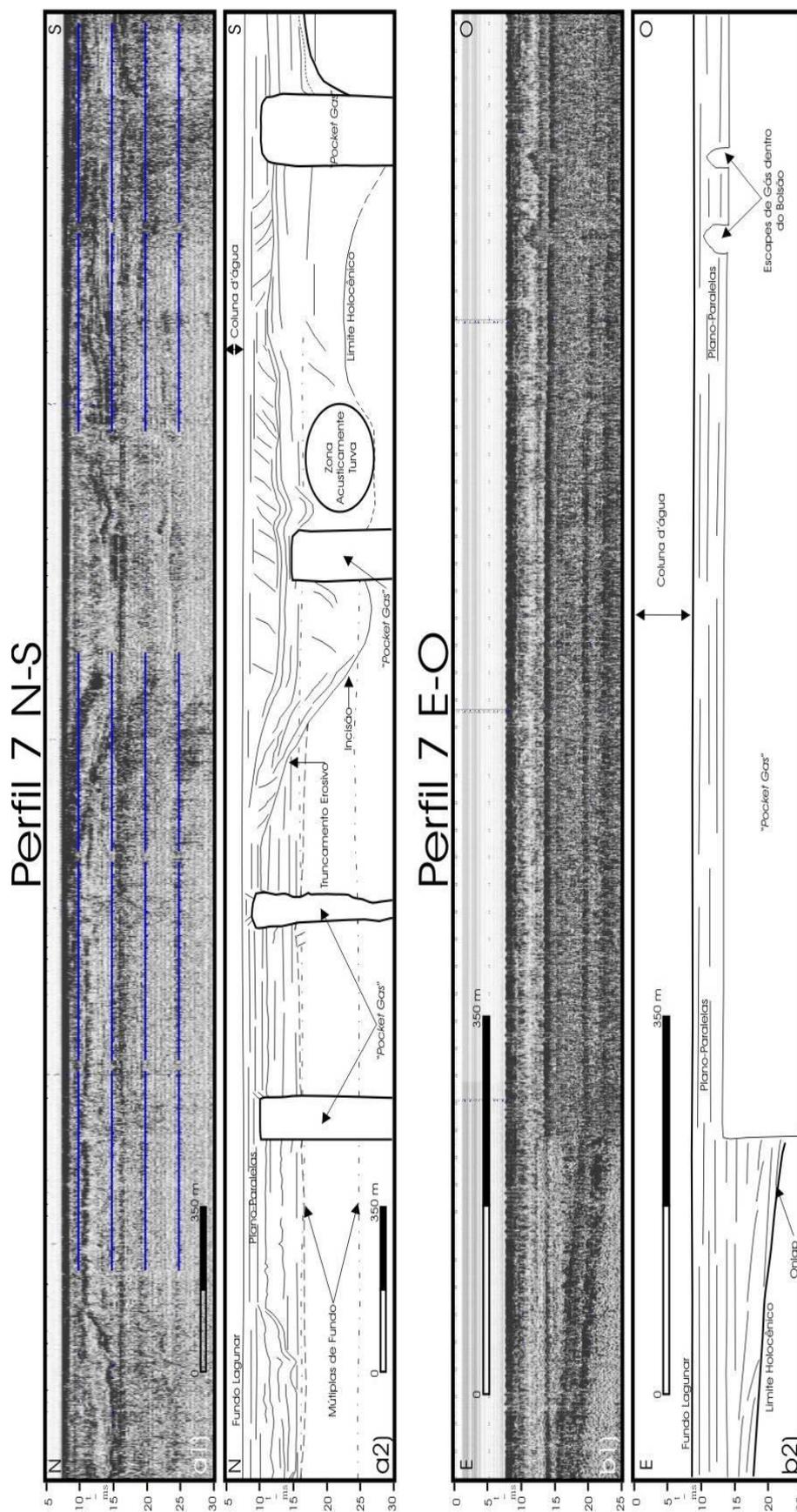


Figura 20: Trechos do Perfil 7. a1) e b1) Registro sísmico. A1) e b1); a2) e b2) interpretados.

O último bolsão de gás ocorre 400 m após a zona acusticamente turva; ele apresenta comprimento de 100 m e topo em 10,0 ms. O resto da parte N-S do perfil 7 não mostra expressivas acumulações de gás, sendo possível a observação de variados tipos de refletores como os que ocorrem no início desse trecho N-S.

Acima dos bolsões de gás, estão presentes, preferencialmente, refletores plano-paralelos, podendo ocorrer alguns do tipo oblíquos paralelos. Sobrepostos à zona acusticamente turva ocorrem truncamentos erosivos e também refletores plano-paralelos.

O fundo lagunar começa a parte N-S do perfil 7 em 7,5 ms e permanece assim até quase o fim do perfil, onde sobe rapidamente alcançando 4,5 ms ao final do trecho N-S. A relação de distância entre o fundo e os bolsões varia, no geral, de 1,5 ms a 2,5 ms, mas no terceiro bolsão chega aos 7,0 ms.

- Parte (E-O)

Assim como na parte (N-S), a trecho (E-O) do perfil 7 mostra em sua parte inicial uma série de refletores de tipos distintos como plano-paralelos, oblíquos, truncamentos erosivos e refletores ondulados. É notável a presença de um refletor intenso e de grande continuidade lateral que, no início do perfil, está presente em 9,0 ms, mostrando variações para profundidades em tempo maiores e menores. No decorrer do perfil, esse refletor mostra uma descida contínua, alcançando o tempo de 22,5 ms, quando então encontra lateralmente um bolsão de gás. Refletores plano-paralelos sobrepostos a esse refletor formam, quando o encontra lateralmente, um *onlap*.

O bolsão presente na parte (E-O) (Fig. 20) perfaz os últimos 2,9 km do perfil 7. Seu topo inicia nos 13,5 ms e desce gradualmente até os 14,5 ms ao final do perfil. O topo é bem marcado durante toda extensão do bolsão. Ocorre nesse bolsão pequenos escapes de gás para camadas superiores, alcançando os 11,0 ms.

O único tipo de refletor identificado acima do bolsão de gás é o plano-paralelo.

O fundo lagunar aparece aos 8,0 ms no início e aos 9,0 ms no final do perfil. A distância entre o bolsão e o fundo lagunar varia, no geral, entre 4,5 e 6,0 ms.

8. **PERFIL 8**

O perfil 8 possui extensão aproximada de 10,5 km, orientado de leste para oeste. O levantamento do perfil foi efetuado entre os esporões submersos do Pontal de São Simão e Dona Helena.

Os primeiros 3,5 km do perfil mostram a presença de um bolsão de gás (“*Pocket Gas*”). O topo desse bolsão aparece no tempo de 13,5 ms e, com raras variações da ordem de 0,5 ms, mantém-se praticamente estável nessa profundidade em tempo. Nos últimos 500 m do bolsão é possível observar a presença de duas janelas acústicas. A maior delas possui, no máximo, 20 m de comprimento. Nos últimos 120 m do bolsão é possível identificar, dentro dele, refletores levemente inclinados e com alguma continuidade lateral. O bolsão tem uma terminação lateral abrupta e reta, encontrando lateralmente alguns refletores plano-paralelos e inclinados. Passados 700 m do término desse bolsão de grande extensão, observa-se a presença de um bolsão de pequena extensão e topo irregular em 13,5 ms.

Os 3 km seguintes do registro sísmico não mostram indícios da presença de grandes quantidades de gás nos sedimentos. É notável a ocorrência de um truncamento erosivo que aparece pela primeira vez no tempo de 20,5 ms e possui grande continuidade lateral mas que sofre diversas variações em sua profundidade em tempo. Ocorrem ainda refletores oblíquos paralelos, plano-paralelos e também ondulados.

O trecho final de aproximadamente 3,5 km é marcado pela presença de uma intensa turbidez acústica. Mesmo assim é possível observar uma série de refletores, inclusive o truncamento erosivo anteriormente referido. Ocorre ainda uma chaminé de pequena extensão lateral; feição parecida com um pequeno bolsão, mas que ultrapassa o fundo lagunar, proporcionando um escape de gás para a coluna d'água. Um bolsão aparece pouco antes do final do perfil (Fig. 21). Ele possui cerca de 100 m de comprimento e topo bem marcado em 11,5 ms.

Dos poucos refletores vistos acima dos bolsões, todos eles eram do tipo plano-paralelo. Nas zonas acusticamente turvas, eles podem ser do tipo oblíquo, truncamento erosivo, ondulado e também plano-paralelo.

O fundo lagunar inicia e termina no tempo de 10,0 ms, sem sofrer ondulações relevantes. A distância entre o fundo e o primeiro grande bolsão fica nos 3,5 ms; já com o bolsão próximo ao final do registro sísmico, a distância fica em

Perfil 8

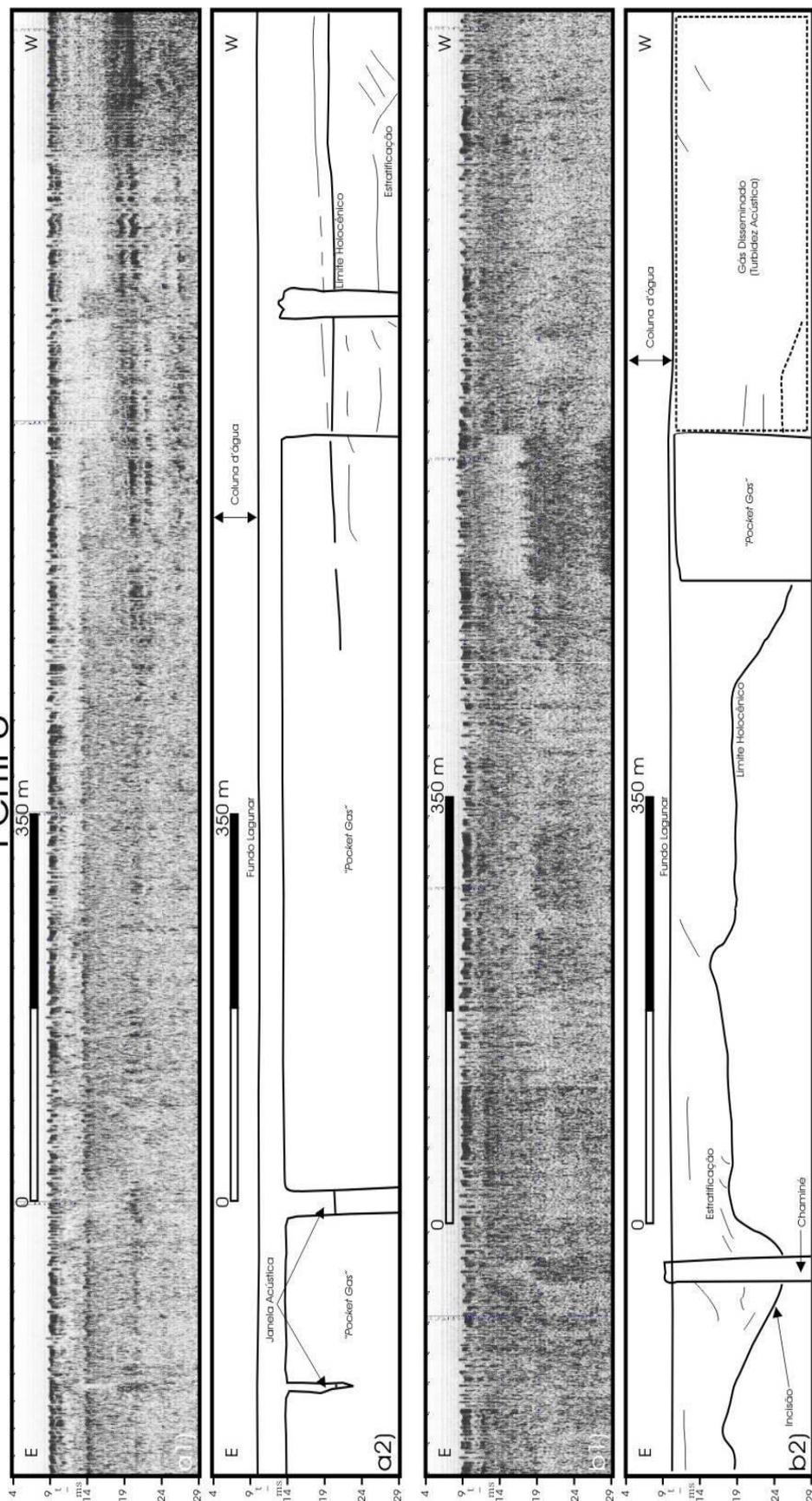


Figura 21: Trechos do Perfil 8. a1) e b1) Registro sísmico. a2) e b2) interpretados.

1,5 ms. A chaminé ultrapassa o fundo lagunar. As zonas de turbidez acústica não possuem uma relação bem definida de distância com o fundo.

9. PERFIL 9

O perfil 9 está localizado mais ao norte da Lagoa dos Patos dos doze perfis levantados. É dividido em duas partes: a primeira é orientada de sudeste para noroeste e possui cerca de 2,5 km de extensão; a segunda é orientada de sul para norte com comprimento aproximado de 7 km.

Desde os primeiros metros do perfil 9 observa-se a presença de gás nos sedimentos com a ocorrência de um elemento sísmico do tipo bolsão que possui aproximadamente 1 km de extensão (Fig. 22). O topo dessa acumulação de gás encontra-se no tempo de 15,5 ms, permanecendo neste tempo até o seu final.

Nos 2,2 km seguintes nota-se uma turbidez acústica de fraca intensidade que pode chegar até o fundo lagunar. É possível a observação de truncamentos erosivos e refletores representativos de preenchimento de canais a partir da profundidade de 17 ms para profundidades em tempo maiores.

Segue-se até o final do perfil uma intensa turbidez acústica que mascara totalmente o registro sísmico e chega até o fundo lagunar.

Acima dos bolsões ocorrem refletores plano-paralelos. Quando a feição indicativa de gás é a turbidez acústica, os refletores presentes são de tipos variados como de preenchimento de canal, ondulados e plano paralelos ocorrendo em qualquer posição relativa à acumulação. Múltiplas de fundo estão presentes aos 12,0 e 18,0 ms na parte final do perfil.

O fundo lagunar encontra-se nos 8,0 ms no início do perfil e mantém-se praticamente estável até centro onde se observa uma forte ondulação do fundo lagunar, chegando o mesmo a alcançar os 6,0 ms e poucos metros após retornando para os 7,0 ms. O fundo segue neste tempo por centenas de metros onde o fundo chega novamente aos 6,0 ms. Aproximando-se do final do perfil, paralelo ao Pontal de Santo Antônio, as profundidades do fundo lagunar diminuem, chegando a um mínimo de 5,0 ms ao seu término. A diferença de profundidade em

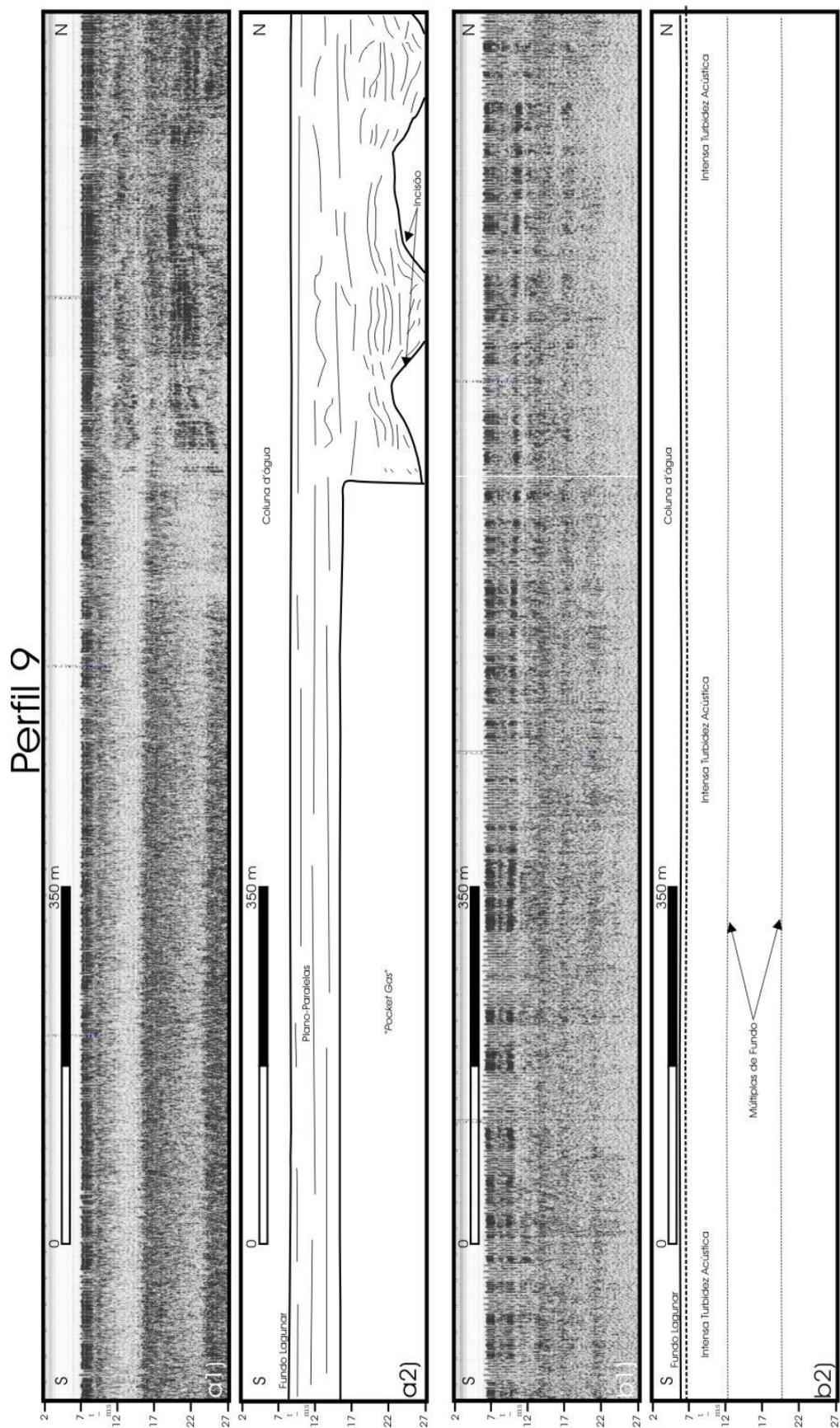


Figura 22: Trechos do Perfil 9. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

tempo entre o fundo lagunar e o único bolsão de gás presente no início do perfil fica em 7,5 ms.

10. PERFIL 10

O perfil 10 está localizado na porção centro-sul da Lagoa dos Patos, tem seu começo próximo ao Pontal Dona Maria e seu término próximo do Pontal do Vitoriano. Com aproximadamente 25 km de comprimento e orientado de nordeste para sudoeste, o perfil 10, logo nos seus primeiros 2,8 km, não apresenta acumulações de gás expressivas, apenas uma feição do tipo bolsão de extensão reduzida. São pouco visíveis as estratificações e que, quando ocorrem, são do tipo plano-paralelas. Ocorrem ainda duas múltiplas em 16,0 e 24,0 ms, que acompanham a forma do fundo lagunar localizado em aproximadamente 8,0 ms.

Um extenso bolsão de gás, contínuo, (Fig. 23) está presente no perfil 10 perfazendo um total de cerca de 20,5 km de comprimento. Apresenta seu topo no tempo aproximado de 12,5 ms com quedas e subidas esporádicas de forma não abrupta e com pequena extensão lateral. Ao final do perfil o gás presente no substrato lagunar torna-se escasso, sendo possível novamente, a observação de duas múltiplas de fundo em 18,0 e 27,0 ms.

Ao longo de quase todo o perfil a única feição típica da presença de gás nos sedimentos é uma grande acumulação do tipo bolsão que mostra pequenas mudanças na profundidade de topo. A mesma fica confinada ao substrato, não ultrapassando o fundo lagunar e, portanto, não havendo escape do gás para a coluna d'água.

As estratificações predominantes acima do extenso corpo de gás são do tipo plano-paralelas. As áreas sem gás no perfil 10 estão localizadas no início e nas últimas centenas de metros de seu final, onde se encontram os pontais Dona Maria e Vitoriano, respectivamente.

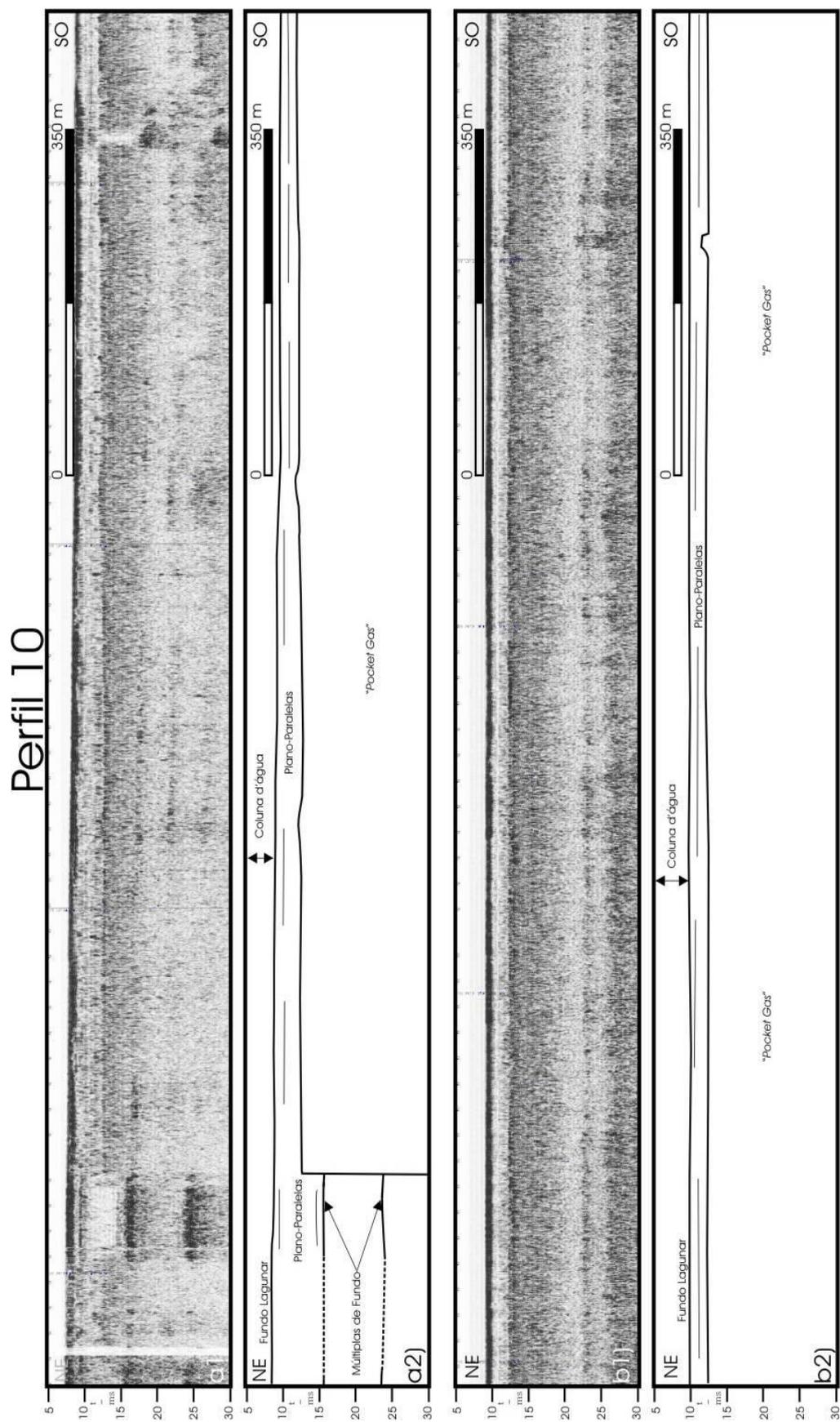


Figura 23: Trechos do Perfil 10. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

No geral o topo do bolsão permanece distante cerca 3,5 a 4,5 ms do fundo lagunar, que apresenta profundidade média em 8,5 ms, diminuindo para até 7,5 ms próximo aos pontais.

11. PERFIL 11

O perfil 11 possui aproximadamente 8 km de extensão, orientado de sudeste para noroeste. Foi levantado paralelo ao esporão submerso do Pontal Vitoriano.

Em seus primeiros 150 m (Fig. 24) ocorre um bolsão de gás com topo em 12,5 ms. Dois setores acusticamente turvos aparecem na seqüência, possuindo, cada um deles, cerca de 100 m de comprimento máximo, alcançando o fundo lagunar sem ultrapassá-lo. Abaixo desses setores é possível observar duas múltiplas de fundo em 19,0 e 28,5 ms.

O restante do perfil, até perto de seus 900 m finais, é marcado por refletores oblíquos tangenciais, sigmoidais, oblíquos paralelos e também refletores plano-paralelos. As múltiplas de fundo ainda ocorrem, variando de acordo com a morfologia do fundo lagunar, sempre em intervalos iguais.

Nos últimos 900 m aparecem três setores acusticamente turvos intercalados com dois pequenos bolsões. Os setores acusticamente turvos mascaram o registro sísmico a partir dos 10,5 ms, não apresentando topo bem definido. O maior dos três setores possui cerca de 500 m. O primeiro dos bolsões possui cerca de 30 m de comprimento e seu topo chega muito próximo do fundo lagunar. O segundo bolsão tem aproximadamente 70 m e seu topo alcança os 11 ms.

Acima dos bolsões ocorrem refletores plano-paralelos. Acima das zonas acusticamente turvas ocorrem refletores plano-paralelos e também refletores inclinados como oblíquos e sigmoidais.

O fundo lagunar inicia o perfil em 8,0 ms e termina em 6,0 ms. Apresenta pequenas ondulações da ordem de 0,5 ms. A relação de distância entre o fundo e os bolsões de gás varia entre 4,0 e 4,5 ms, sendo que em um dos bolsões a relação fica em 0,5 ms. Nas zonas com turbidez acústica a acumulação de gás não mostra um topo bem definido.

Perfil 11

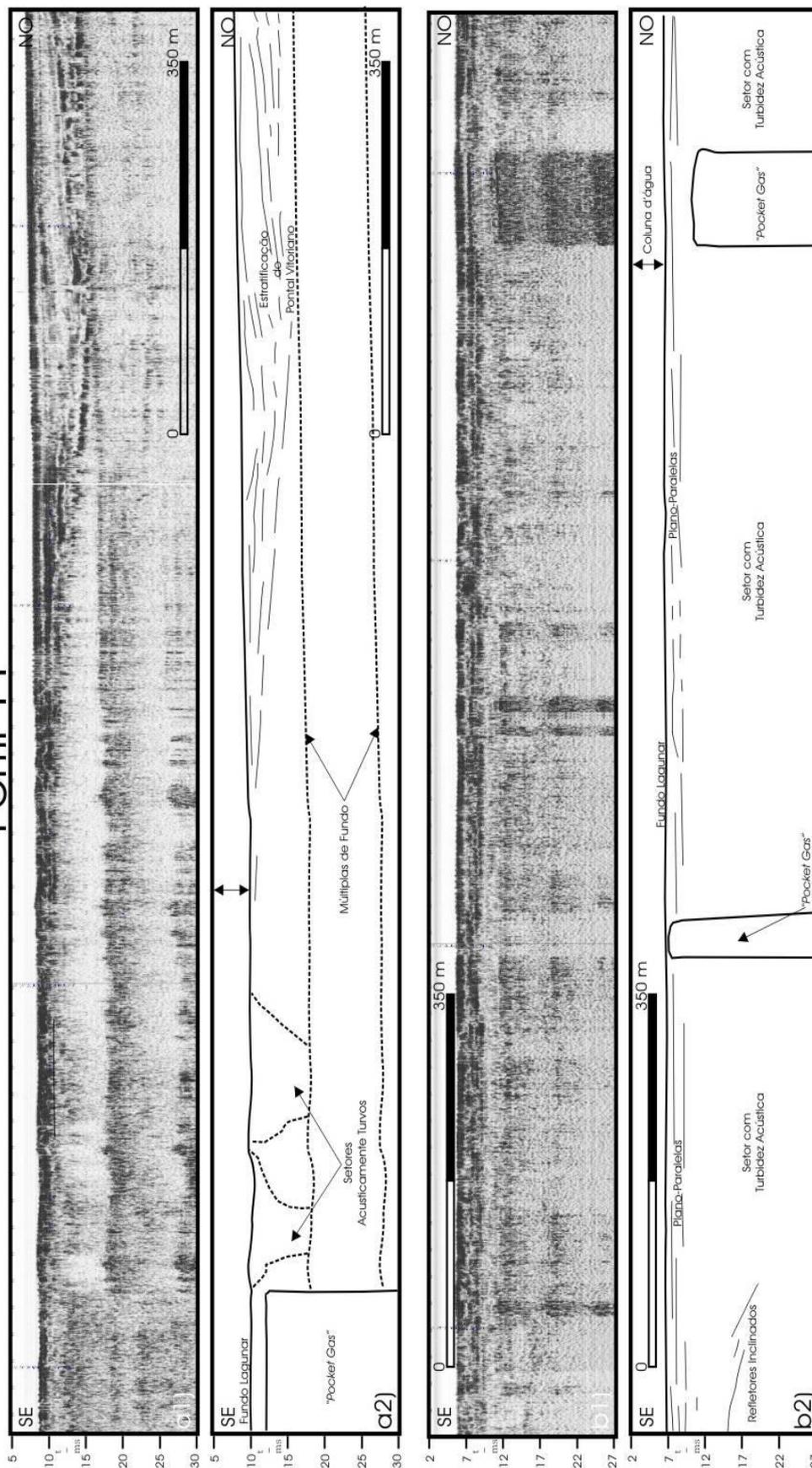


Figura 24: Trechos do Perfil 11. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

12. PERFIL 12

O perfil 12 é o mais longo dos perfis sísmicos levantados no interior da Lagoa dos Patos na campanha de 2002. Está localizado entre os pontais Dona Maria e da Feitoria, passando perpendicularmente ao Pontal do Quilombo em sua parte central. Possui um comprimento aproximado de 40 km e orientação de nordeste para sudoeste.

Nos primeiros 8 km de perfil não há nenhum elemento sísmico que indique a presença de grandes quantidades de gás nos sedimentos. Os refletores identificados são do tipo plano-paralelos e truncamentos erosivos. Nota-se a presença de um refletor de grande continuidade lateral e bem marcado aos 11,0 ms que desce em profundidade, chegando no tempo de 19,5 ms quando encontrando lateralmente um bolsão de gás na sequencia. Verifica-se ainda que os refletores plano-paralelos encontram em sua lateral esquerda com o referido refletor, formando uma feição denominada de *onlap*.

O bolsão de gás (Fig. 25) que tem seu início no último ponto referido possui cerca de 7,3 km de extensão. O topo dessa acumulação encontra-se inicialmente em 16 ms, porém, desce suavemente para o tempo de 17,0 ms logo após seus primeiros 900m. O topo se mantém nos 17,0 ms com subidas bruscas para os 16,0 ms, sendo essas subidas de extensão lateral muito reduzida.

Os 3 km seguintes não apresentam acumulações de gás. É possível observar, além de refletores plano-paralelos, que o refletor, que se encontrava aos 19,5 ms antes do início do bolsão de gás, agora se encontra aos 23,0 ms ao final do bolsão. Esse mesmo refletor sobe gradativamente para os 22 ms quando encontra um refletor indicativo da presença de gás nos sedimentos e desce para o tempo de 27,0 ms.

Após esse trecho há um extenso bolsão de gás com aproximadamente 10,2 km de extensão. Seu topo permanece, desde o início, constante nos 13,0 ms sendo que em seus últimos 100 m o topo tem forma ondulada para profundidades em tempos maiores de 17,0 ms na crista e 20, ms no vale.

Os últimos 7,5 km do perfil não apresentam acumulações importantes de gás. Observa-se a presença do mesmo refletor, contínuo lateralmente, referido

Perfil 12

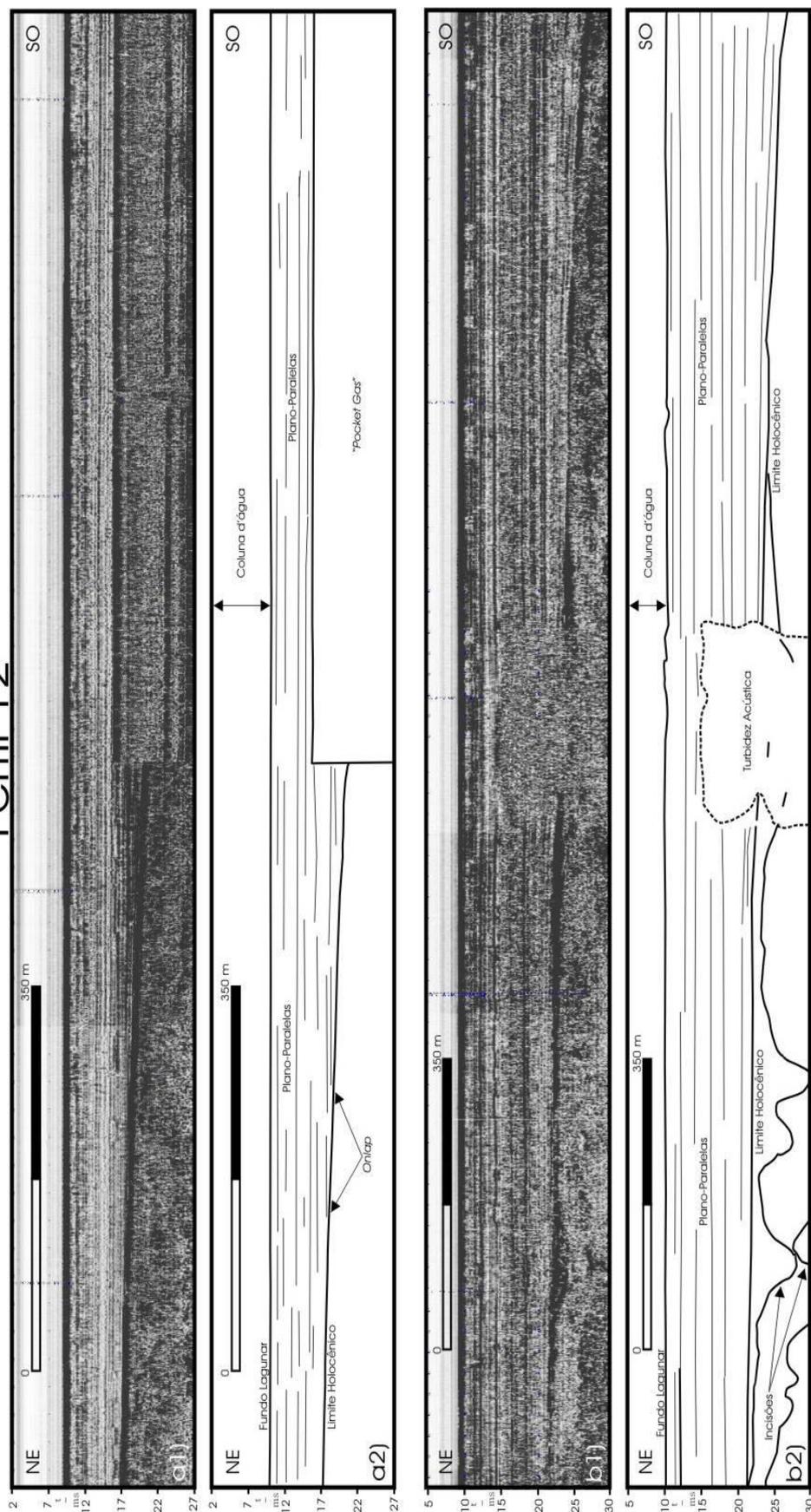


Figura 25: Trechos do Perfil 12. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

anteriormente e que aparece nesta parte final no tempo de 29,0 ms. Ele é sobreposto por refletores plano-paralelos. Aproximando-se do Pontal da Feitoria encontram-se refletores oblíquos tangenciais mergulhando para sudeste. Há também a presença de múltiplas de fundo nos quilômetros finais, aos 17,0 e 25,5 ms.

Os refletores presentes acima dos bolsões são, geralmente, plano-paralelos. No primeiro bolsão o topo da acumulação apresenta, por vezes, feições do tipo “escadaria” (quedas bruscas de profundidade de topo da acumulação). Turbidez acústica ocorre com fraca intensidade entre refletores oblíquo-tangenciais, bem como entre refletores plano-paralelos e de preenchimento de canais.

No início do perfil, próximo ao Pontal Dona Maria, o fundo lagunar encontra-se em 6,0 ms. Ele vai descendo continuamente em profundidade ao afastar-se do pontal e alcança o tempo de 10,0 ms. O fundo lagunar começa então a subir em profundidade, terminando o perfil no tempo de 7,5 ms, próximo ao Pontal da Feitoria. A relação de distância do fundo com o primeiro bolsão mantém-se entre 4,5 ms e 7,0 ms. No entanto, no segundo bolsão, a relação muda e permanece, no geral, entre 3,0 e 4,0 ms.

13. PERFIL 13

Primeiro dos 15 perfis da campanha sísmica de 2006, o perfil 13 está localizado na margem oeste da Lagoa dos Patos entre os Pontais da Feitoria e Quilombo. Possui cerca de 20,5 km e está orientado na direção SO-NE.

Desde seu início o perfil apresenta um bolsão (Fig. 26) de gás que tem extensão total de 13,1 km. O topo dessa acumulação de gás encontra-se inicialmente na profundidade em tempo de 14,0 ms e mantém-se nessa profundidade, com algumas oscilações para 15,0 ms até o final do perfil. É possível observar o aumento da nitidez da reflexão do topo da acumulação do meio para o seu final. Acima do gás são identificadas reflexões do tipo plano-paralelas.

Logo após a terminação lateral abrupta do bolsão de gás é possível observar uma série de reflexões plano-paralelas, padrão esse que se estende até os 7,4 km finais do perfil. Uma dessas acumulações plano-paralelas chama a atenção por sua continuidade lateral extensa e a nitidez de sua reflexão. Junto ao

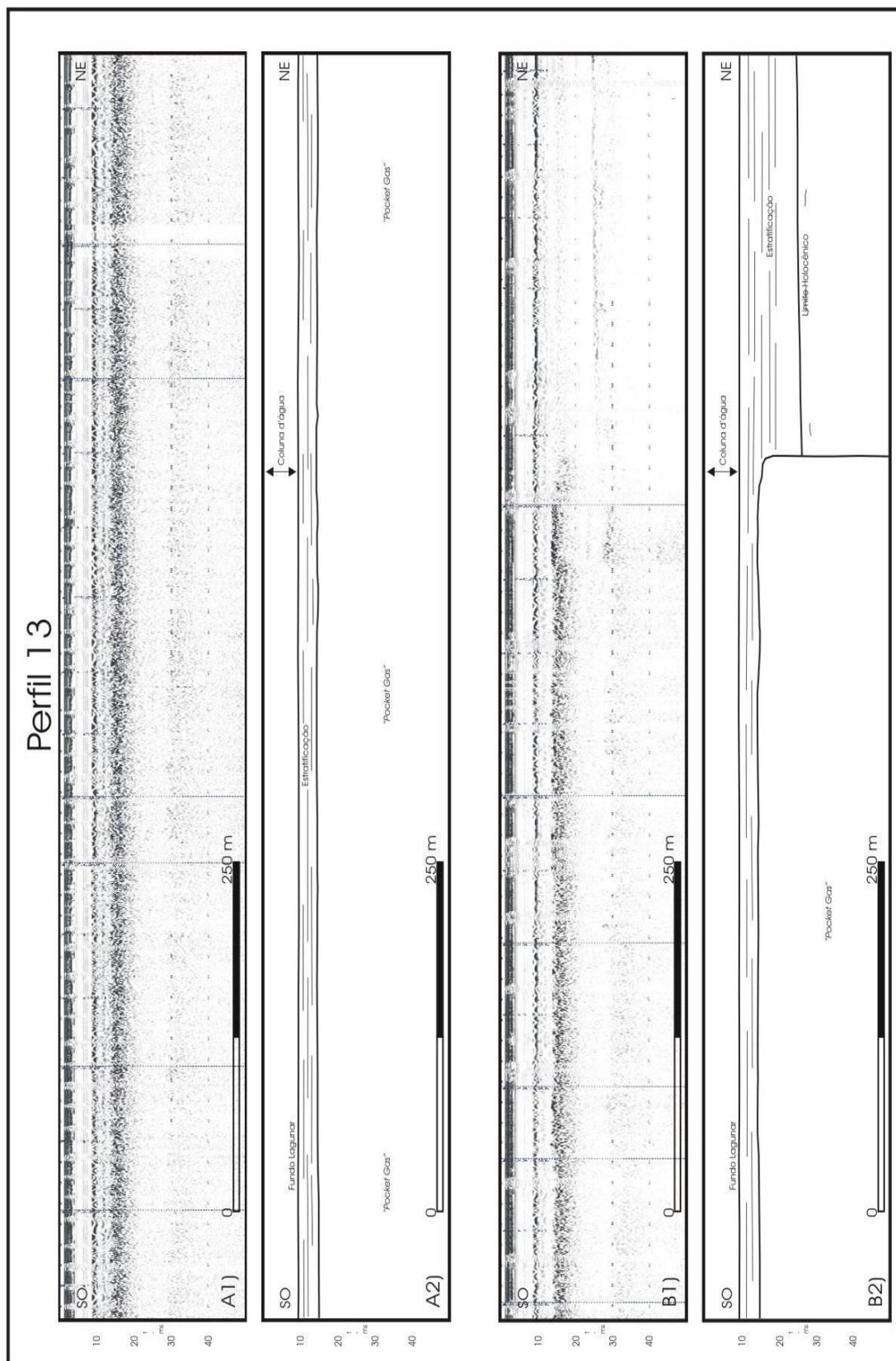


Figura 26: Trechos do Perfil 13. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

ao bolsão essa reflexão aparece no tempo de 27,0 ms e gradualmente sobe para 22,5 ms, onde em geral, se mantém, com algumas oscilações de profundidades. Na parte final do perfil, esse refletor contínuo acompanha a subida da topografia do fundo lagunar e termina o perfil na profundidade em tempo de 15,0 ms

O fundo lagunar parte inicialmente dos 10,0 ms, mantendo-se constante até sua parte final, quando então sobe gradativamente para os 7,0 ms na direção do esporão submerso do pontal Quilombo. A relação de distância do fundo lagunar com o topo do bolsão permanece em intervalo de 4,0 – 5,0 ms.

14. PERFIL 14

O perfil 14 apresenta direção semelhante à do perfil 13, porém com uma inclinação mais para leste. Possui comprimento de 15,5 km e está localizado entre o pontal Quilombo e o Pontal Vitoriano.

A primeira feição relativa à presença de gás nesse perfil é um bolsão com 1,8 km de extensão que aparece desde os primeiros metros de aquisição sísmica. O topo não mostra grande solidez na reflexão, mas é possível observar que ele se mantém na profundidade em tempo de 12,0 ms desde o seu início até o seu final. Acima do bolsão foi identificado um pequeno intervalo até o fundo lagunar com a presença de refletores plano-paralelos.

Após 4,7 km do final do primeiro bolsão, observa-se a presença de um pequeno bolsão de 62 m, com seu topo em profundidade de 15,0 ms e que em suas laterais apresenta um refletor contínuo e bem marcado em 25,0 ms; bem como refletores plano-paralelos que aparecem tanto em suas laterais como acima do topo desse bolsão.

Seguindo para o final do perfil, após cerca de 1,0 km sem acumulações de gás, aparece um setor de 1,7 km com a presença de uma série de pequenos bolsões, e janelas acústicas (Fig. 27) entre eles. O topo desses bolsões encontra-se no tempo de 15,0 ms em todas as feições do tipo “*pocket gas*” observadas. Nas janelas acústicas identificou-se refletores plano-paralelos e alguns oblíquos incisivos em outras reflexões plano-paralelas, indicativos de paleocanais. Há também a presença de um refletor forte e contínuo que apresenta profundidade de 23,0 ms no início desse setor, sendo que no final dessa seção de bolsões e janelas acústicas começa gradativamente subir para profundidades menores (13,0 ms) em direção ao final do perfil onde é mascarado pela presença de gás disseminado

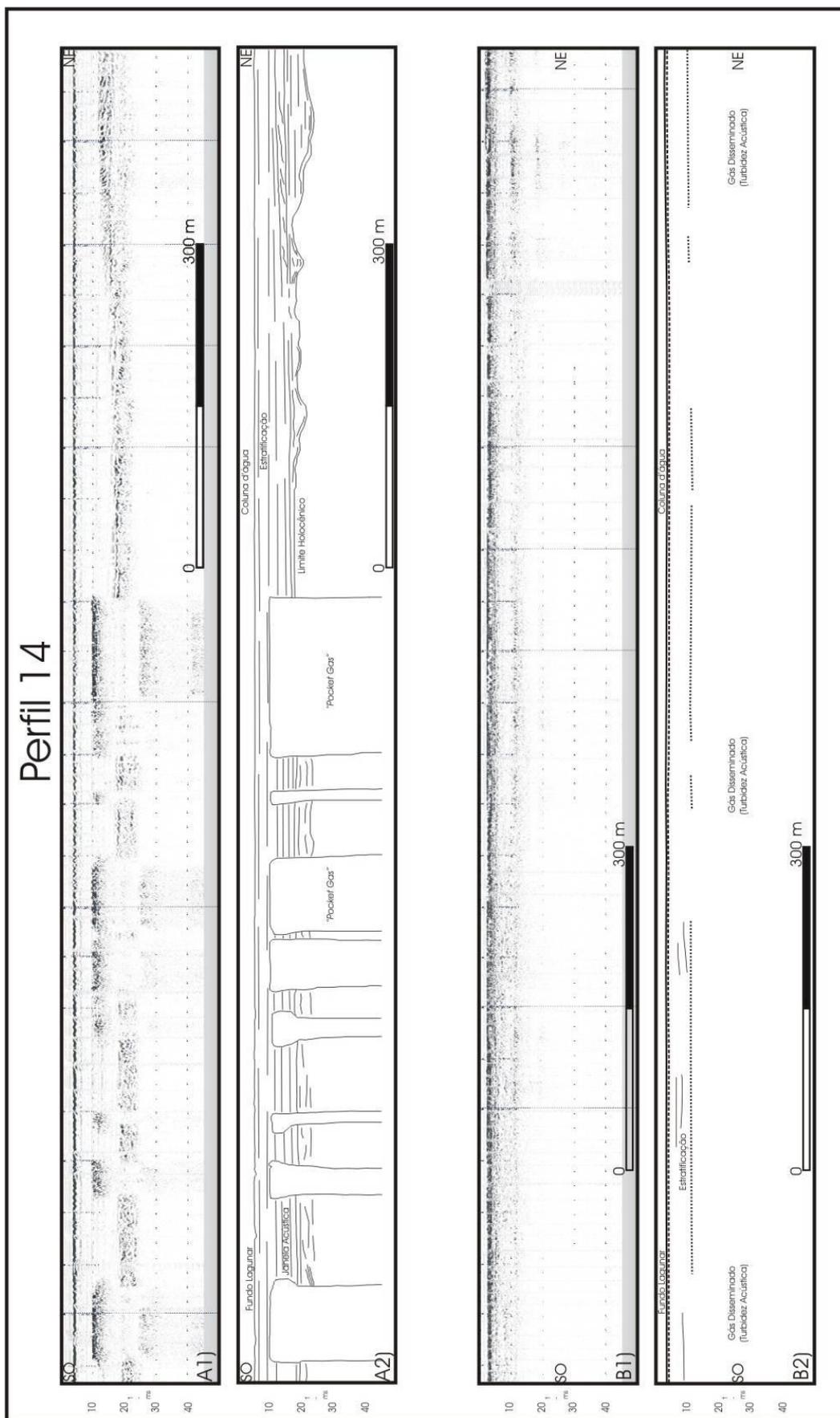


Figura 27: Trechos do Perfil 14. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

Turbidez acústica é encontrada na parte final do perfil depois de um intervalo de 1,5 km sem a presença significativa do gás desde o último setor com bolsões e janelas acústicas. Essa parte do perfil é marcada pelo mascaramento dos refletores pelo gás disseminado. O gás presente não mostra topo definido e segue até o final do perfil, durante 5,7 km. A obstrução visual dos refletores sismo-deposicionais chega a alcançar a base do fundo lagunar em diversos locais por onde atua o gás disseminado.

A profundidade do fundo lagunar é praticamente constante no perfil no tempo de 8,0 ms. O intervalo entre o fundo lagunar e as acumulações de gás fica entre 4,0 ms (no início do perfil) e 7,0 (parte central do perfil). O final do perfil 14 é marcado por gás disseminado, o que impede a quantificação precisa de uma relação de distâncias entre o fundo lagunar e a acumulação.

15. PERFIL 15

Localizado no centro da Lagoa dos Patos, entre o pontal Vitoriano e o pontal Bojuru, e orientado com direção ONO-ESE, temos o perfil 15. Esse perfil apresenta 8,5 km de extensão sendo o segundo menor perfil em comprimento de todos os 15 realizados na campanha sísmica de 2006.

Logo em seus metros iniciais, o perfil 15 mostra uma feição indicativa da presença de gás no registro sísmico (Fig. 28). Trata-se de uma bolsão de gás com 7,7 km de comprimento, no qual seu topo aparece em 10,0 ms, muito próximo ao fundo lagunar. Nos últimos 800 m de perfil, onde não há presença expressiva de gás nos sedimentos, o perfil apresenta refletores plano-paralelos e alguns truncamentos erosivos, em especial um refletor bem marcado que se faz presente em profundidades médias de 13,0 ms.

O fundo lagunar apresenta profundidade de 8,0 ms em seu início, porém essa profundidade oscila entre 7,5 e 8,0 ms durante, praticamente, toda a extensão do perfil. Em seu final o fundo lagunar encontra-se mais próximo dos 7,5 ms. A relação de distância entre o refletor de topo do bolsão de gás e o fundo lagunar fica entre 2,0 e 2,5 ms.

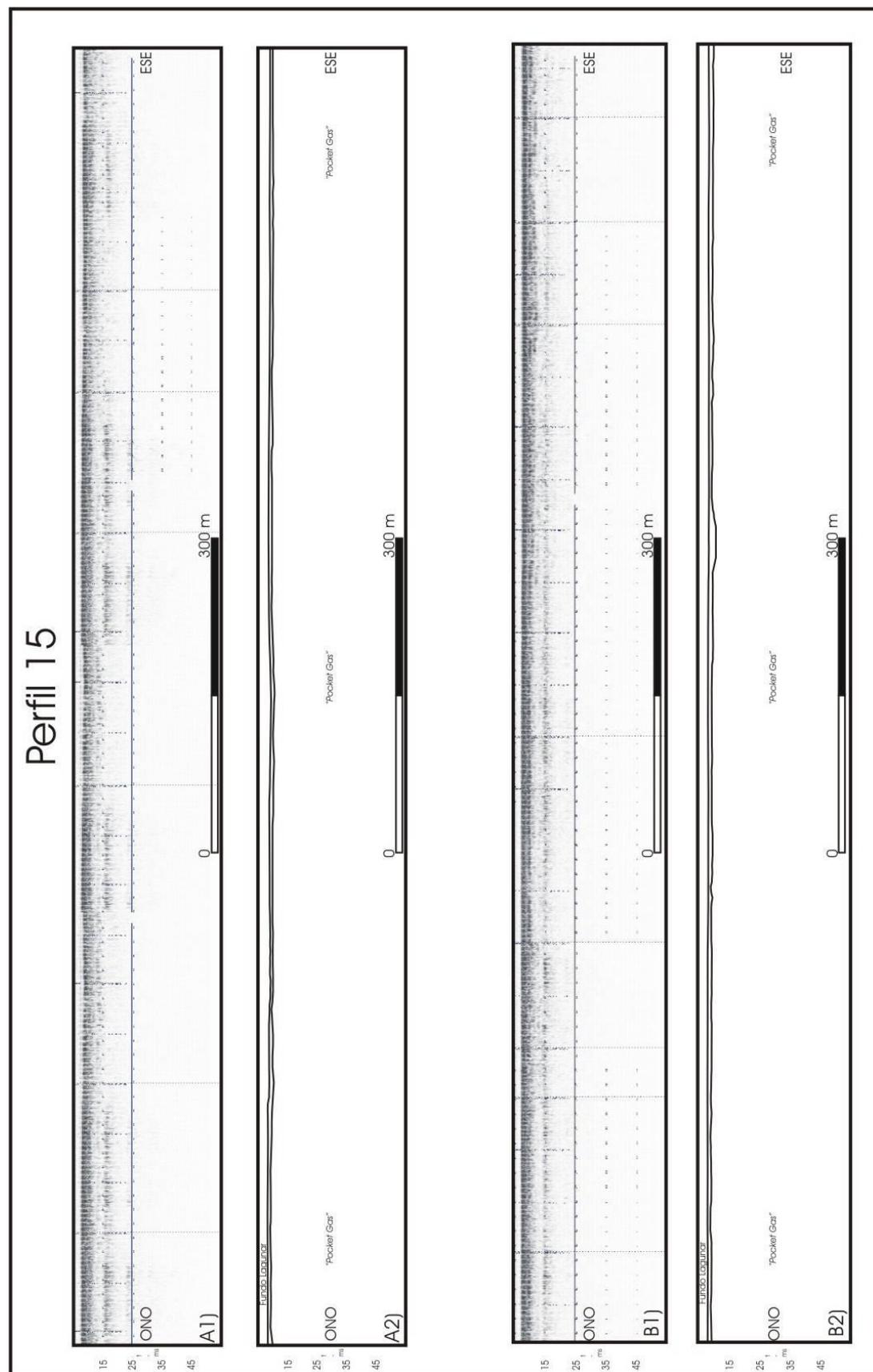


Figura 28: Trechos do Perfil 15. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

16. PERFIL 16

O perfil 16 está localizado na margem leste da Lagoa dos Patos, próximo ao pontal Cristovão Pereira . Foram perfilados nesse segmento 9,0 km de dados sísmicos orientados na direção ONO-ESE.

Esse perfil apresenta 5 seções com bolsões de gás com topo bem definido e algumas feições como “chaminés acústicas”, que são anomalias sísmicas representativas da existência de gás nos sedimentos e que chegam a ultrapassar o fundo lagunar, misturando o gás com a coluna d'água. O primeiro bolsão de gás (Fig. 29) é encontrado após percorridos os 2,5 km iniciais de perfil, onde não são observados indícios significativos da presença de gás na coluna sedimentar. Esse primeiro bolsão possui 1,5 km de comprimento e apresenta topo bem definido em 12,5 ms, mostrando uma série de chaminés acústicas ao longo de sua extensão.

Após 240 m sem a presença de gás, onde se observam refletores plano paralelos e fortes refletores contínuos nas profundidades de 22,0 e 39,0 ms (local onde ocorre uma forma convexa ou montiforma), um novo bolsão de gás aparece com topo bem marcado em 12,5 ms. O topo vai subindo gradativamente para a profundidade de 12,0 ms no decorrer da perfilagem sísmica. A extensão desse segundo bolsão é de apenas 192 m, porém mascara todos elementos arquiteturais dos depósito sedimentares imediatamente abaixo da ocorrência de seu topo.

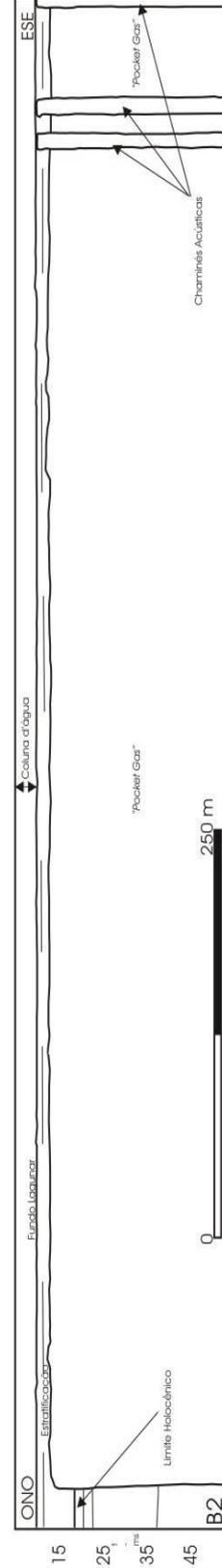
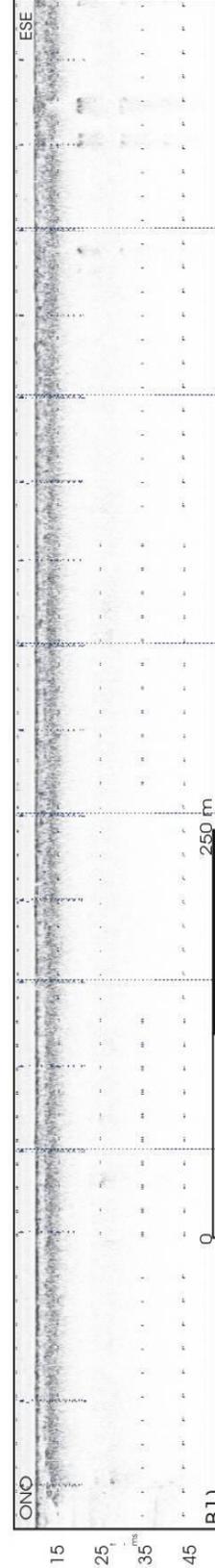
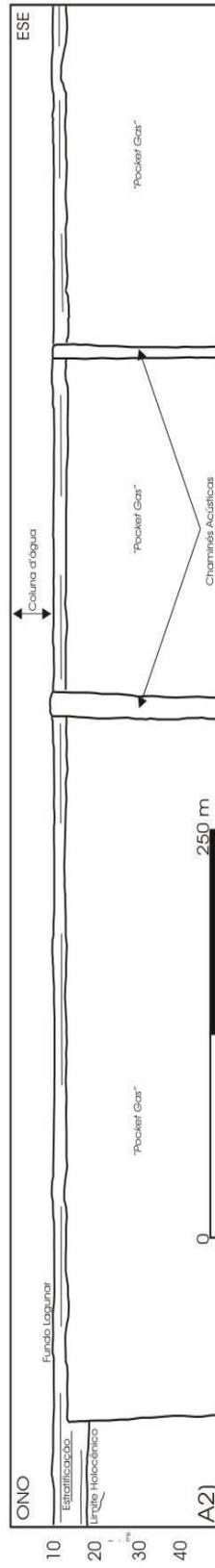
Nos 260 m seguintes ao final do segundo bolsão de gás não é verificada a presença de gás nos dados sísmicos. O registro sísmico é semelhante ao do intervalo anterior com refletores bem marcados e contínuos nas profundidades de 22,0 e 39,0 ms. Um terceiro bolsão está presente após esse intervalo, possuindo extensão de 742 m e mantém as mesmas características do segundo bolsão, como o topo em 12,5 ms.

Um quarto bolsão é identificado após 183 m do final do terceiro bolsão. Assim como os dois bolsões anteriores, seu topo encontra-se em 12,5 ms. Sua extensão é de 364m.

Por fim, após 451 m do final do quarto bolsão, aparece uma nova acumulação do mesmo tipo, porém de maior representatividade. Trata-se de um bolsão com comprimento de 2,5 km e topo inicial em 12,5 ms que desce suavemente para os 13,0 ms até o final do perfil.

A profundidade do fundo lagunar permanece em 10,0 ms desde o início até o final do perfil. A distância entre o fundo lagunar e os bolsões varia de 2,5 – 3,0

Perfil 16



ms. Há também nesse perfil, junto ao primeiro bolsão, chaminés acústicas que ultrapassam o fundo lagunar.

17. PERFIL 17

O perfil 17 está localizado no centro da Lagoa dos Patos com sentido SE-NO, tendo seu início junto ao final do perfil 6 e seu fim próximo ao pontal Dona Maria. São 22,5 km de extensão de perfil, onde encontram-se grandes acumulações de gás raso.

Desde seu início, é notável a presença de gás (Fig. 30) nos registros sísmicos do perfil 17. A primeira grande acumulação dessa linha sísmica é um bolsão com 14,7 km de comprimento. Seu topo é encontrado em 17,5 ms e permanece nessa profundidade do começo até o fim da acumulação, podendo apresentar oscilações locais de 0,5 ms para maiores ou menores profundidades em tempo. A acumulação tem uma terminação lateral abrupta, onde logo após o final da reflexão anômala do gás que oblitera a visualização dos refletores sismo-deposicionais, é possível observar a presença de refletores plano-paralelos. Acima do bolsão pode-se identificar refletores plano paralelos de menor dimensão e expressão em relação aos que aparecem lateralmente junto ai final do bolsão.

Após 2,4 km sem o indício contundente de grandes concentrações de gás, aparece um setor do perfil que mostra reflexões típicas da presença de gás disseminado nos sedimentos. São 5,2 km de mascaramento parcial do registro sísmico, onde localmente se pode visualizar refletores plano-paralelos e refletores oblíquos, típicos de crescimento de pontais, nesse caso este padrão de reflexão é devido à proximidade do final do perfil com o pontal Dona Maria. Em alguns trechos é forte a presença de múltiplas no registro. Nos últimos 206 m do perfil 17, nota-se a presença de um pequeno bolsão com a reflexão do topo em cerca de 15,0 ms.

O topo da reflexão do fundo lagunar é encontrado em 8,0 ms no início do perfil e sobe suavemente para os 7,5 ms, profundidade na qual ele é identificado ao final do perfil. Entre o topo dos bolsões e o fundo lagunar se estabelece uma distância de 4,5 ms para o primeiro bolsão e 7,5 ms para o último bolsão junto ao final do perfil. A turbidez acústica que ocorre no setor com a presença de gás disseminado dificulta mensurar tais intervalos de distância.

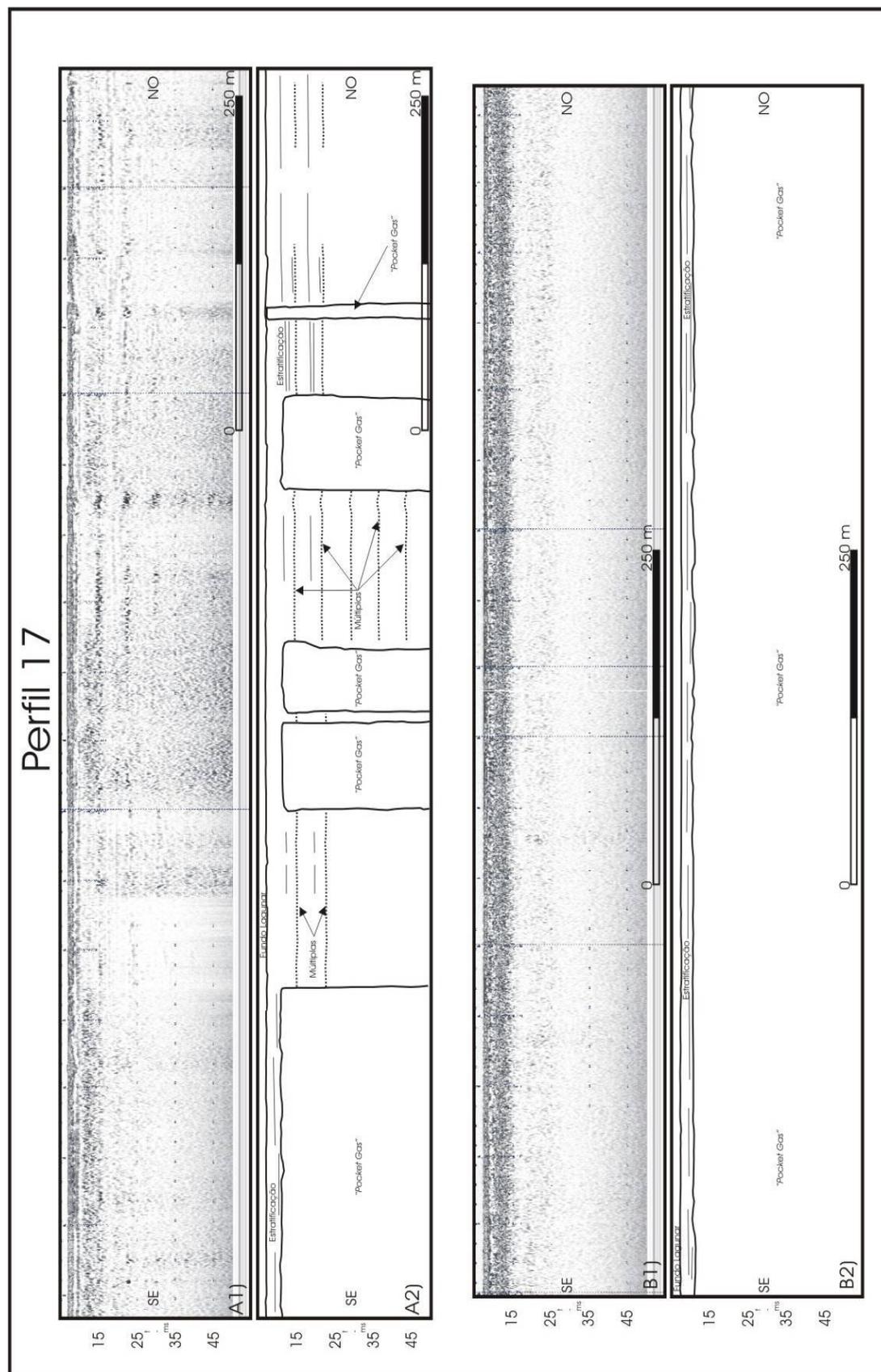


Figura 30: Trechos do Perfil 17. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

18. **PERFIL 18**

O perfil 18 tem seu início próximo ao pontal Dona Maria e final próximo ao pontal Dona Helena. Está orientado no sentido SO-NE e possui 17,7 km de extensão.

Esse perfil apresenta somente 3 bolsões que estão localizados em sua parte final. Durante os 12,0 km iniciais observa-se a presença de refletores incisivos em outras reflexões (predominantemente do tipo plano-paralela) que indicam a presença de paleocanais. Há também refletores plano-paralelos e progradantes (próximo ao pontal Dona Maria, no início do perfil) e uma forte reflexão de grande continuidade que aparece primeiramente aos 17,5 ms, mas que em algumas das incisões, que ele provoca, pode chegar até os 25,0 ms.

O primeiro bolsão (Fig. 31) observado após os primeiros 12,0 km do perfil tem topo bem marcado em 13,0 ms, mas que abruptamente sobe para os 12,5 ms e depois volta novamente para os 13,0 ms. Esse bolsão possui 1,5 km de extensão. São observados refletores plano-paralelos acima da acumulação de gás e refletores inclinados, truncamentos erosivos e refletores plano-paralelos após sua terminação lateral abrupta.

O segundo bolsão do perfil tem 356 m de comprimento e está localizado 595 m após o término do primeiro bolsão. Seu topo é ondulante e a profundidade de início da acumulação oscila entre 12,5 e 13,0 ms. Logo acima do bolsão aparecem refletores plano-paralelos. Em suas laterais aparecem, assim como refletores plano-paralelos, truncamentos erosivos.

O último bolsão do perfil está localizado 1,6 km após o segundo bolsão. Esse bolsão tem comprimento de 263 m, com seu topo em 12,5 ms, mas que em seu final chega a atingir a base do fundo lagunar, sendo trapeado por ele. Apresenta características semelhantes às do segundo bolsão em termos de refletores que o cercam.

O fundo lagunar no início do perfil está localizado na profundidade de 9,0 ms, subindo gradativamente para 6,0 ms, profundidade a qual ele atinge em uma subida mais rápida nos metros finais de perfil que em setores anteriores. A distância entre o fundo lagunar e o primeiro bolsão varia entre 4,5 – 5,0 ms. Para o segundo bolsão o intervalo permanece o mesmo. O terceiro bolsão já mostra variações diferentes, que ficam entre 4,5 ms e quase 0,00 ms.

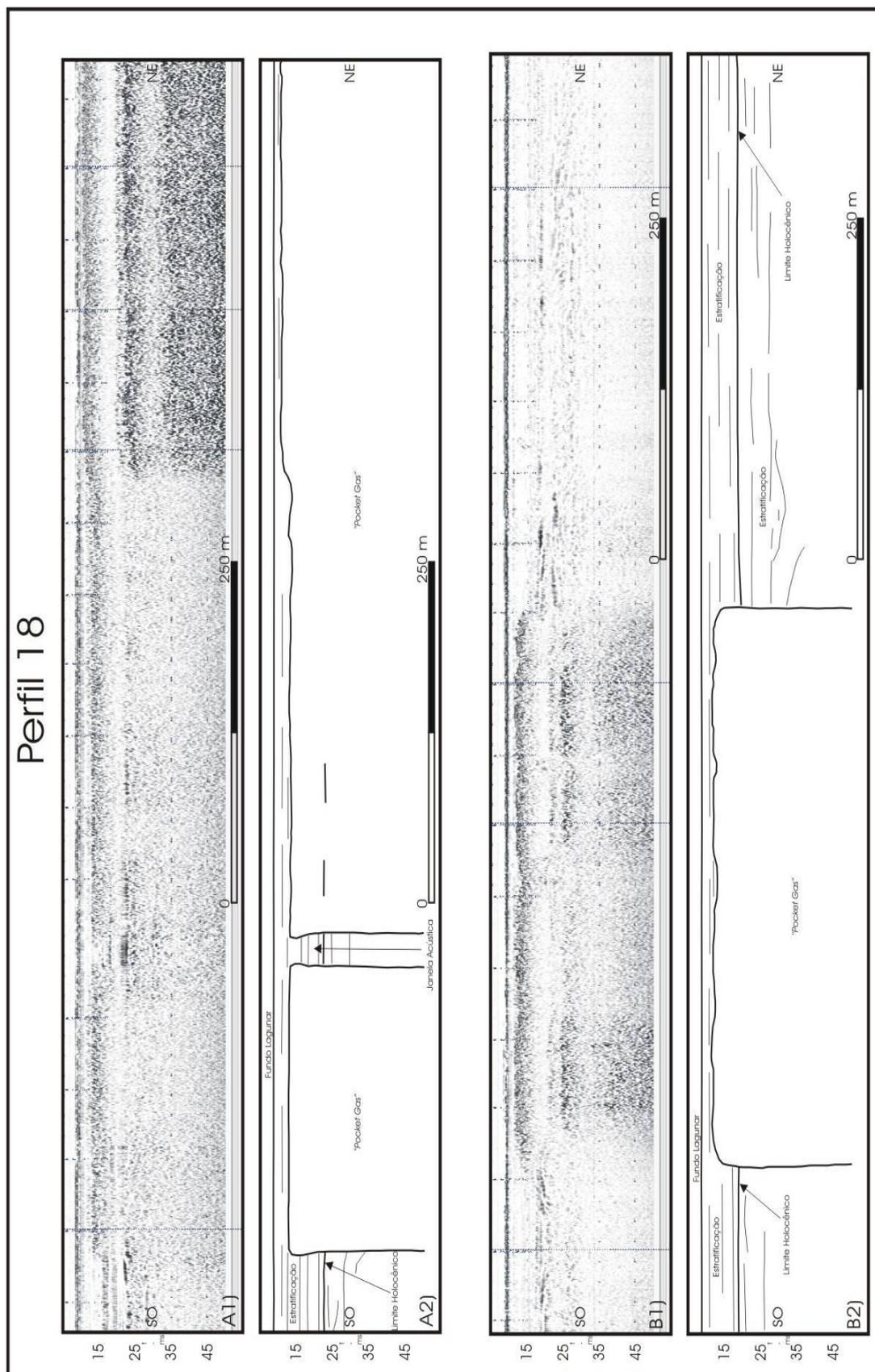


Figura 31: Trechos do Perfil 18. a1) e b1) Registro sísmico. a2) e b2) interpretados.

19. *PERFIL 19*

Localizado no centro da Lagoa dos Patos, o perfil 19 tem seu início alinhado com o pontal Dona Helena na margem esquerda e o com o pontal São Simão na margem direita da laguna. Possui extensão de 15,7 km, orientados com direção SO-NE, com uma inclinação maior para norte que o perfil 18.

O primeiro quilômetro de perfilagem sísmica não apresenta feições indicativas da presença de gás nos sedimentos. Refletores oblíquos sigmoidais e refletores plano-paralelos aparecem nessa parte do perfil 19. Os refletores oblíquos nesse perfil são representativos do crescimento do pontal que ocorre próximo ao seu início.

Após o quilômetro inicial, nota-se a presença de uma extensa acumulação de gás (Fig. 32) que segue até o final do perfil. Trata-se de um bolsão com 14,7 km de comprimento que tem sua reflexão de topo na profundidade em tempo de 15,0 ms. Em seus primeiros quilômetros o topo do bolsão permanece nos 15,0 ms, subindo no decorrer da perfilagem desse bolsão para 14,0 ms. Chaminés acústicas aparecem localmente a partir do meio para o final do perfil, juntamente com o topo do bolsão de gás que sobe para profundidades de 10,0 ms, imediatamente abaixo do fundo lagunar. Na primeira parte do perfil onde o intervalo de distância entre o bolsão e o fundo lagunar é maior, refletores plano-paralelos estão localizados acima da acumulação de gás. Essas reflexões características são evidenciadas até o final do perfil.

O fundo lagunar inicia em 7,0 ms sob influência do crescimento subaquoso dos pontais á ele alinhados. O fundo lagunar desce rapidamente para 10,0 ms e, nas partes centrais até o final do perfil, sobe lentamente para profundidades menores, atingindo 8,0 ms em seu final. A distância entre o fundo lagunar e o bolsão varia. No primeiro terço do perfil ela fica em intervalos de 5,0 ms, em movimentos de subidas e descidas que são acompanhados por ambos na mesma proporção. Na parte final do perfil existem relações de corte entre os dois, quando chaminés acústicas ultrapassam o fundo lagunar, misturando o gás com a coluna d'água. Há também nesse segmento uma relação em que o fundo lagunar faz a função de camada selante, trapeando o gás, tendo assim uma relação de distância praticamente nula entre os dois.

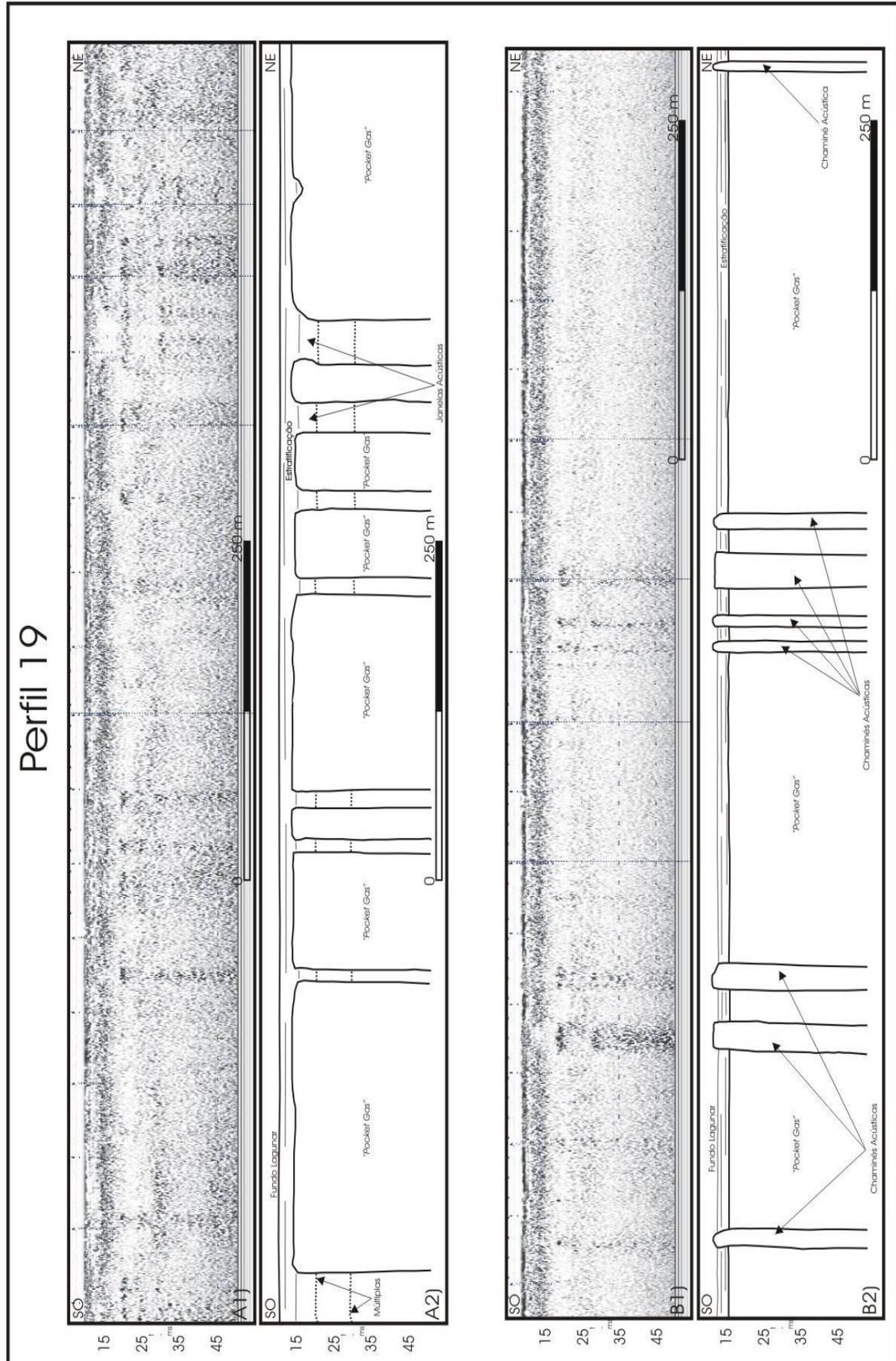


Figura 32: Trechos do Perfil 19. a1) e b1) Registro sísmico. a2) e b2) interpretados.

20. **PERFIL 20**

O perfil 20 é o segundo maior perfil dos 15 levantados na campanha sísmica do ano de 2006. Possui 40,5 km de extensão, com sentido SO-NE, localizado no centro da Lagoa dos Patos, ao norte dos pontais Dona Helena e São Simão.

Esse perfil mostra, já em seu início, um extenso bolsão de gás. Essa acumulação (Fig. 33) possui 25,4 km de extensão e é encontrada a partir dos 14,0 ms, sendo essa profundidade de topo a mais frequente durante a presença do gás. Apresenta, por vezes, o topo também em 17,0 ms, fruto de quedas bruscas e localizadas de profundidade. Para essas mudanças repentinas de profundidade de topo de acumulação seguida de nova subida abrupta para profundidades menores, deu-se o nome de “escada acústica”. O bolsão termina com profundidade de topo estabilizada em 15,0 ms. Acima do bolsão constatou-se a presença de refletores plano-paralelos. Após sua terminação lateral abrupta, consegue-se observar reflexões plano-paralelas, em especial um refletor em 23,0 ms que tem extensa continuidade lateral e espessura considerável.

O segundo bolsão está localizado 1,5 km após o primeiro. Ele possui as mesmas características do bolsão anterior, com o topo em 15,0 ms e os mesmo padrões de refletores que o cercam. Possui extensão de 477m.

O terceiro, e último, bolsão aparece também 1,5 km após o bolsão anterior. Seu topo oscila entre 14,0 e 15,0 ms, mostrando, por vezes, feições do tipo “escadaria”. Após seu término, truncamentos erosivos, refletores plano-paralelos e refletores de preenchimento de canal estão presentes no registro sísmico. Um refletor fortemente marcado, espesso e com extensa continuidade lateral é encontrado aos 25,0 ms, imediatamente ao final do bolsão, subindo rapidamente para a profundidade de 15,0 ms e se apresentando nessa mesma profundidade ao final do perfil. Esse último bolsão tem extensão de 10,6 km.

O fundo lagunar se mantém constante durante praticamente todo o perfil na profundidade de 11,0 ms, apresentando oscilações locais para os 12,0 ms. A relação de distância entre o fundo lagunar e o topo do primeiro bolsão é mais frequentemente observada em intervalos de 7,0 ms, podendo alcançar os 10,0 ms localmente. Nos dois últimos bolsões essa relação se estabelece em um intervalo de 7,0 – 8,0 ms.

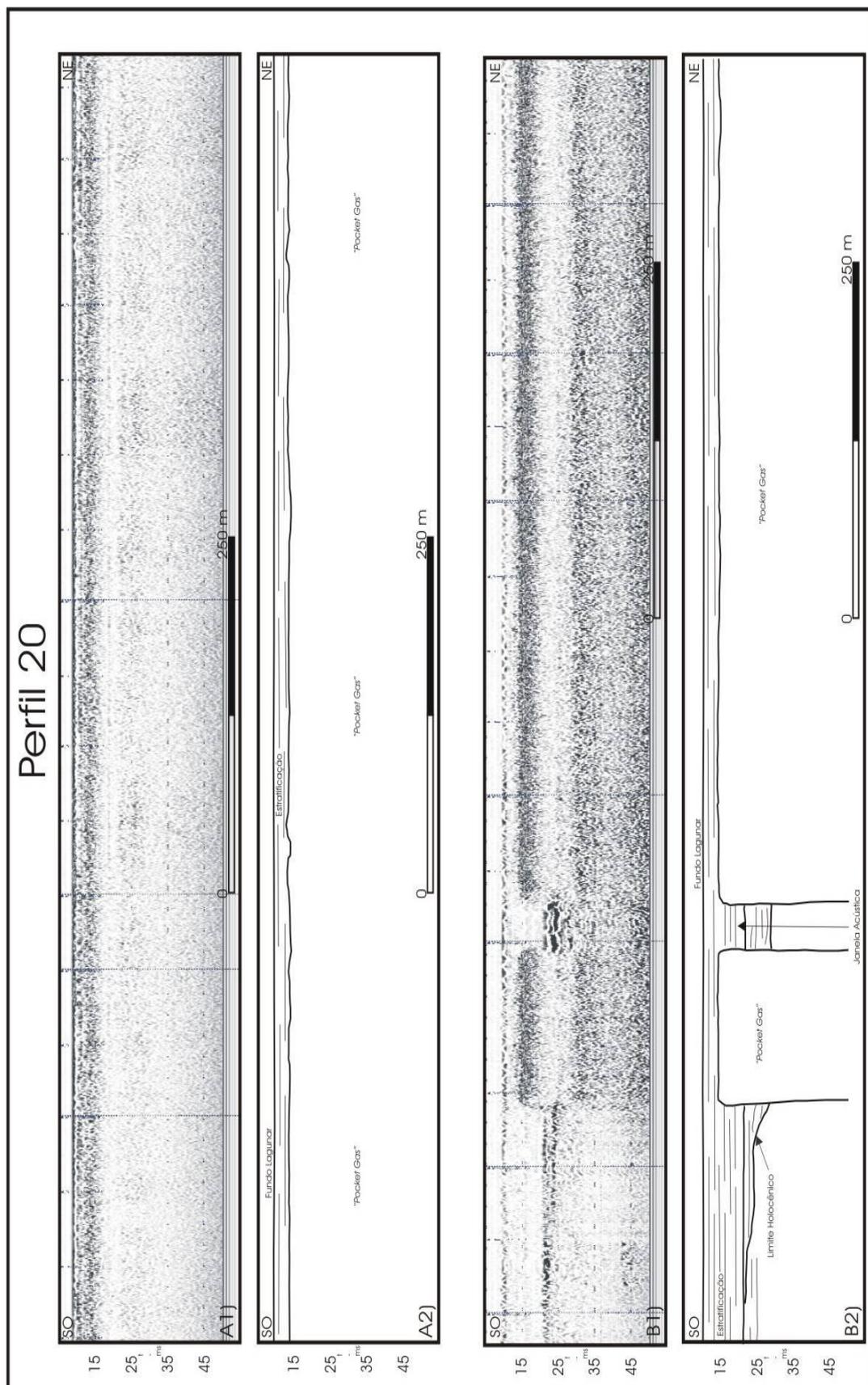


Figura 33: Trechos do Perfil 20. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

21. **PERFIL 21**

O perfil 21 está localizado no nordeste da célula norte da Lagoa dos Patos, com seu final próximo à entrada da Lagoa do Casamento. Está orientado com sentido SO-NE e possui 15,4 km de extensão.

Esse perfil apresenta predominantemente setores com turbidez acústica, indicando a presença de gás disseminado nos sedimentos. São 6 setores com a presença dessa anomalia acústica que mascara os elementos arquiteturais deposicionais da substrato da Lagoa dos Patos presente nos registros sísmicos. Essa feição não apresenta clara definição de padrões morfológicos de terminações laterais e de topo.

O registro sísmico, quando não mascarado pela presença de gás, apresenta muitas reflexões múltipla do fundo lagunar no início do perfil. Refletores plano-paralelos e feições dômicas que aparecem no limite em profundidade do registro (entre 40,0 e 50,0 ms) indicando a presença de um provável embasamento geológico aparecem nessa parte inicial do perfil. São observados ainda pequenas incisões e truncamentos erosivos, bem como refletores inclinados que representam o preenchimento dessas incisões.

O primeiro dos 6 setores com a presença de gás nos sedimentos tem extensão aproximada de 1,8 km e dista cerca de 740 m do início do perfil.

O segundo setor (Fig. 34) aparece 3,5 km após o primeiro e apresenta comprimento de 420 m, sendo o menor em extensão dos 6 setores.

O terceiro e quarto setores estão muito próximos entre si e distam 900 m do segundo setor. O terceiro setor apresenta 1,0 km de extensão, enquanto o quarto setor são aproximadamente 1,3 km de comprimento.

O intervalo entre o quarto e o quinto setor é da ordem de 2,2 km e não mostra presença expressiva de gás. Esse quinto setor é o de maior extensão por mascaramento de gás atingindo 2,7 km de comprimento.

Para o sexto setor são mais 2,5 km de nitidez do registro sedimentar. Esse sexto setor apresenta 595 m de extensão.

O fundo lagunar aparece no início do perfil na profundidade de 8,0 ms, provavelmente influenciado pela presença do pontal das Desertas, e logo após desce para a profundidade de 12,0 ms. Sobes depois, gradativamente, para 11,0 e 10,0 ms e se mantém assim por boa parte do perfil. No seu 1/4 final, o fundo lagunar sobes profundidades ainda menores, atingindo os 7,5 ms ao final do perfil. Devido as feições indicativas da presença de gás nos sedimentos não mostrarem

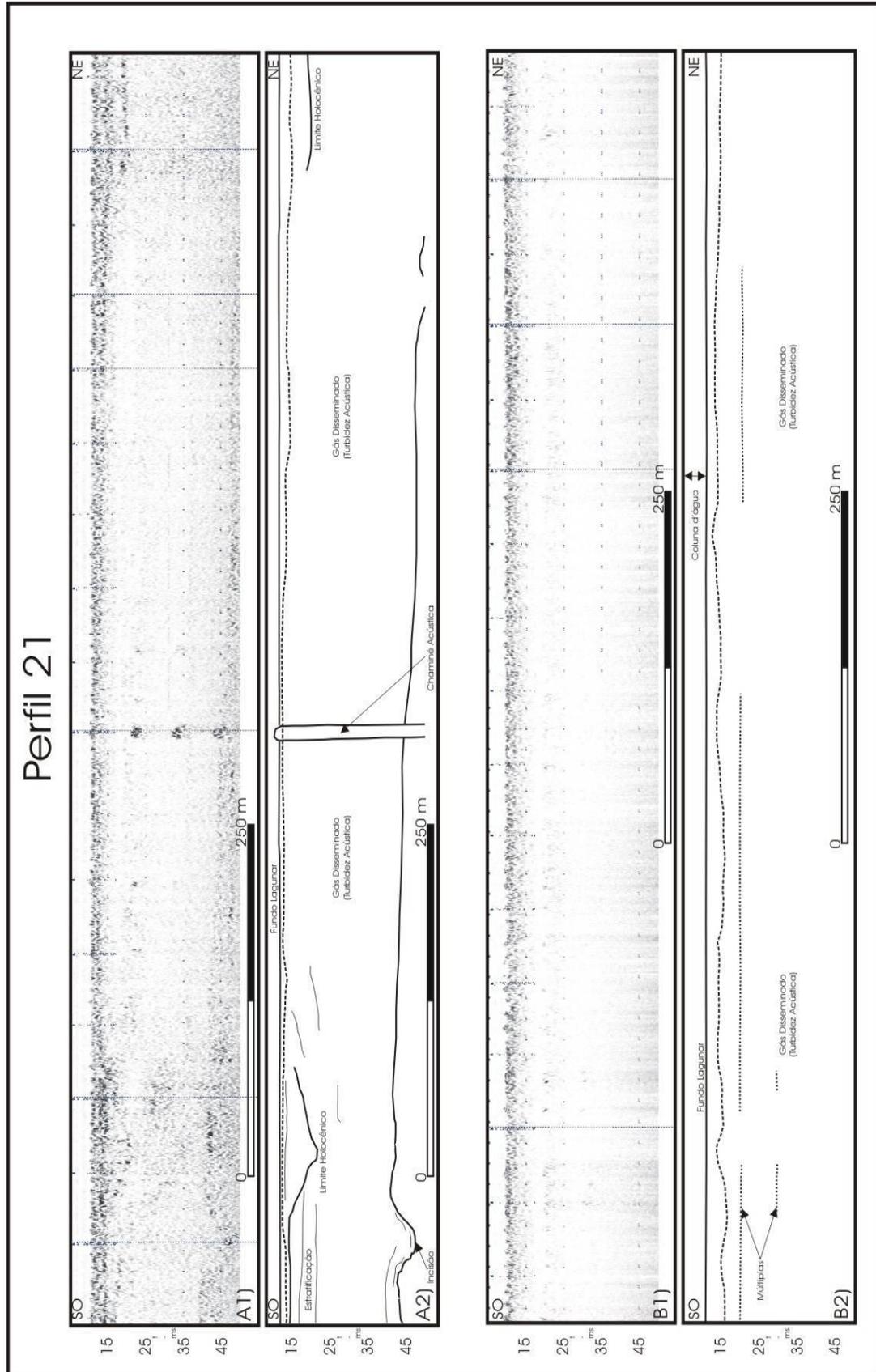


Figura 34: Trechos do Perfil 21. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

clara definição de topo, fica difícil estabelecer relações de distância entre o fundo lagunar e as acumulações. Cabe ressaltar porém, que as acumulações, por vezes, chegam a atingir a base do fundo lagunar, sem ultrapassá-lo.

22. PERFIL 22

Localizado próximo à margem direita da célula norte da Lagoa dos Patos, o perfil 22 tem seu início junto a entrada da Lagoa do Casamento. Perfaz um total de 26,9 km de linha sísmica, orientada com direção NNO-SSE.

As acumulações de gás nesse perfil somam um total de três. Trata-se de um setor com turbidez acústica e dois bolsões de gás de pequena dimensão que estão localizados na parte inicial do perfil.

A primeira anomalia acústica identificada (Fig. 35) é um setor com turbidez acústica, representativo da existência de gás disseminado nos sedimentos, sem topo e laterais claramente estabilizados em uma profundidade ou limite lateral específico. Essa feição é observada desde o início do perfil apresentando um total de 890 m de comprimento. Durante sua atuação é possível identificar refletores plano-paralelos em pequenas janelas acústicas onde o gás tem fraca atuação.

Após 1,1 km sem a interferência do gás, tem-se o primeiro bolsão com 200 m de comprimento e topo da acumulação em 13,0 ms, onde abaixo de sua ocorrência observa-se total obstrução visual dos refletores sísmo-deposicionais. Acima do bolsão e e suas laterais ocorrem refletores plano-paralelos.

O segundo bolsão tem 140 m de comprimento e aparece 1,0 km depois do primeiro bolsão. Seu topo também aparece na profundidade em tempo de 13,0 ms, assim como o bolsão anterior. Os refletores presentes acima e aos lados da acumulação, bem como o bolsão anterior, são plano-paralelos.

A partir do segundo bolsão até o término do perfil 22, não são encontradas acumulações de gás relevantes para o mapeamento do gás raso na Lagoa dos Patos. Predominam no restante do perfil refletores plano-paralelos que acompanham a morfologia de fortes e contínuos refletores que aparecem em geral nas profundidades de 16,0 e 27,0 ms e que oscilam em profundidade, apresentando, por vezes, formas onduladas e incisões. Representam paleovales e paleocanais. Aparecem também refletores inclinados que indicam o preenchimento dessas incisões. Sinais múltiplos são comuns no registro sísmico desse perfil. No final da perfilagem surgem alguns refletores oblíquos sigmoidais.

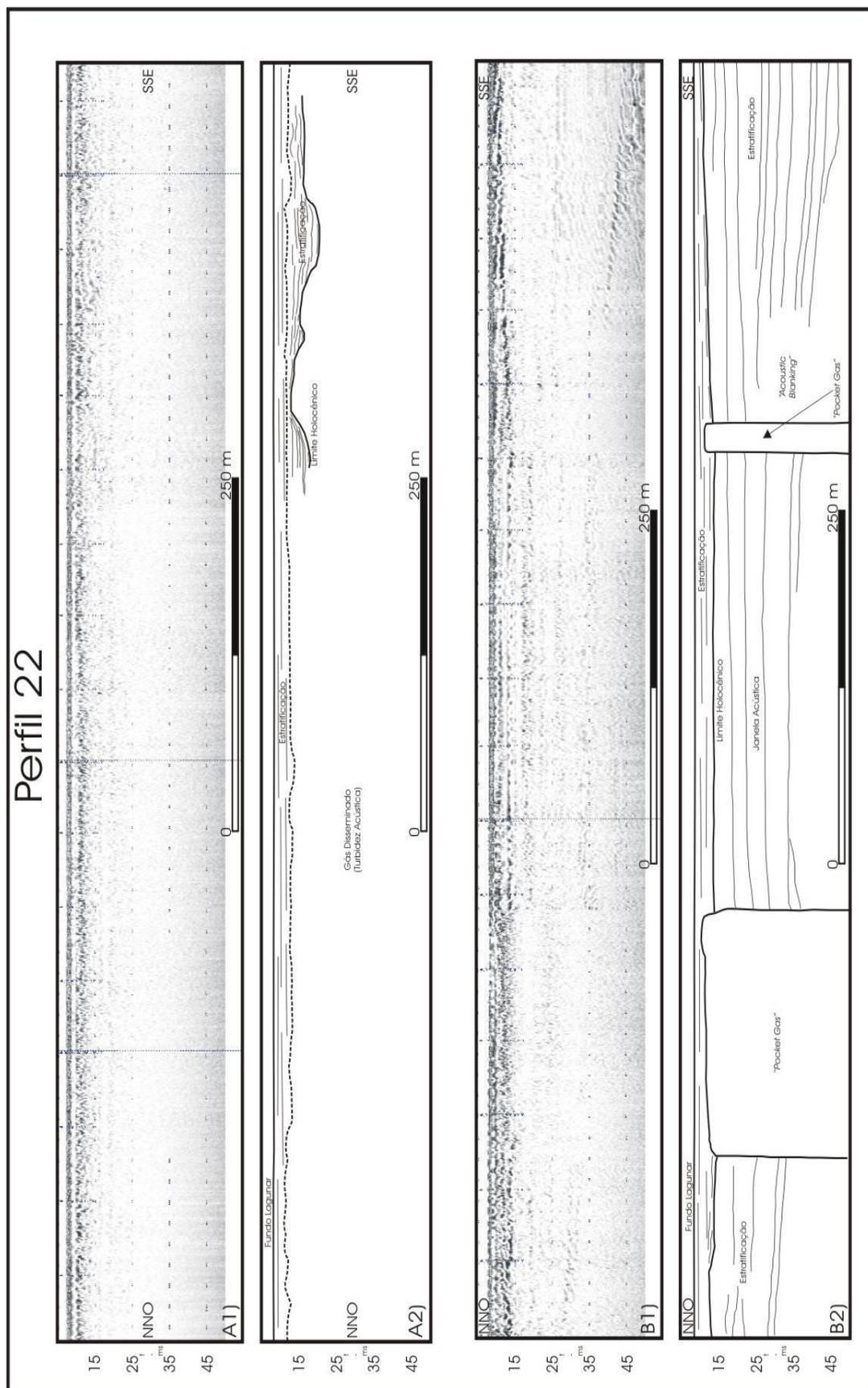


Figura 35: Trechos do Perfil 22. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

O fundo lagunar inicia o perfil na profundidade de 7,5 ms, mantendo-se em profundidades semelhantes na parte inicial do perfil 22. Na parte central ocorre rebaixamento da reflexão do fundo lagunar para 8,0 ms, mas que sobe gradativamente, atingindo os 7,0 ms ao final do perfil. A relação de distância do fundo lagunar com os bolsões fica em uma proporção de 5,5 ms. A turbidez acústica chega mais perto do fundo lagunar em comparação com os bolsões e, em média geral dista 3,5 ms do fundo lagunar.

23. PERFIL 23

O perfil 23 está localizado na margem direita da célula norte da Lagoa dos Patos, com seu final em frente ao pontal São Simão. Sua direção é NE-SO, totalizando 35,6 km de extensão.

Apresenta oito setores com presença de gás raso. As seis primeiras acumulações são do tipo “gás disseminado”, seguidas de um pequeno bolsão (Fig. 36) de gás. Aparecem, novamente após esse primeiro bolsão, dois setores com gás disseminado sob forma de um branqueamento de morfologia irregular no registro sísmico conhecido como “*Acoustic Blanking*”, sendo essas acumulações as maiores em área, de todas as oito encontradas nesse perfil.

A primeira aparição de gás raso no perfil 23 se dá sob a forma de “*Acoustic Blanking*”, após 4,9 km iniciais com a presença de grande quantidade de múltiplas e sem quantidades expressivas de gás nos registros sísmicos. Esse branqueamento acústico se apresenta por apenas 60 m e mascarando parcialmente o registro e alcançando em algumas partes o fundo lagunar.

O segundo setor com branqueamento acústico está localizado 430 m após o primeiro, e possui 1,6 km de comprimento, mascarando o registro, inclusive o sinal múltiplo de fundo lagunar.

1,3 km após o setor anterior, tem-se um terceiro segmento do perfil 23 com a presença de gás disseminado. São 730 m de branqueamento acústico presente nos dados sísmicos durante a atuação dessa zona com a presença de gás entre os sedimentos.

Assim como no intervalo entre os primeiros setores com gás disseminado, as múltiplas aparecem onde a atuação do gás é suavizada, assim como refletores oblíquos sigmoidais, acima e abaixo do mascaramento causado pela presença de gás.

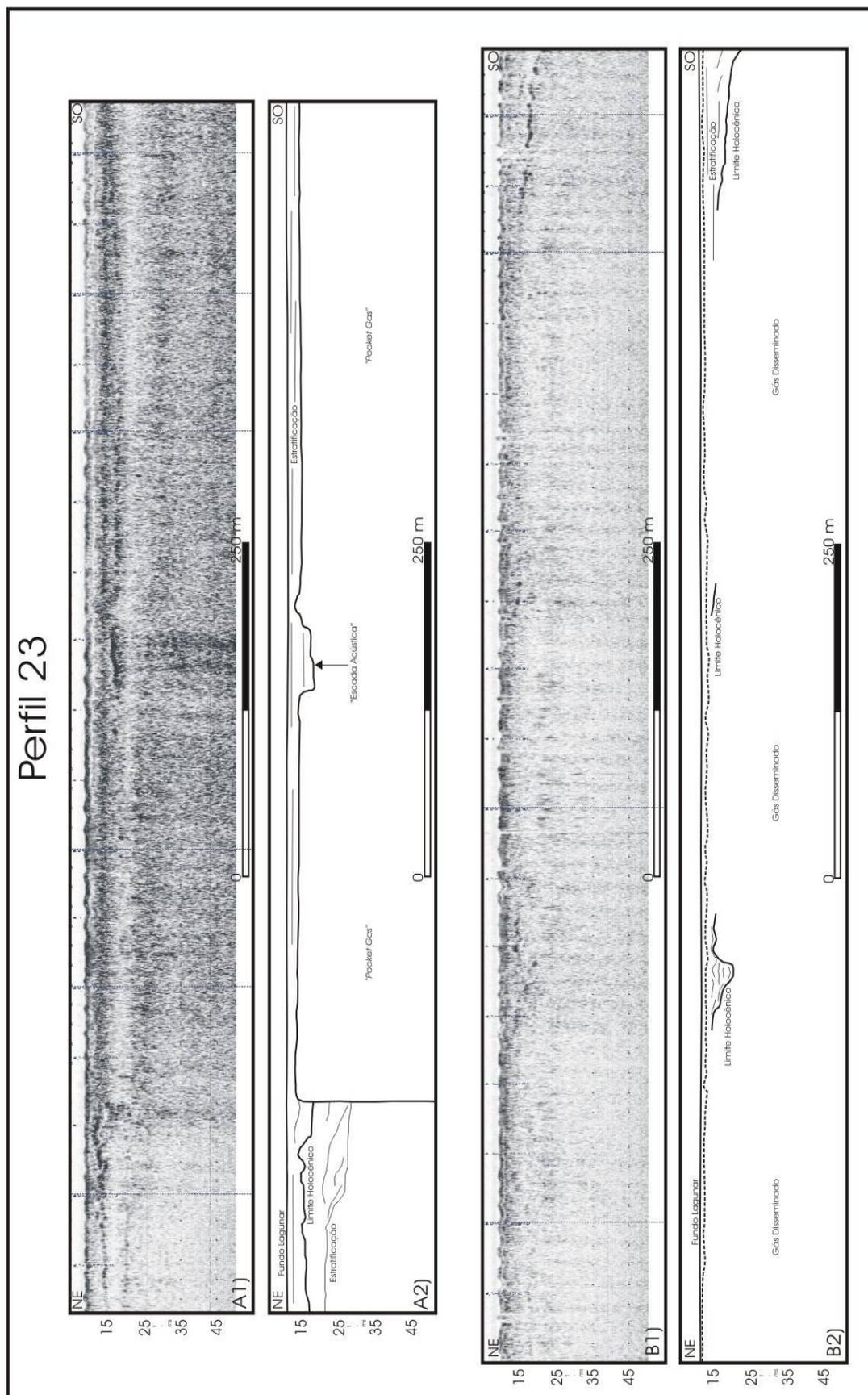


Figura 36: Trechos do Perfil 23. a1) e b1) Registro sísmico. a2) e b1); a2) e b2) interpretados.

Percorrendo-se mais 200 m, tem-se o quarto setor com mascaramento dos elementos arquiteturais deposicionais, devido à anomalias sísmicas causadas pela existência de gás nos sedimentos. Esse setor soma um total de 1,1 km de branqueamento acústico. Refletores plano-paralelos aparecem nos intervalos onde o gás não atua.

O quinto setor localiza-se 215 m após o setor anterior, apresentando características semelhantes ao quarto setor. Possui 220 m de extensão.

O sexto setor mostra, entre e acima do mascaramento, muitas múltiplas e refletores oblíquos sigmoidais (esses ocorrendo apenas acima da acumulação). Ele aparece após 275 m do quinto setor, atuando por 215 m, onde é claro o branqueamento acústico gerado pela presença de gás disseminado nos sedimentos locais.

O único bolsão de gás presente nesse perfil localiza-se 3,4 km após o sexto setor com branqueamento acústico e possui comprimento total de 755 m. Seu topo aparece inicialmente em 13,0 ms, permanecendo nessa profundidade até, praticamente, os últimos metros, onde então o topo desce rapidamente e de forma contínua para os 17,5 ms. Acima do bolsão é possível observar refletores plano-paralelos. Em suas laterais nota-se a presença de truncamentos erosivos, incisões, indicando que essa acumulação esteja localizada dentro de um paleovale.

Novamente, após 4,9 km sem acumulações de gás, é identificado um setor com “*Acoustic Blanking*”. O sétimo setor com esse tipo de anomalia acústica apresenta extensão total de 3,1 km.

Entre o sétimo e o oitavo setor são 435 m de intervalo sem acumulações expressivas de gás, onde está presente um forte refletor que inicia aos 15,0 ms. Trata-se de um truncamento erosivo em que sua base chega a alcançar os 27,0 ms.

O último setor com anomalias acústicas em decorrência da presença de gás possui 5,7 km de extensão. Devido ao fato de não formar um topo bem definido é possível identificar refletores que representam incisões, refletores de preenchimento desses canais, refletores plano-paralelos, e ainda, refletores oblíquos sigmoidais relativos à crescimento de pontais.

O fundo lagunar aparece aos 6,5 ms em seu início, chegando a 8,0 ms na parte central e voltando a subir em seu final, atingindo por fim, novamente, profundidade de 6,5 ms. A relação de distância entre o fundo lagunar e o gás só é claramente observada onde ocorre o bolsão de gás, ficando em um intervalo de 5,0

9,5 ms. O gás disseminado, como em perfis anteriores, pode chegar à base do fundo lagunar.

24. PERFIL 24

O perfil 24 está localizado na célula norte da Lagoa dos Patos, tendo seu início próximo ao pontal São Simão, na margem direita da laguna. Possui 16,3 km de extensão, orientados com direção E-O.

Esse perfil apresenta um total de três acumulações de gás raso na forma de bolsões. Todas as ocorrências estão presentes nos 2/3 finais do perfil.

Os refletores mais marcantes no registro sísmico durante os primeiros 3,2 km do perfil são múltiplas do fundo lagunar. Após esse primeiro segmento sem a significativa presença de gás, aparece o primeiro bolsão de gás. Esse bolsão tem extensão de 1,5 km, com seu topo inicial em 12,5 ms mas descendo rapidamente e chegando a profundidade de 15,0 ms ao seu final. É difícil a identificação de refletores acima e ao lado do bolsão, porém, pelo pouco que se pode observar, é possível registrar a presença de refletores múltiplos do fundo lagunar aos lados da acumulação e refletores plano-paralelos acima e aos lados do bolsão.

Entre o primeiro e o segundo bolsão são 460 m com a presença de múltiplas e refletores plano-paralelos. O segundo bolsão (Fig. 37) está localizado logo após esse trecho e apresenta 5,4 km de comprimento. Seu topo tem início em 17,5 ms subindo gradualmente para os 15,0 ms e mantendo-se assim por boa parte da extensão do bolsão, mas voltando para os 17,5 ms ao final da acumulação de gás. Os padrões de reflexão acima e aos lados do bolsão são, como no primeiro bolsão, refletores plano-paralelos acima e sinal múltiplo aos seus lados.

O último bolsão do perfil 24 aparece 3,4 km após o segundo bolsão. Possui 2,2 km de comprimento e topo constante em 20,0 ms. O padrão de refletores em seu entorno é o mesmo que nos bolsões anteriores.

O fundo lagunar aparece inicialmente aos 8,5 ms, descendo suavemente para profundidades de 9,0 ms, profundidade na qual se encontra ao final do perfil. As relações de distância entre o fundo e o primeiro bolsão de gás ficam em um intervalo que vai de 3,5 – 6,0 ms. No segundo bolsão essa relação se estabelece em um intervalo de 6,0 – 8,5 ms. Por fim, no terceiro bolsão essa relação de distância fica em 11,0 ms.

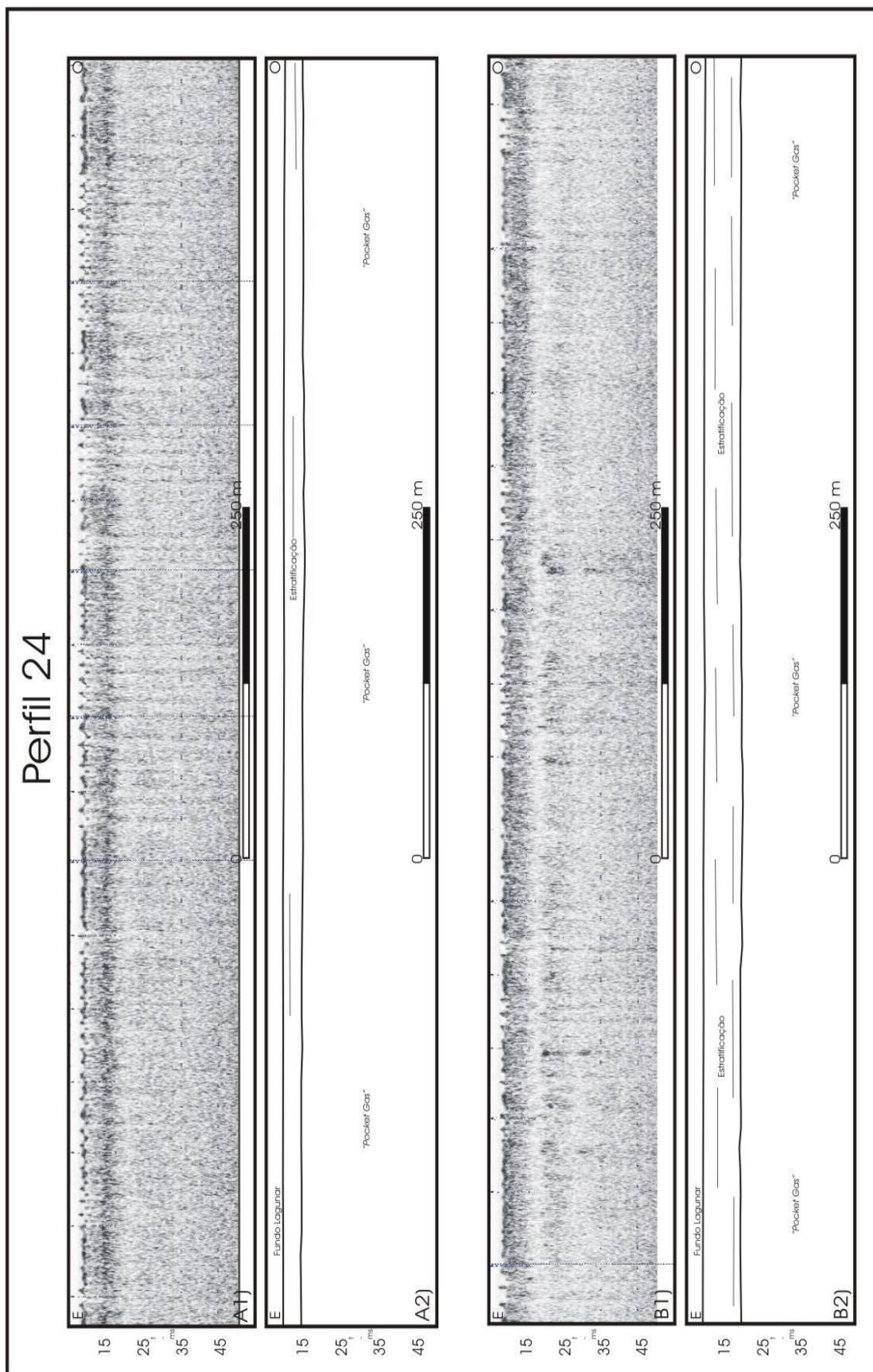


Figura 37: Trechos do Perfil 24. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

25 *PERFIL 25*

O perfil 25 está localizado bem ao centro da célula norte da Lagoa dos Patos. Seu início está alinhado com os pontais Santo Antônio e São Simão, estando seu final localizado nas proximidades do pontal das Desertas. Com 49,8 km de comprimento, orientados na direção SSO-NNE, é o maior dos 15 perfis sísmicos levantados na campanha de 2006.

Nesse perfil ocorrem oito setores com a presença de gás. Na primeira metade do perfil são cinco segmentos que mostram anomalias acústicas causadas por acúmulo de gás nos sedimentos. Primeiramente aparecem três bolsões, um setor com pequenos bolsões e janelas acústicas seguido de mais um bolsão de gás. A segunda metade do perfil possui três partes onde há a ocorrência de gás. São duas zonas com janelas acústicas e bolsões seguidas de um bolsão contínuo localizado na parte final do perfil.

O primeiro bolsão (Fig. 38) está presente desde o início da perfilagem sísmica e possui 5,5 km de comprimento. Seu topo encontra-se em 12,5 ms durante toda a extensão do bolsão. Acima do topo da anomalia acústica é difícil observar refletores devido à pequena distância entre o fundo lagunar e o topo do bolsão de gás. Refletores plano-paralelos e um refletor de grande continuidade lateral que aparece em 18,0 ms e depois lentamente atinge profundidades de 16,0 ms são vistos após o término abrupto da acumulação de gás.

O segundo bolsão ocorre 3,1 km após o primeiro. Possui 485 m de extensão e topo que inicia e termina em 12,5 ms, podendo atingir localmente 13,0 ms. Os refletores que o cercam são os mesmos do primeiro bolsão, mudando apenas a profundidade de ocorrência do refletor contínuo, anteriormente observado, que agora encontra-se em 17,0 ms.

O terceiro bolsão localiza-se 373 m distante do segundo bolsão. Tem extensão de 325 m e características idênticas ao seu antecessor, como topo em 12,5 ms.

910 m após o terceiro bolsão tem-se um setor com janelas acústicas e bolsões. São 3,8 km onde pequenos bolsões aparecem com topo em 12,5 e 13,0 ms. As janelas acústicas mostram os mesmos padrões de reflexão dos intervalos anteriores onde não havia a presença de gás no registro sísmico. O mesmo refletor contínuo visto nos quilômetros anteriores aparece novamente na profundidade de 17,0 ms.

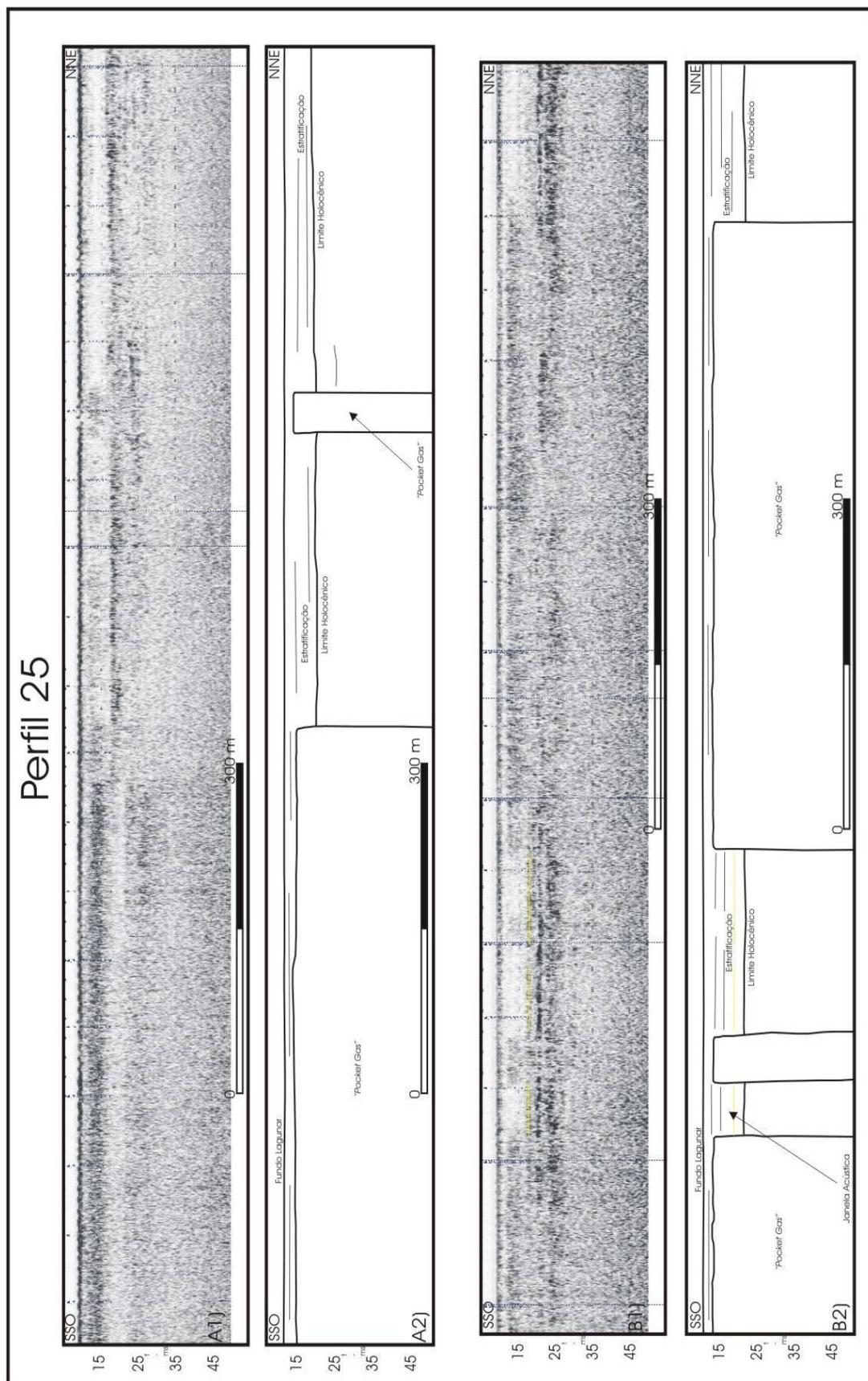


Figura 38: Trechos do Perfil 25. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

O quarto bolsão de gás está distante 5,4 km após o último setor relatado com a presença de gás. Possui 1,0 km de extensão e características semelhantes às acumulações anteriores em relação aos refletores que o cercam. Seu topo é encontrado em 12,5 ms e essa acumulação de gás está claramente encaixada em um paleovale, fato indicado pelo rebaixamento gradual do refletor contínuo na lateral esquerda do bolsão, alcançando 20,0 ms e reaparecendo aos 21,0 ms ao final do mascaramento dos elementos sismo-deposicionais pelo bolsão de gás.

Um sexto segmento com a presença de janelas acústicas e pequenos bolsões localiza-se 12,3 km após o quarto bolsão. Esse setor tem comprimento total de 1,6 km. O topo dos bolsões encontram-se em profundidade de 15,0 ms e é possível visualizar, nas janelas acústicas, refletores plano-paralelos e o refletor contínuo descrito anteriormente, apresentando-se na profundidade de 20,0 ms no início e centro desse segmento de bolsões e janelas acústicas, porém subindo gradativamente para 18,0 ms ao final desse trecho do perfil 25. Esse fato corrobora a idéia de que as acumulações de gás estão preferencialmente localizadas em paleovales.

Após mais 4,0 km sem a presença expressiva de anomalias acústicas devidas à presença de gás, encontra-se um novo setor com bolsões e janelas acústicas. Essa sétima parte do perfil, com a clara presença de gás, possui 150 m de extensão. São três bolsões separados por duas janelas acústicas. O primeiro bolsão apresenta feições em degraus (“escada”) onde o topo máximo aparece em 13,0 ms e o menor em 15,0 ms. O segundo e o terceiro bolsão apresentam seu topo em 15,0 ms. Nas janelas acústicas constata-se que o refletor contínuo frequentemente citado, mostra-se em 20,0 ms no início e fim desse setor. Refletores plano-paralelos e oblíquos também aparecem nessa parte do perfil.

O último bolsão dista 1,8 km do setor de bolsões e janelas acústicas que o antecede. Possui 2,9 km de extensão e topo em profundidade de 14,0 ms, constante do início ao final desse segmento. O mesmo refletor que estava anteriormente em 20,0 ms, continua nessa profundidade ao final do último pequeno bolsão dessa zona, porém sobe gradualmente até alcançar a base do fundo lagunar próximo ao final do perfil 25. Uma série de pequenos canais e múltiplas de fundo são observados dessa parte até o fim da aquisição sísmica dessa linha.

O fundo lagunar inicia em 9,0 ms, mantendo-se assim nos primeiros quilômetros. Desce então para os 10,0 ms nas partes centrais do perfil. Chega a atingir 11,0 ms do meio para o fim, e em suas últimas centenas de metros sobe rapidamente para os 7,5 ms próximo ao pontal das Desertas.

A relação de distância entre o fundo lagunar e o topo do primeiro bolsão fica em 3,5 ms. No segundo bolsão esse intervalo fica entre 3,5 – 4,0 ms. No terceiro bolsão essa distância fica em intervalos de 2,5 ms. Os bolsões do primeiro setor que mescla pequenos bolsões e janelas acústicas tem com o fundo lagunar uma distância que varia de 2,5 a 3,0 ms. No quarto bolsão a distância fica também em 2,5 ms. O segundo setor com janelas acústicas e bolsões mostra as acumulações de gás distando 5,0 ms do fundo lagunar. As últimas anomalias acústicas relativas á presença de gás mostram essa relação em 4,0 ms, excetuando o setor com feições em degraus, onde essa distância pode chegar aos 2,0 ms.

26 *PERFIL 26*

Localizado na entrada do estuário do Guaíba, o perfil 26 tem seu início próximo ao pontal das Desertas e final próximo ao pontal da Formiga. São 17,5 km de perfilagem sísmica, orientados com direção E-O.

O perfil 26 apresenta dois setores onde aparecem claramente reflexões sísmicas anômalas que representam a presença de gás nos sedimentos lagunares. Na primeira metade do perfil observa-se uma zona com pequenos bolsões de gás intercalados com janelas acústicas. Já na segunda metade do perfil é possível identificar um bolsão de gás, sem interrupções por janelas acústicas.

O primeiro setor onde se localizam pequenos bolsões e janelas acústicas (Fig. 39) dista 5,0 km do início do perfil. Antes desse segmento nota-se uma grande quantidade de pequenos canais e seus respectivos refletores preenchimento, bem como refletores plano-paralelos. A zona onde ocorrem bolsões e janelas acústicas tem comprimento de 1,2 km. Os bolsões alcançam a base do fundo lagunar e, por vezes, apresentem feições em formato de “V” em seu topo, onde rapidamente o topo desce com alta inclinação e novamente sobe com a mesma inclinação de descida, sendo que essa variação ocorre em escala de poucos metros. Nesses casos os bolsões apresentam o topo, na crista, junto ao fundo lagunar e no vale 2,5 ms abaixo do fundo lagunar, ficando na profundidade de 12,0 ms. Os bolsões da parte final desse setor tem o topo nas profundidades de 14,0 e 15,0 ms. Um refletor forte e contínuo aparece no início dessa parte do perfil com cerca de 13,0 ms, descendo suavemente para profundidades maiores até atingir 16,0 ms na última janela acústica desse segmento. Nas janelas acústicas é possível identificar

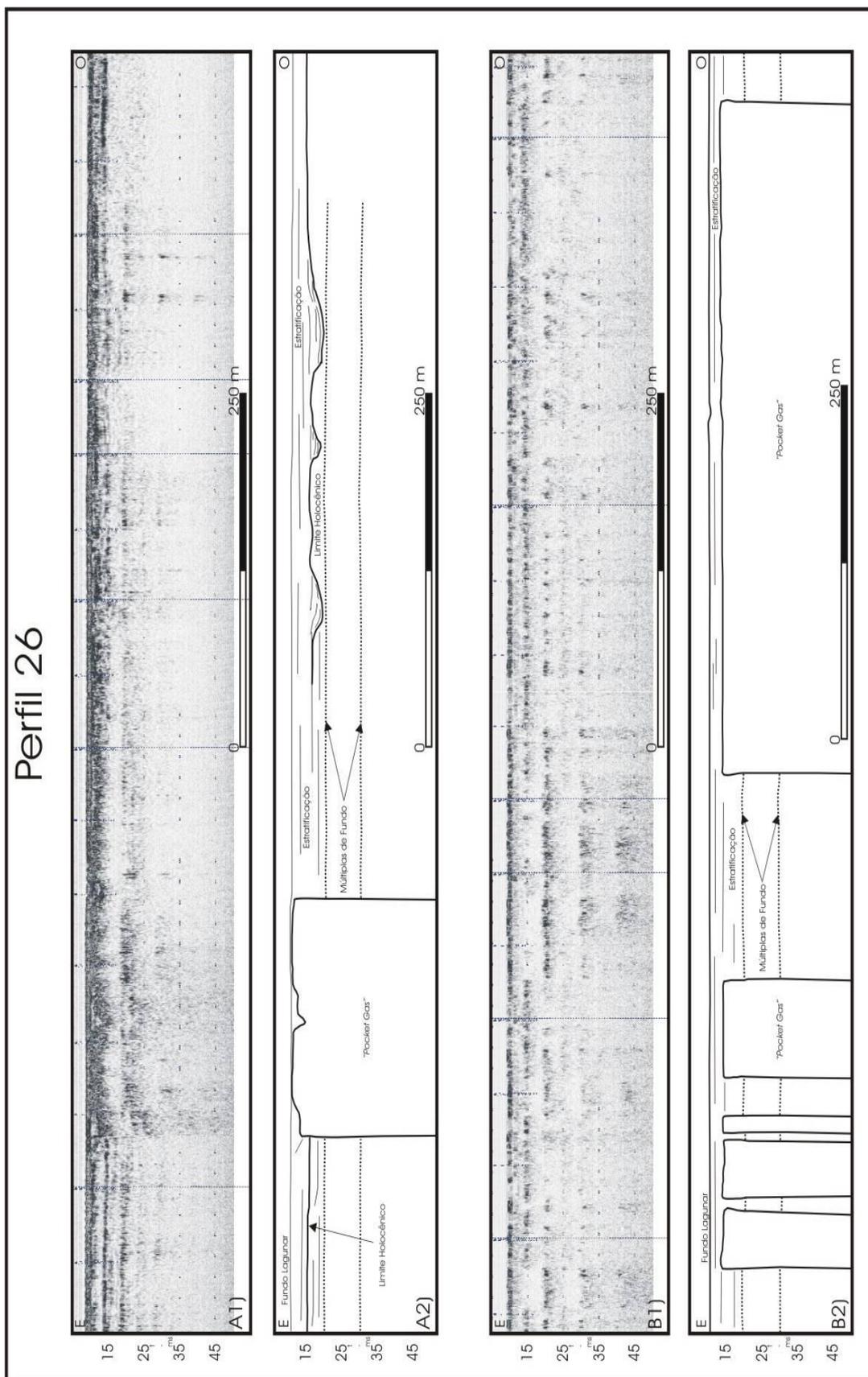


Figura 39: Trechos do Perfil 26. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

pequenas incisões, refletores plano-paralelos, bem como o refletor contínuo acima descrito.

No intervalo de 5,1 km entre os dois setores com presença de gás, os refletores mais notáveis são as múltiplas de fundo lagunar.

O bolsão que aparece após esse intervalo possui 3,1 km de extensão. Esse bolsão mostra seu tipo em 15,0 ms em seu início. Ao centro do bolsão tem-se o topo em 12,5 ms, mantendo-se assim quase até o final, quando em questão de dezenas de metros ele vai descendo em profundidade até atingir 16,0 ms ao final. Acima da acumulação só é possível observar refletores plano-paralelos. Após seu término, reaparece um forte e contínuo refletor anteriormente descrito novamente aos 13,0 ms.

A partir do bolsão até o final do perfil não são mais identificadas reflexões anômalas. Truncamentos erosivos, múltiplas, refletores plano-paralelos e oblíquos sigmoidais estão presentes nessa parte final do perfil 26.

O fundo lagunar inicia o perfil em 7,5 ms, desce até os 9,0 ms em sua parte central e novamente atinge 7,5 ms quando se aproxima do pontal da Formiga em seu final. Os bolsões de gás do primeiro setor estabelecem um intervalo de distância com o fundo lagunar de 0,0 – 6,0 ms. O bolsão presente na metade final do perfil 26 tem com o fundo uma relação de distância que vai de 3,5 até 7,0 ms.

27. PERFIL 27

O perfil 27 é o último dos 15 perfis sísmicos realizados na campanha de levantamento de dados do ano de 2006. Esse perfil está localizado na entrada do estuário do Guaíba, entre o pontal da Formiga e o farol de Itapuã. Possui 8,0 km de extensão, orientados na direção SO-NE, sendo o menor dos perfis realizados no ano de 2006.

Nesse perfil estão presentes três segmentos que mostram o acúmulo de gás nos sedimentos lagunares. Todas acumulações estão localizadas nas partes centrais da linha sísmica, sendo compostas por dois pequenos bolsões e um setor de maior expressão em termos de comprimento, onde o gás se apresenta sob a forma disseminada, sem uma camada selante contínua.

O primeiro bolsão (Fig. 40) está localizado 2,5 km distante do início do perfil. Possui extensão total de 120 m e topo em profundidade constante de 13,0 ms. Os refletores que aparecem acima da acumulação são do tipo plano-paralelos. É

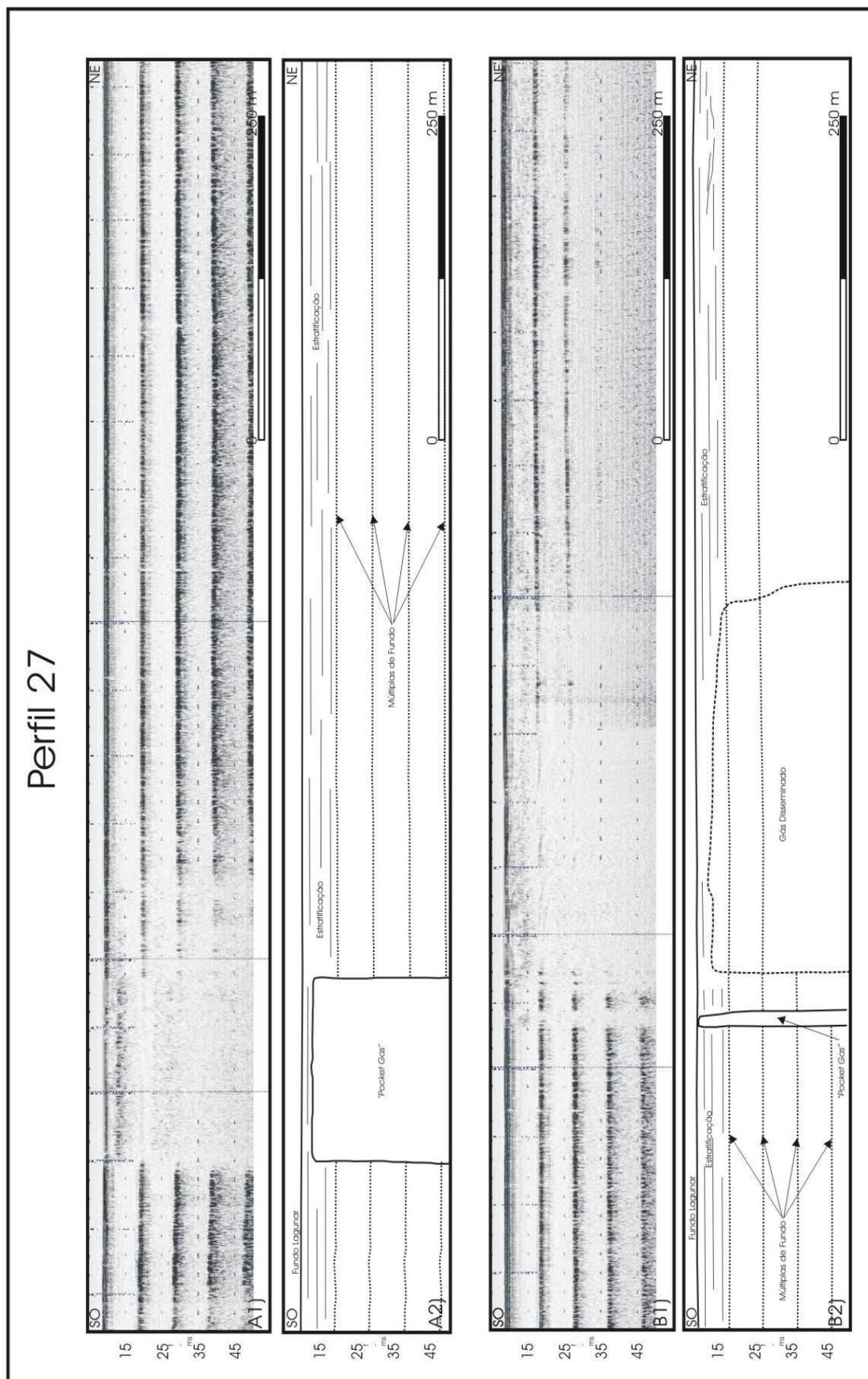


Figura 40: Trechos do Perfil 27. a1) e b1) Registro sísmico. a1) e b1); a2) e b2) interpretados.

notável a presença de múltiplas desde o início do perfil até o começo desse bolsão, inclusive após o seu final, seguindo com essas características por todo intervalo sem a presença de gás até o segundo bolsão.

Após um intervalo de 1,9 km com sinais múltiplos e refletores plano-paralelos, aparece o segundo bolsão. Esse bolsão possui 170 m de extensão e apresenta características semelhantes às do primeiro bolsão, tanto o topo quanto os refletores que o cercam.

O último setor que mostra a presença de gás no perfil 27 está 1,7 km distante do segundo bolsão identificado. É uma zona onde a feição sísmica “*Acoustic Blanking*” domina o registro sísmico por 535 m. Múltiplas, refletores plano-paralelos e oblíquos são identificados onde o gás não atua de forma intensa, sendo esses, os refletores que aparecem até o final do perfil. É importante salientar que em sua parte final o fundo lagunar encontra-se em profundidades de até 43,0 ms, fato esse devido à prováveis processos de dragagem executados para possibilitar a entrada de navegações de grande porte no interior do estuário do Guaíba.

De forma geral, excluindo-se o fato acima exposto, o fundo lagunar inicia o perfil em 7,5 ms próximo ao pontal da Formiga, descendo para profundidades médias de 9,0 ms em sua parte central e encerrando o perfil na profundidade de 6,0 ms, próximo ao faro de Itapuã. A relação de distância entre o fundo lagunar e o topo dos dois bolsões encontrados no perfil 27 fica em 4,0 ms.

28. PERFIS DE 7,0 kHz

Perfis do projeto “Evolução Paleogeográfica do Quaternário Costeiro-Marinho da Margem Continental Sul-brasileira”, conduzido por pesquisadores do CECO/UFRGS (Toldo e Dillenburg, 1993; Toldo, 1994; Toldo *et. al.*, 2000), posicionados em locais e direções distintas dos 27 perfis de 3,5 kHz, foram utilizados no presente trabalho para uma melhor determinação das áreas onde o gás raso ocorre. Devido à mudança nos equipamentos e parâmetros de aquisição (frequência de 7,0 kHz) e conseqüente mudança na qualidade do registro sísmico adquirido, esses perfis não serão aqui detalhados. Apenas notáveis acumulações de gás foram consideradas para efeitos de mapeamento do gás raso presente no substrato da Lagoa dos Patos. A figura 41 mostra a qualidade do registro de um dos perfis adquiridos com a frequência de 7,0 kHz.

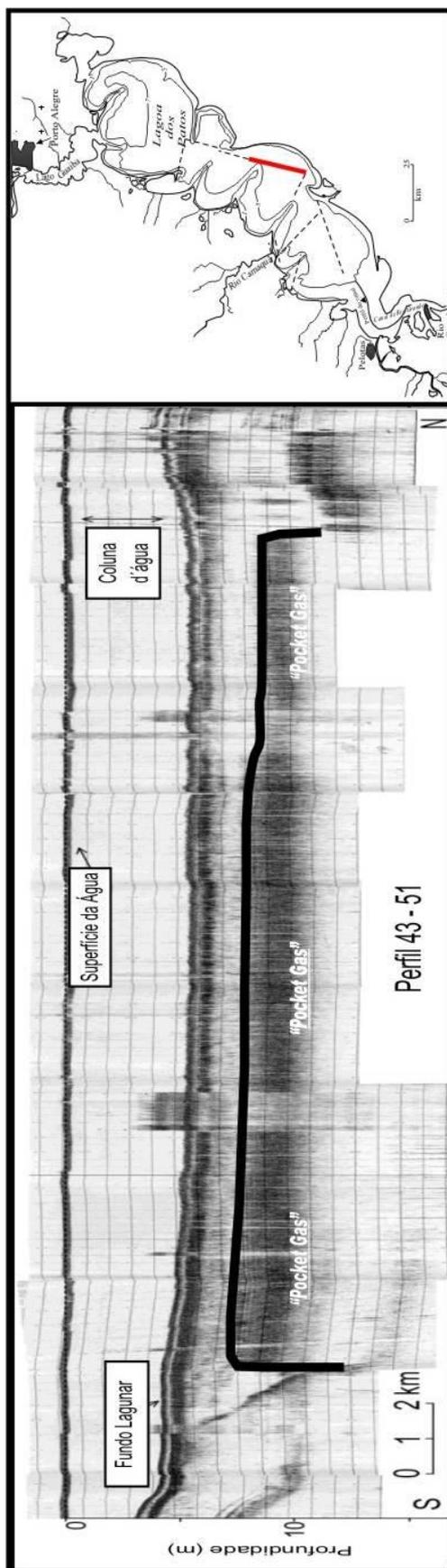


Figura 41: Registro sísmico de 7,0 kHz na margem leste da Lagoa dos Patos (S-N).

29. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS FIGURAS

O seguinte mapa (Fig. 42) apresenta a localização dos segmentos usados para a representação dos 27 perfis sísmicos de 3,5 kHz em figuras que mostram as anomalias sísmicas indicativas da presença de gás nos sedimentos do substrato da Lagoa dos Patos.

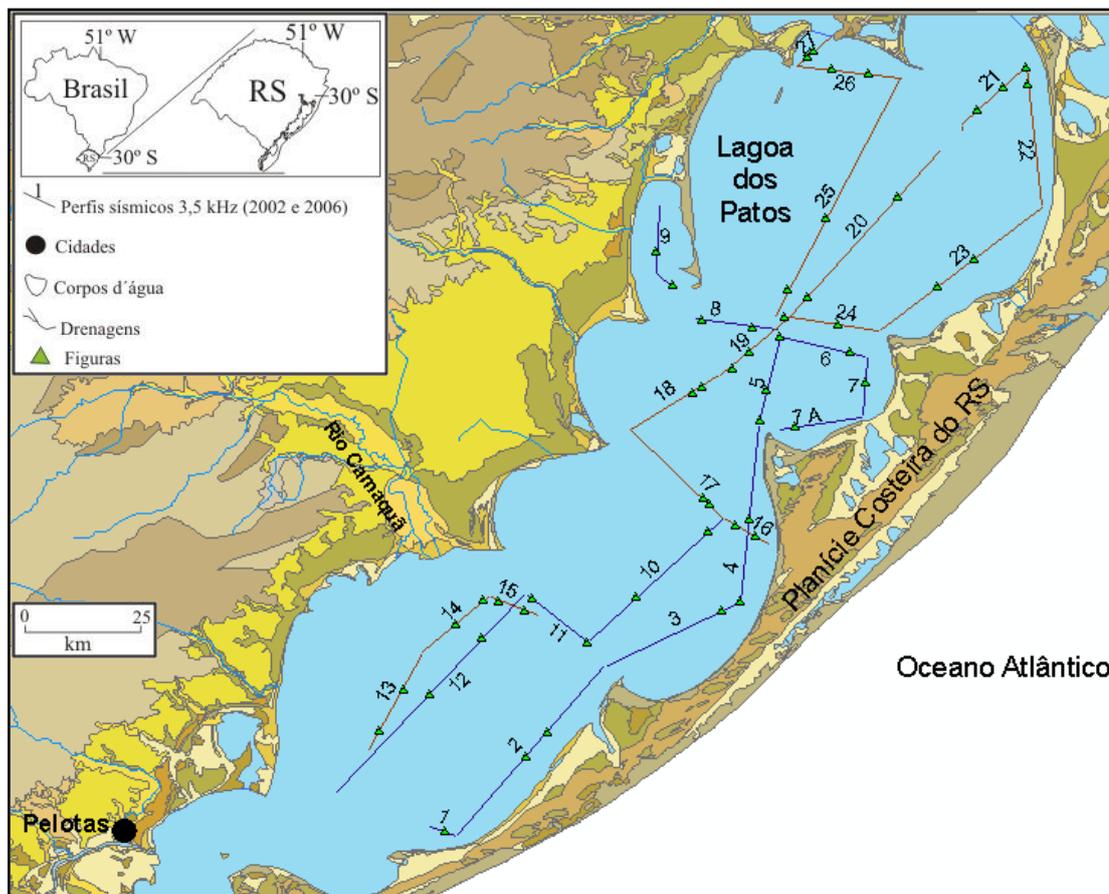


Figura 42: Localização das figuras dos 27 Perfis sísmicos levantados na Lagoa dos Patos.

30. MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DO GÁS RASO

Foram gerados três mapas com a distribuição do gás raso presente no substrato da Lagoa dos Patos. O primeiro deles (Fig. 43) representa as acumulações identificadas em perfis sísmicos adquiridos na frequência de 3,5 kHz. O segundo mapa (Fig. 44) mostra as ocorrências de gás raso presentes nos perfis de 7,0 kHz. O terceiro mapa (Fig. 45) integra os dados dos perfis de 3,5 e 7,0 kHz, gerando uma visualização de todas as acumulações observadas e inferidas de acordo com os registros sísmicos obtidos.

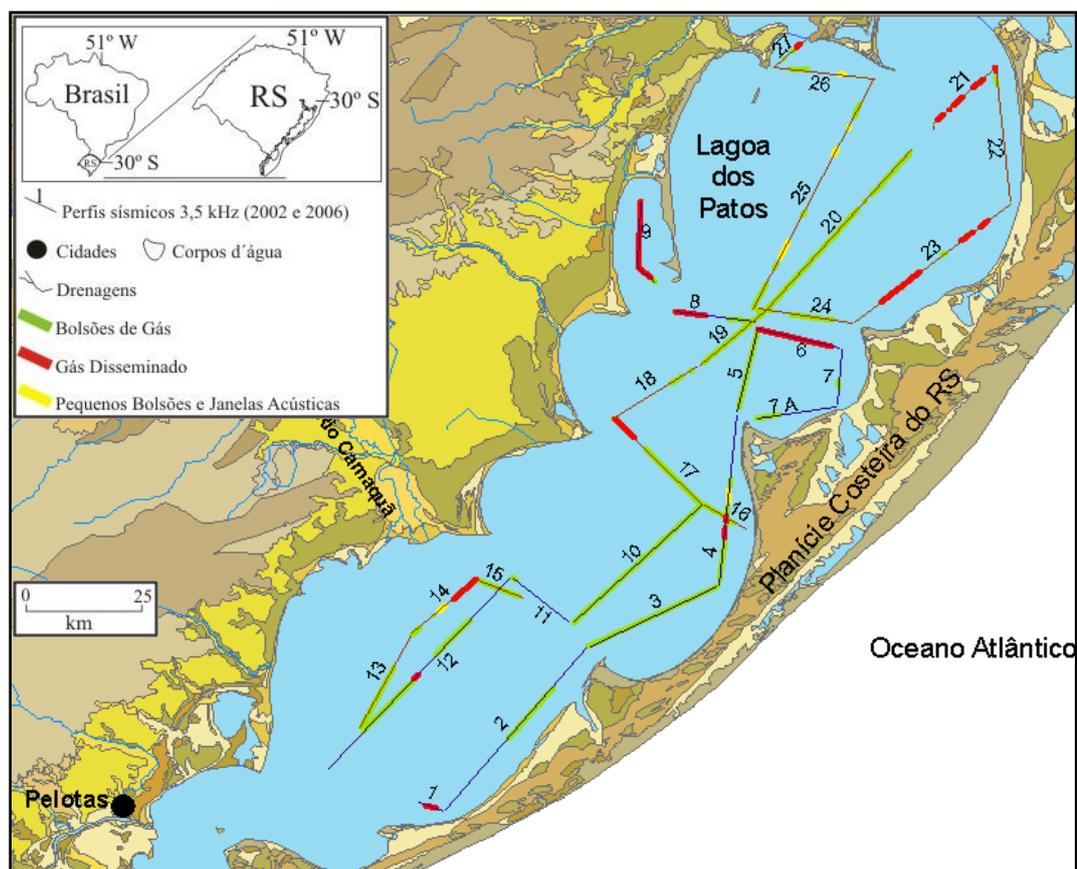


Figura 43: Distribuição do gás raso presente no substrato da Lagoa dos Patos observado em perfis de 3,5 kHz.

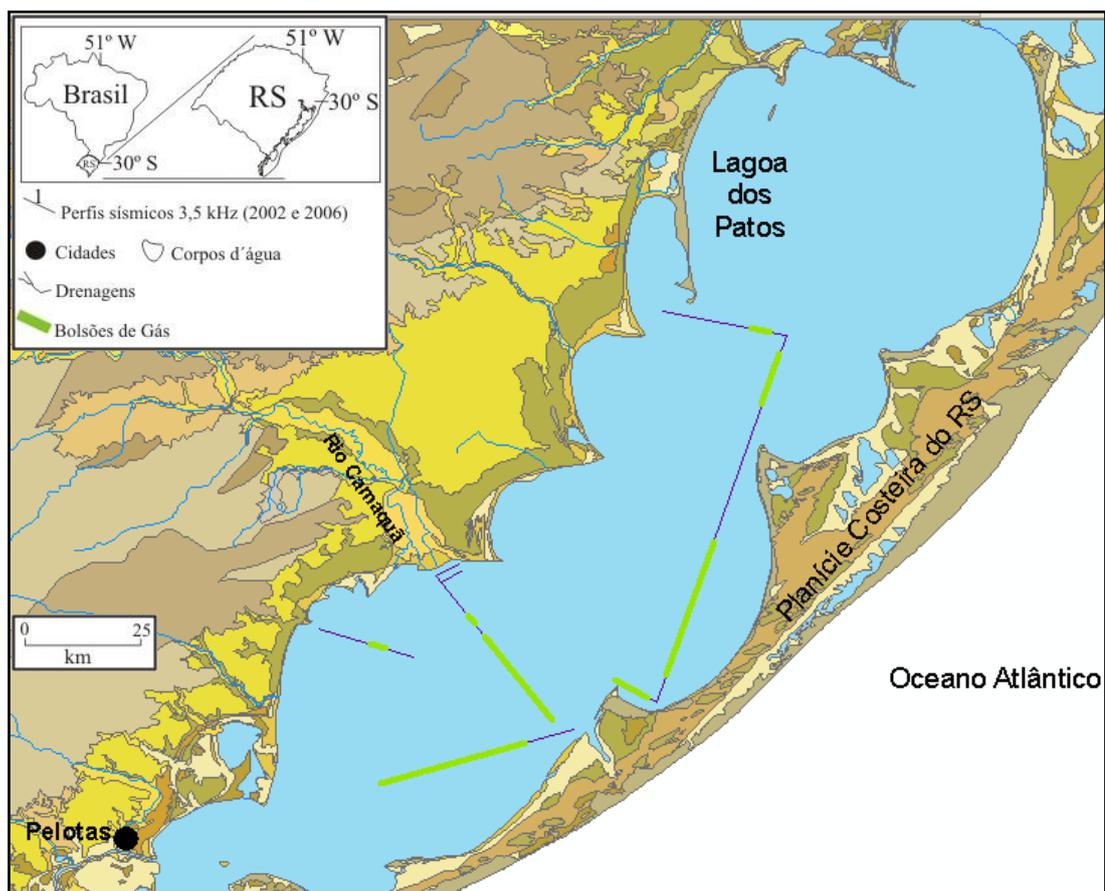


Figura 44: Distribuição do gás raso presente no substrato da Lagoa dos Patos observado em perfis de 7,0 kHz.

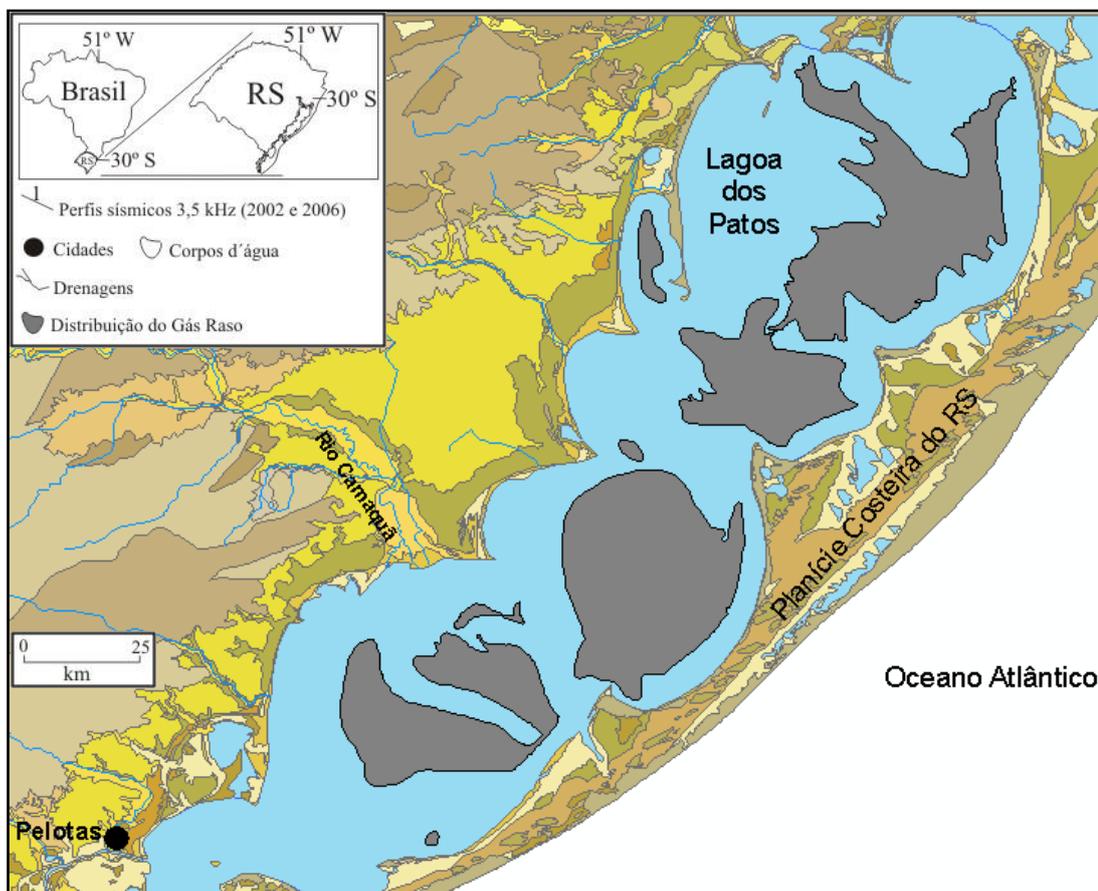


Figura 45: Mapa com a distribuição das acumulações de gás inferidas e observadas nos perfis de 3,5 e 7,0 kHz.

V. DISCUSSÕES

A análise sísmica de dados de alta resolução é uma ferramenta importante para o mapeamento das feições indicativas de gás raso, caracterizadas por sua impedância acústica anômala, configuração interna e terminações laterais características. Estudos sísmicos em diversas regiões do globo sobre a presença de gás raso em sedimentos lagunares e marinhos têm utilizado espectros de frequência entre 2,0 e 12,0 KHz

Os trabalhos anteriores sobre o tema em questão, geralmente, mostravam-se puramente descritivos. Procurou-se neste estudo estabelecer vínculos do gás com outras características presentes no substrato, como paleodrenagens, paleotopografias e distribuição dos sedimentos de fundo.

Todos estes elementos analisados conjuntamente podem fornecer novos subsídios para a compreensão da formação e acumulação de gás raso em ambientes costeiros semelhantes.

1. OCORRÊNCIAS MUNDIAIS DE GÁS RASO

Ocorrências de gás em pacotes sedimentares têm sido detectadas por prospecção sísmica de alta frequência em diversos ambientes costeiros do mundo (Garcia-Garcia *et al.*, 1999; Kariiddaiah *et al.*, 1992; Manley e Flood, 1989; Papatheodorou *et al.*, 1993; Park *et al.*, 1991; Taylor *et al.*, 2000). Dados geofísicos têm revelado características de turbidez acústica nos sedimentos acumulados no Holoceno representando escape de gás e mostrando também acumulações de gás raso do tipo “*pockmarks*” no fundo marinho, caso da Ria de Vigo no noroeste da Espanha (Garcia-Gíl, 2005). Na região costeira da Argentina foi relatada a presença de sedimentos carregados de gás no estuário do Rio de La Plata (Parker e Paterlini, 1990), no setor interno do golfo San Matias (Aliotta *et al.*, 2000) e no estuário de

Bahia Blanca (Aliotta *et al.*, 2002). No Brasil, a ocorrência de gás nos sedimentos tem sido identificada principalmente através de anomalias acústicas em registros sísmicos. Foram identificadas ocorrências de gás em regiões marinhas profundas, como na Plataforma Continental do Amazonas (Costa *et al.*, 1998; Figueiredo *et al.* 1996), e em ambientes costeiros mais protegidos, como na Baía de Guanabara (Baptista Neto *et al.*, 1996; Quaresma *et al.*, 2000).

A interpretação de registros sismo-acústicos (Garcia-Gil, 2003b) tem permitido o mapeamento de acumulações de gás raso e feições de escape de gás nas Rías Baixas (Espanha). O mapeamento das áreas de fuga de fluido mostram que as mesmas estão relacionadas a acumulações de gás ou a intersecção de falhas. Análises (GC-MS) de amostras de bolhas coletadas na baía de San Simón (Ría de Vigo) e em toda a Ría confirmam a presença de metano. A distribuição espacial dos escapes/acumulações de gás e sua variação vertical são interpretadas como evidência de um controle de fácies sedimentares. A aparição de minerais autigênicos (gipso, pirita e aragonita) e atividade microbiológica relacionadas as fácies selantes são tomadas como evidências de atrelagem de processos biogeoquímicos. É evidente que esses ambientes costeiros de águas rasas produzem contribuições significativas para a taxa de metano na hidrosfera e atmosfera. É também sugerido que a atividade microbiológica é favorecida pelos escapes de gás.

Na parte holandesa do Mar do Norte, as expressões de superfície observadas são do tipo “*pockmarks*”, as quais possuem também características indicativas para escapamento de gás no fundo marinho. Há também ocorrências de gás que sofrem um eficiente trapeamento do gás nos reservatórios arenosos. Pontos rasos e brilhantes e “*flat spots*”, são fenômenos que indicam migração ou escape do gás até o assoalho marinho. Essas anomalias acústicas presentes no Mar do Norte incluem ainda chaminés de gás, sendo as mesmas de pequena dimensão e localizadas. O gás encontrado no local é dito como tendo origem biogênica, embora devido às muitas características observadas, pode ser relacionado também como gás termogênico (Schroot e Schüttenhelm, 2003).

Áreas com acumulações de gás e afloramentos de gás, onde gás escapa do fundo marinho para coluna d'água, foi mapeada no preenchimento de um vale inciso submarino (Garcia-Gil *et al.*, 2002), a Ría de Vigo (Espanha). As diversas feições de gás encontradas foram classificadas em quatro tipos, de acordo com suas assinaturas sísmicas específicas: (1) “*Acoustic Blanket*” (cobertor acústico), (2) “*Acoustic Curtains*” (cortinas acústicas), (3) Colunas Acústicas e (4) Turbidez

Acústica. Ao mesmo tempo, três tipos de feições de escape de gás foram distinguidas: (1) Plumaz Acústicas, (2) “*Cloudy Turbidity*” (Turbidez Nebulosa) e (3) “*Pockmarks*”. Estimativas dos fluxos de gás em direção à atmosfera variam de 144,37 a 4134,9 t/ano. Admite-se que as fácies sedimentares são o principal fator determinante, sejam acumulações ou afloramentos de gás, e também determinam o tipo específico de acumulação ou afloramento para cada local.

A parte Sul do Mar da China constitui-se de uma margem continental passiva, a qual inclui unidades geológicas como plataforma, talude e uma bacia marinha profunda e contém valiosas aparições de óleo e gás. “*Pocket gas*” (“bolsões de gás”) são encontrados na área de águas rasas ao longo da costa sudoeste da Ilha de Hainan, onde a profundidade da lâmina de água geralmente alcança um máximo em 50 m. Chaminés de gás podem ser encontradas no assoalho marinho, mostrando uma zona de “*blanking*” (clareamento) nos perfis sísmicos, localmente apresentando “*pit holes*” (buracos). Análises geoquímicas mostram que a composição do gás é predominantemente metano, pertencendo ao típico gás termogênico. Os pacotes de gás, bem como o gás raso, presentes na parte norte do Sul do Mar da China são originados principalmente a partir fontes profundas, migrando através de uma zona de diápiros ou falhas ativas. Sua distribuição e ocorrência possuem relação direta com o tipo da rocha geradora, maturidade e da tectônica ativa na bacia (Li e Jin, 2003).

Pesquisas com sísmica de alta resolução (Okyar 1999) realizadas na plataformas de Trabzon (SE do Mar Negro) mostram que a estratigrafia do sub-fundo consiste de duas seqüências deposicionais principais (A e B), cada qual contendo zonas de turbidez acústica. A seqüência deposicional superior (A) supõem-se ser representativa de sedimentos holocênicos, enquanto a a seqüência deposicional inferior (B) é interpretada como a superfície erosional pré-holocênica. A turbidez acústica observada nos perfis sísmicos é interpretada como indicativa de acumulações de gás nos sedimentos da seqüência deposicional superior. Investigações geoquímicas prévias na área mostram que a turbidez acústica é proveniente de gás metano biogênico em forma de bolhas. Com base nas hipóteses publicadas sobre a geração do metano, é sugerido que o limite superior da zona de turbidez acústica nos perfis sísmicos corresponda ao limite entre a zona sulfato-redutora biogênica e a zona subjacente carbonato-redutora. Além da turbidez acústica, há também algumas anomalias como pontos brilhantes que também são interpretados como provenientes da presença de gás metano dentro da seqüência

deposicional superior observada no registros sísmicos coletados na plataforma de Trabzon.

Dados sísmicos de alta resolução revelaram a presença de ocorrências de gás raso na forma de assinaturas sísmicas anômalas, como um mascaramento acústico, turbidez acústica e um clareamento acústico (“*acoustic blanking*”) e “*gas seepages*” na parte central da plataforma continental e plumas de gás, “*gas seepages*” e caixotes (“*pockmarks*”) na parte mais alta do talude continental oeste da Índia (Veerayya, 2004). Segundo Veerayya (2004), reflexões sísmicas de alta amplitude e velocidade distinta de *pull-down* nas estruturas ou “*gas sags*” sugerem sedimento carregados de gás.

Investigações por sísmica de reflexão de alta resolução ao longo da costa belga (Missiaen *et al.*, 2002) tem revelado uma extensa área marcada por uma pobre penetração sísmica que, provavelmente, é causada pela presença de gás raso. Admite-se uma origem biogênica para esse gás, e sua distribuição geográfica está vinculada a uma ampla faixa orientada aproximadamente paralela à costa. A principal origem do gás poderia de alguma forma estar relacionada com a presença de uma rasa e fina camada rica em turfa do Pleistoceno final/ Holoceno inicial. As altas taxas locais de sedimentação favorecem também a formação de gás nos sedimentos holocênicos finos e rasos. As feições relacionadas ao gás observadas nos perfis sísmicos incluem turbidez acústica, “*blanking*”, fortes refletores múltiplos e, em menor quantidade, manchas brilhantes e fases de reversão. A morfologia do fundo marinho não revela nenhum escape claro de gás, embora existam algumas indicações locais de afloramentos de pequenas bolhas ou gás dissolvido na coluna d'água. O topo da camada acusticamente turva está localizada entre 0 e 7 m abaixo da superfície do fundo marinho. Ela geralmente forma uma nítida fronteira, muitas vezes marcada por uma variação devida a diferentes níveis de penetração de gás que poderiam estar relacionados com a litologia dos sedimentos subjacentes. As características sísmicas e a velocidade dos dados parecem sugerir uma baixa concentração de gás, provavelmente inferior a 1%.

No norte de Alberta (Canadá), a exploração de gás raso a partir de sedimentos quaternários tem sido efetiva desde 1998. Grandes vales pré-glaciais estão presentes por todo norte de Alberta com a espessura do leito de mais de 200m. O leito, em geral, consiste de seqüências fluviais alternadas que podem formar tanto aquíferos como reservatórios de gás, e tills ricos em argila e camadas glaciolacustrinas as quais formam aquíferos e/ou rochas selantes (Pawlowicz e Fenton, 2005).

A baía de San Simón, na parte mais interna da Ría de Vigo (Espanha), é caracterizada pela abundância de muitas acumulações de gás (Iglesias e Garcia-Gil, 2007) e afloramentos de metano. Durante as expedições de abril-junho-setembro de 2004 dentro do projeto Spanish-Funded Gs 2g, foi desenvolvido um estudo de detalhamento de sísmica de alta resolução e investigações de campo sobre o gás raso. A área de superfície e a profundidade da frente de gás dos campos de gás raso foram mapeadas e quantificadas na baía interna da Ría de Vigo. Este campo de gás sobrepõem-se espacialmente a distribuição da lama do Holoceno dentro da Baía. Registros sísmicos mostram 3,6 km² afetados por turbidez acústica, sendo que essa superfície pode ser estendida para mais de 9,6 km² da área lamosa de inframaré de San Simón. Diferentes anomalias acústicas foram identificadas e interpretadas como sendo devidas à escapes de gás provenientes dos sedimentos do presente fundo marinho. A alta resolução dos dados sísmicos tornou possível identificar um novo tipo de afloramento, nomeado de Fumaça Acústica (“*Acoustic Smoke*”). Uma relação direta pode ser observada entre as frentes de gás das acumulações e as feições de escape, tanto em afloramentos acústicos como em “*pockmarks*”. O fluxo de metano tem sido estimado no ambiente de inframaré em San Simón baseado nos alvos acústicos detectados e medições diretas do atual fluxo de bolhas. O total estimado do fluxo de metano do fundo marinho para coluna d'água varia de 10,1 a 48,8 t/ano, e na atmosfera de 7,0 a 34,2 t/ano. O ambiente intermarés de San Simón também está ventilando metano ativamente, como é indicado pela presença de borbulhamento durante a alta maré e machas brancas de *beggiatoa sp.*

A presença de gás raso nos sedimentos marinhos das Rías Baixas da Galícia, localizadas na margem passiva Atlântica do sudoeste da Galícia (NW da Espanha) produz um efeito significativo em seu comportamento geoacústico (García-Gil *et al.*, 2003). Ainda segundo esses autores, a distribuição espacial dos escapes de gás, das acumulações de gás e suas variações verticais são interpretadas como evidências controladas pelas fácies sedimentares, de sua permeabilidade e quantidade de gás dentro delas. As maiores concentrações de gás encontram-se na intersecção dos principais sistemas de falhas.

Para quantificar a distribuição do gás livre em sedimentos marinhos rasos (Fleischer *et al.*, 2001) foram identificados e indexados mais de 100 casos documentados na literatura científica e de engenharia. Turbidez acústica, visualizada em registros sísmicos, é frequentemente a evidência mais citada para inferir a presença de gás no fundo marinho. O metano biogênico predomina dentro

desses depósitos rasos de sub-fundo. Devido à sua ampla distribuição mundial os sedimentos marinhos gasosos podem ter profunda significância científica, ambiental e em engenharia.

Na Ría de Arousa, acumulações de gás e gás infiltrado no preenchimento sedimentar são claramente detectados por dados de sísmica de alta resolução, onde dois principais tipos de acumulações de gás foram distinguidas: um branqueamento acústico (com extensão lateral variando variando de 400m até 3856m) e cortinas acústicas (topo convexo e extensão lateral variando entre 100 e 300m) (Ferrín *et al.*, 2001).

Acumulações de gás no preenchimento sedimentar da Ría de Muros (Magariños *et al.*, 2001) foram facilmente detectadas por dados de sísmica de alta resolução e três tipos principais de acumulações de gás foram observadas: branqueamento acústico (tendo extensões quilométricas); cortinas (topo convexo e extensão lateral de centenas de metros); e, turbidez acústica. O mapeamento dessas características revela a presença de extensos campos de acumulações de gás desde o assoalho marinho até 17ms (milissegundos). Quando as acumulações de gás se encontram próximas ao assoalho marinho é muito freqüente a aparência de campos como “*pockmarks*” (caixotes).

Expressões de gás raso em superfície e subsuperfície foram descritas utilizando dados adquiridos da Pesquisa Nacional Irlandesa do Fundo Marinho da Bacia de Malin (Monteys *et al.*, 2005) no noroeste da plataforma continental irlandesa. Registros de Sonar Batimétrico revolaram depressões hemisféricas na superfície do fundo marinho, interpretadas como “*pockmarks*”. “*Pockmarks*” são feições geomorfológicas no fundo marinho que indicam a presença de ventilação (escape) de gás. Esses “*pockmarks*” ocorrem em profundidades de menos de 140 m, ou até 180 m na depressão de Malin. Uma classificação regional acústica do fundo marinho, utilizando variadas técnicas, indica que a superfície sedimentar do fundo marinho na área de estudo é primariamente composta de areia lamosa na região profunda de Malin e areias conchíferas finas a grossas nas outras áreas. Perfis sísmicos rasos provém a evidência primária de que o escape de gás é o responsável pelas formações dessas “*pockmarks*”. As expressões de subsuperfície encontradas na sísmica rasa indicam também o trapeamento do gás em reservatórios arenosos (na forma de “*gas blanking*” e padrões anômalos de reflexão) e migração de gás para o fundo marinho (como chaminés de gás).

A presença abundante de gás raso nos sedimentos quaternários do substrato da Lagoa dos Patos tem sido evidenciada recentemente, de forma

inovadora, através do estudo de dados sísmicos de alta resolução (3,5 e 7,0 kHz) (Weschenfelder, 2005; Weschenfelder *et al.*, 2005a; Weschenfelder *et al.*, 2005b; Weschenfelder *et al.*, 2006; Vasconcellos *et al.*, 2006), onde são identificadas feições como bolsões de gás e gás disseminado nos sedimentos.

Pesquisa sísmica realizada em 2000 pelo R V Maurice Ewing foi utilizada para mapear a arquitetura estratigráfica no intervalo do Quaternário da plataforma externa e talude superior da região de Canterbury (SE da Nova Zelândia). Os elementos sísmicos estratigráficos foram definidos, intervalos sísmicos mapeados e possíveis feições relacionadas à ocorrências de gás (turbidez acústica) investigadas (Ferrín *et al.*, 2005). Os resultados indicam que há uma variedade considerável de fácies sísmicas presentes no Quaternário do Cabo de Canterbury. Essas fácies são largamente controladas pelo “interplay” de sucessivas mudanças do nível do mar e suprimento sedimentar ao longo do tempo. É proposto que a turbidez acústica observada pode estar relacionada com a presença de gás dentro do preenchimento sedimentar do talude superior da plataforma externa. O gás aparece preferencialmente em acumulações dentro dos sedimentos de trato de sistema transgressivo (TST). O sedimento presente dentro do TST provavelmente é areia, o qual favorece a acumulação de gás. A superfície da turbidez acústica pode representar uma transição de sedimentos grosseiros (onde o gás acumula) para sedimentos finos (selando a acumulação). A ausência de assinaturas sísmicas da presença de gás na parte sul da área de estudo pensa-se ser o resultado da erosão por fortes correntes paralelas à costa e/ou erosão pelas ondas. Não há dados diretos avaliáveis para essas acumulações de gás, mas é inferido que o gás acumulado abaixo da plataforma externa se Canterbury deva ser de origem biogênica.

Gás raso na parte central do estreito lamoso da plataforma da Coreia (Lee *et al.*, 2005) ao longo do sudeste coreano, revelado por Chirp e perfis Sparker, está associado com “acoustic blanking”, turbidez acústica, escapes, e plumas na coluna d'água. Nos perfis Chirp, o “acoustic blanking” é caracterizado por uma forte reflexão de topo e completo mascaramento do registro sísmico subjacente. Esta é a feição dominante, cobrindo cerca de 60% da área pesquisada. A turbidez acústica é caracterizada pelo topo da reflexão muito difuso, parcialmente mascarando o registro abaixo. Nos dados Sparker, a baixa velocidade dos sedimentos carregados de gás causa “pulldowns” de velocidade abaixo do “acoustic blanking” e da turbidez acústica. Assumindo-se que a velocidade dos sedimentos carregados de gás seja de 800 m/s, como medido *in situ*, o modelamento do efeito da velocidade do gás

prediz que cerca de 70% do sedimento abaixo do “acoustic blanking” é carregado em gás, a velocidade desses sedimentos é de cerca de 930 m/s.

Um total de 98 km de linhas sísmicas foram adquiridos no golfo de Morbihan (Perez-Belmonte *et al.*, 2005), localizado no sul da Brittany Coast (NO da França), e interpretados em detalhe para descrever as unidades sísmicas e detectar assinaturas de acumulações de gás. O registro foi adquirido usando alta resolução a 3,5 kHz, permitindo uma resolução muito boa (menos que 25 cm) com boa penetração (20 m em areia e até 40 m em lama). A interpretação dos perfis sísmicos (98 km) mostrou que 35 km deles são afetados pelo mascaramento gasoso. A alta resolução desses registros permitiu distinguir diferentes assinaturas sísmicas como: “acoustic blanking”, cortinas acústicas, colunas acústicas, plumas acústicas e turbidez acústica. Análises da distribuição do gás raso mostram que o gás acumula preferencialmente ao longo dos eixos dos principais canais estuarinos pesquisados (Rio Auray) bem como para os canais de inframaré que drenam o golfo. Análises de amostras superficiais confirmam que as fácies lamosas estão estreitamente relacionadas com as ocorrências do gás raso no golfo de Morbihan.

A Ría de Aveiro é constituída de uma barreira-laguna de 50 km², localizada no noroeste de Portugal, na desembocadura do Rio Vouga. A geologia de campo revela dunas, praia e sedimentos lagunares de idade Quaternária, compostos essencialmente por areias e argilas inconsolidadas. Diversos tipos de feições relacionadas à acumulação de gás metano (Duarte e Pinheiro, 2005) e/ou migração foram identificadas em seções sísmicas, como: turbidez acústica, reflexões reforçadas, reflexão pull-down, sinal faminto, colunas acústicas, “acoustic blanking”, domos afetando a morfologia de fundo, plumas na coluna d'água, “pockmarks” soterrados e perturbações das reflexões provavelmente causadas por fraturamento hidráulico relacionado com a sobrepressão de fluído e, migração. A maioria dessas evidências foi observada em sedimentos do Quaternário.

2. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

A interpretação, do ponto de vista geológico, está voltada para as feições geológicas que podem ser extraídas da linha sísmica, como estruturas e a estratigrafia. Para que se obtenha uma interpretação sísmica fiel é necessário que as feições inferidas numa seção sísmica sejam representativas dos sedimentos em subsuperfície.

A utilização de técnicas de interpretação sismoestratigráfica à análise de bacias sedimentares resultou numa nova maneira de subdividir, correlacionar e mapear rochas sedimentares. Essa técnica é chamada de estratigrafia de seqüências (Emery e Myers, 1996). A aplicação desse procedimento a uma malha de seções sísmicas permite agrupar refletores sísmicos em pacotes que correspondem a intervalos geneticamente interligados, limitados cronoestratigraficamente. Tais intervalos são chamados de seqüências e suas subdivisões de tratos de sistemas, possuindo padrões de estratos e litofácies previsíveis.

A identificação de tratos de sistemas em dados sísmicos fornece um arcabouço para a predição mais adequada de ambientes e litofácies deposicionais. Isto é extremamente importante na indústria do petróleo e gás, pois o conhecimento preciso de ambientes e litofácies deposicionais, como os paleocanais presentes na Lagoa dos Patos que seriam limites de seqüência e poderiam estar controlando estruturalmente as acumulações de gás. São então possíveis predições mais refinadas de rochas reservatório, como as areias representativas dos pontais e sistemas de barreiras; fonte e selos, que seriam representadas por camadas de sedimentos finos representados refletores plano-paralelos; além dos caminhos para a migração de hidrocarbonetos e gás, como o metano.

2.1. Características do Gás Raso

Existem uma série de evidências indicativas da presença de gás nos sedimentos marinhos e/ou lagunares. Características como turbidez acústica, reflexões anômalas, perturbações colunares/chaminés de gás e branqueamento acústico são evidências do tipo geofísicas.

As evidências geoquímicas provêm de perfurações de petróleo/análises de lama, análise de sedimento de fundo (marinho/lacustre), e amostragem de água. Há também as evidências indiretas como a morfologia de fundo (bolsões, domos, diápiros de lama, montiformas gigantes de gás e alta reflexão dos sedimentos de fundo), escapes de gás, carbonatos derivados do metano e anomalias biológicas.

O gás presente no pacote sedimentar causa anomalias acústicas em alguns setores dos registros sísmicos adquiridos na Lagoa dos Patos, ocultando as estruturas sedimentares sotopostas aos "horizontes" gasosos. Janelas acústicas

ocorrem em zonas onde não ocorre gás disseminado nos sedimentos, propiciando então uma boa resolução sísmica. Turbidez acústica é uma anomalia comum, associada a fenômenos acústicos como '*gas brightening*' e '*acoustic blanking*'. Baseado nas características das anomalias acústicas foi possível reconhecer setores com "bolsões de gás", que geralmente mostram terminação lateral abrupta e topo bem marcado; e setores com "zonas acusticamente turvas". Há ainda outros elementos sísmicos presentes, como perturbações no fundo lagunar que são indicativos da presença de gás no registro sísmico.

3. PRESENÇA DE GÁS RASO NA LAGOA DOS PATOS

Dois tipos principais de acumulações de gás raso foram identificadas nos perfis sísmicos levantados no interior da Lagoa dos Patos, identificadas na forma de reflexões anômalas acústicas.

A primeira delas é uma feição chamada de bolsão ("*pocket gas*"), na qual a anomalia acústica apresenta um topo bem marcado e, onde se nota a mudança de um meio mais denso (camadas sedimentares) para um menos denso (gás), mascarando o registro sedimentar abaixo de onde ela ocorre (Fig. 23). Esse tipo de feição é a que se considera como detentora de maior quantidade de gás, já que camadas plano-paralelas sobrepostas à acumulação atuam como selantes, concentrando o gás produzido sem haver escapes significativos. Em geral, esses bolsões apresentam boa continuidade lateral, mas sofrem interrupções abruptas. Há ainda em bolsões, de alguns perfis, como nos casos dos perfis 2 e 23 (Figuras 15 e 36), feições do tipo escadarias, onde se nota a mudança brusca da profundidade de topo da acumulação e que pode estar relacionada, localmente, às diferentes competências das camadas em trapear o gás

Mascarando os perfis, sem forma definida e sem nenhum controle estrutural, o gás disseminado é outra feição marcante em diversos perfis, principalmente, naqueles próximos aos pontais (perfis 1, 6, 11, 14, 15, 17 e 21) e locais onde os sedimentos fazem parte de uma fração mais grossa, como exemplo areias (perfil 23). Nas áreas próximas aos pontais observa-se uma série de refletores oblíquos tangenciais, oblíquos paralelos, oblíquos tangenciais e até mesmo plano-paralelos que não atuam como controles estruturais para o aprisionamento do gás.

Ocorrem ainda as chamadas "chaminés", que são feições semelhantes aos bolsões ("*pocket gas*"), mas que ultrapassam o fundo lagunar, proporcionando um escape de gás para a coluna d'água. Este tipo de estrutura pode ser claramente

notado nas figuras 17, 21 e 32. Outra feição marcante são as janelas acústicas que ocorrem entre os bolsões de gás, como fica bem evidenciado nas figuras 19, 33 e 38. É importante salientar que essas janelas acústicas se mostram uma feição um tanto quanto curiosa, pois possuem pequena extensão lateral e estão localizadas entre meios que possuem acumulações. É possível que essas janelas acústicas representem pequenas áreas onde haja uma baixa acumulação de matéria orgânica ou não exista uma efetiva degradação.

3.1. Sistemas Vinculados ao Gás

É possível correlacionar as acumulações de gás mapeadas neste trabalho com outras feições marcantes, como paleodrenagens, paleodepressões e distribuição dos sedimentos no fundo lagunar, observadas em trabalhos anteriores, presentes no substrato da Lagoa dos Patos. Weschenfelder (2005) propõe através da análise de dados sísmicos de 3,5 kHz um sistema de paleodrenagens (Fig. 46), para o Pleistoceno Superior e Holoceno, para a planície costeira e plataforma continental do do Rio Grande do Sul.

Observa-se na maioria dos perfis que, os paleocanais e as paleodepressões são os elementos estruturais onde se encontram a maioria dos bolsões de gás. Essas estruturas podem condicionar a acumulação de matéria orgânica que ali é posteriormente degradada por bactérias e transformada em gás. Os perfis que melhor representam as acumulações de gás condicionadas a sistemas de paleodrenagens são os perfis 2, 3, 4, 6, 7, 12, 13, 20, 24, 25 e 26.

O gás presente nos perfis 2, 12 e 13 está relacionado com o sistema de paleocanais referidos ao atual Rio Camaquã. As acumulações de gás presentes nos perfis 6, 7, 20, 24, 25 e 26 estão relacionados com os paleocanais desenvolvidos anteriormente pelo atual Rio Jacuí.

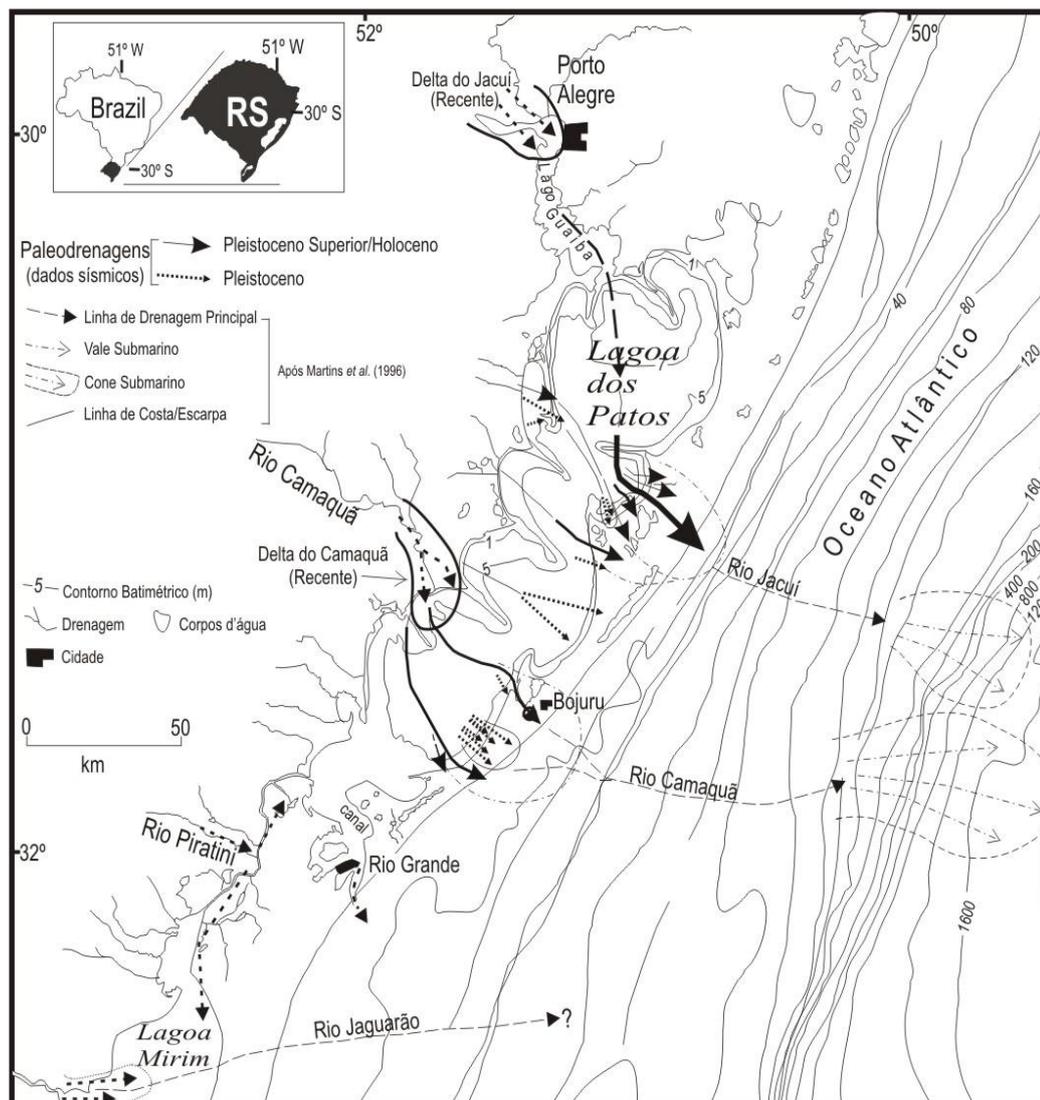


Figura 46: Mapa de sistemas de paleodrenagens do Pleistoceno Superior e Holoceno propostos para a planície costeira e plataforma continental do Rio Grande do Sul (Weschenfelder, 2005).

Um mapa textural do fundo lagunar proposto por Toldo (2000) (Fig. 47) torna-se uma ferramenta para uma importante correlação com as ocorrências de gás.

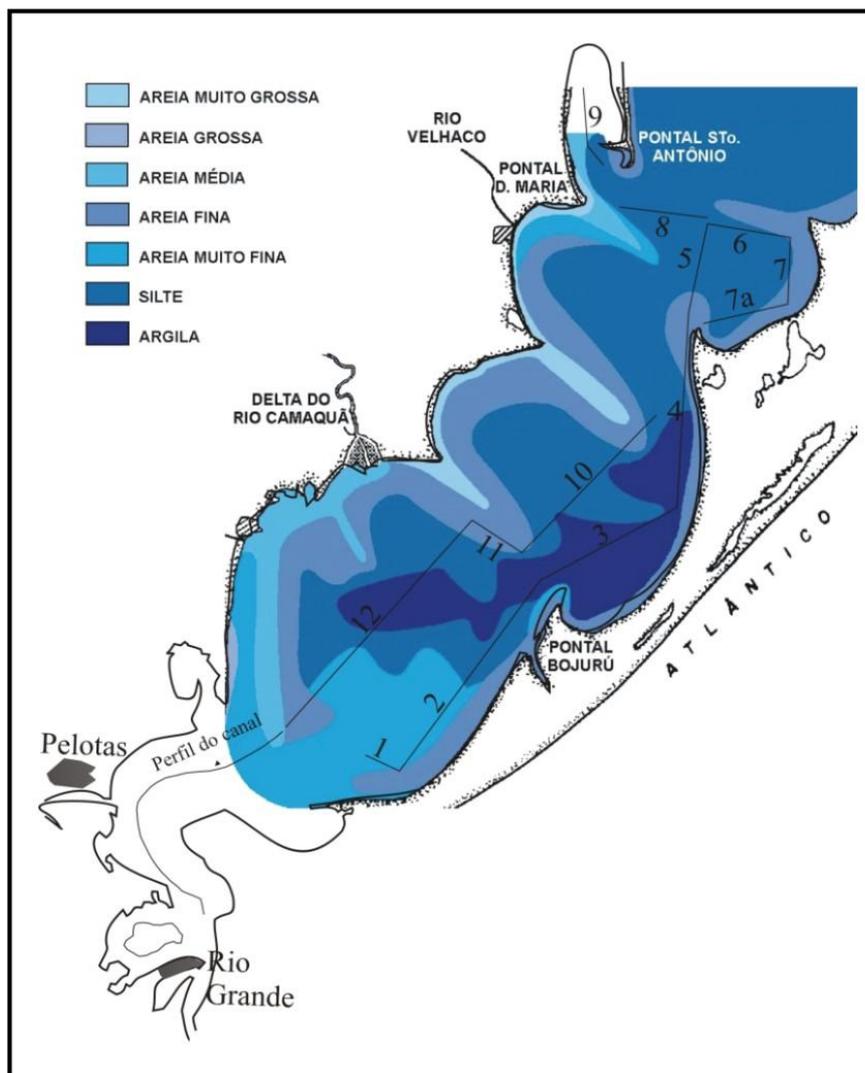


Figura 47: Mapa textural dos sedimentos de fundo da Lagoa dos Patos com a localização dos 12 perfis sísmicos levantados (modificado de Toldo Jr., 2000).

Geralmente as acumulações de gás raso presentes na área de estudo mostram relação direta com as áreas onde ocorrem sedimentos finos. As áreas onde predominam silte e argila, são as mesmas onde ocorrem as maiores concentrações de gás. Nessas mesmas áreas, o tipo de gás predominante identificado nos perfis sísmicos é o tipo “pocket gas” (bolsões), sugerindo que estes sedimentos finos possam servir também como camadas selantes do gás, devido, a sua provável, baixa permeabilidade. Estes sedimentos, tanto holocênicos quanto pleistocênicos, podem então gerar gás e servir como camadas selantes de acumulações sotopostas à elas.

Nos pontos onde predominam areias, desde finas até muito grossas, como próximo aos pontais arenosos, o tipo de gás presente é o disseminado. Há nessas areias uma maior permeabilidade. Como também não existem grandes

acumulações de matéria orgânica nesses locais, o gás possui menor concentração e não é trapeado, ocorrendo sem controles estruturais.

As camadas que trapeiam o gás, formando bolsões (*"pocket gas"*) geralmente são representadas por refletores plano-paralelos. Certamente, essas camadas são constituídas de sedimentos finos de pequena granulometria, como silte e argila. Outra possibilidade é que concreções carbonáticas, que são especialmente comuns na região meridional da planície costeira e constituem um calcrete pedogenético que é importante indicador paleoclimático indicando fases com deficiência de umidade (fases áridas) (Villwock e Tomazelli, 1995); tenham se formado em fases regressivas anteriores na área onde hoje está presente a Lagoa dos Patos, formando uma camada selante.

As áreas mais profundas da Lagoa dos Patos são as que apresentam maior quantidade de sedimentos finos e acumulação de matéria orgânica. Essa matéria orgânica ali depositada é degradada por bactérias e então transformada em gás biogênico, provavelmente metano. É importante ressaltar que resultados concretos sobre a origem e composição do gás presente no substrato da Lagoa dos Patos só serão possíveis através de análises químicas do gás, como cromatografia gasosa. Sem essas análises, mesmo com os fortes indícios de que o gás presente seja de origem biogênica, não se pode descartar uma origem termogênica do gás, que poderia ter migrado por falhas, visto que, a Bacia de Pelotas mostra algum potencial para geração deste tipo de gás.

Presume-se que a pequena acumulação e produção de gás nos perfis próximos a pontais arenosos (ocorrência) devam-se ao fato de que nesses locais a granulometria do sedimento é maior e a profundidade de lâmina d'água é menor. Não há nesses locais portanto, condições de grandes acumulações de matéria orgânica, provavelmente porque os sedimentos mais finos e a matéria orgânica sejam levados pela corrente e não tenham condições de decantar, sendo então transportadas para partes mais profundas do corpo lagunar. A alta permeabilidade desses sistemas de crescimentos de pontais pode também proporcionar o escape de gás para a coluna d'água.

Considera-se que a abordagem adotada neste estudo sísmico traz bons resultados para a análise de presença de gás raso no substrato da Lagoa dos Patos.

O reconhecimento e mapeamento das feições sísmicas indicativas da presença de gás no substrato da Lagoa dos Patos e sua correlação com estudos anteriores de paleodrenagens e distribuição granulométrica dos sedimentos de

fundo traz importantes elementos para os estudos relacionados à evolução do sistema lagunar da planície costeira do estado do Rio Grande do Sul, bem como uma nova perspectiva acerca da presença de depósitos de gás e sua possível exploração.

VI. CONCLUSÕES

O reconhecimento das acumulações de gás presentes no substrato da Lagoa dos Patos foi possível através da observação de uma série de reflexões anômalas, com terminações laterais características, presentes nos dados sísmicos de perfis de 3,5 e 7,0 kHz levantados no interior do corpo lagunar. A boa qualidade do registro adquirido permitiu uma análise de detalhe das acumulações.

A estratégia de abordagem através da visão da ‘estratigrafia sísmica’, adotada no desenvolvimento desse trabalho, mostrou resultados contundentes para que fossem atingidos os objetivos propostos.

As acumulações de gás parecem estar intimamente ligadas com os sistemas de paleodrenagens do Pleistoceno e do Holoceno propostos por Weschenfelder (2005) e com a sedimentação holocênica proposta por Toldo Jr. *et al.* (2000). O gás ocorre próximo ao fundo lagunar, por vezes, ultrapassando o mesmo e se misturando com a coluna d’água.

Foram reconhecidas duas feições principais indicativas da presença de gás nos sedimentos de fundo. A primeira delas são os bolsões de gás, que mascaram os elementos sismo-deposicionais por completo possuem terminação lateral abrupta e topo da reflexão bem definido, devido ao eficiente trapeamento do gás por camadas representadas por refletores plano-paralelos. Os bolsões de gás (“*pocket gas*”) ocorrem, preferencialmente, nas partes mais profundas do corpo lagunar e são consideradas as feições que representam as maiores concentrações de gás no substrato. A segunda feição principal é o gás disseminado. Ele mascara suavemente os elementos arquiteturais e não possui terminações abruptas. Essa feição geralmente ocorre em áreas lagunares mais rasas, como pontais, ou onde ocorrem sedimentos de frações granulométricas mais grossas como areias, que são mais permeáveis que camadas argilosas, proporcionando o escape do gás ou servindo como reservatório.

O reconhecimento e mapeamento de fácies sísmicas relativas à presença de gás nos sedimentos contribuem de forma significativa para um melhor entendimento acerca da acumulação e da geração do gás e para uma melhor compreensão da evolução geológica dos sistemas laguna-barreira reconhecidos na planície costeira do Rio Grande do Sul. Os modelos gerados podem ser usados como análogos para estudos de sistemas sedimentares similares, especialmente os ambientes transicionais de borda de bacia sedimentar.

VII. REFERÊNCIAS

- ALIOTTA, S., KOSTADINOFF, J., LIZASOAIN, G., 2000. Sísmica somera com 3.5 kHz de la Plataforma Continental norpatagónica, Argentina. In: II CONGRESO LATINOAMERICANO DE SEDIMENTOLOGÍA. Mar del Plata, Argentina. Resúmenes..., p.26-27.
- ALIOTTA, S., LIZASOAIN, G., GINSBERG, S., 2002. Hallazgo de acumulaciones de gas con sísmica de alta resolución en sedimentos del estuario de Bahía Blanca, Argentina. In: CABALERI, N., CINGOLANI, C.A., LINARES, E., LÓPEZ DE LUCHI, H.O., OSTERA, H.A., PARARELLO, H.O. (eds.). XV CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO. Actas..., cd-rom. Article nº 146, Tomo II:315-318.
- ASMUS, H.E. e GUAZELLI, W., 1981. Descrição sumária das estruturas da Margem Continental Brasileira e das áreas oceânicas e continentais adjacentes. Hipóteses sobre o tectonismo causador e implicações para os prognósticos do potencial de recursos minerais. In: Asmus, H. E. (ed.). Estrutura e tectonismo da Margem Continental Brasileira e suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais. PETROBRÁS, CENPES, DINTEP, 1981, p. 187-269. (Série Projeto REMAC, nº 9).
- 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.
- BLUM, M.D. & TÖRNQVIST, R.E., 2000. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. *Sedimentology*, 47 (Suppl. 1), 2-48.
- COSTA, E.A., FIGUEIREDO, A.G., 1998. Echo-character and sedimentary processes on the Amazon Continental Shelf. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 70(2):187-200.
- DAMUTH, J.E., 1975. Echo character of the western Equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*, 18:17-45.
- DAMUTH, J.E., HAYES, D.E., 1977. Echo character of the East Brazilian Continental Margin and its relationship to sedimentary processes. *Marine Geology*, 24:73-95.
- DILLENBURG, S.R., 1988. Contribuição à Evolução Paleogeográfica Quaternária da plataforma continental do Rio Grande do Sul. 77 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- DUARTE, H. E PINHEIRO, L., 2005. High resolution seismic imaging of the methane gas and gas seepage in the sediments of the Ría of Aveiro (Portugal). VIII International Conference on Gas in Marine Sediments. Vigo, Spain; 2005. Cd-rom, *In: Geophysics Session*.
- DURÁN, R.; GARCÍA-GIL, S. AND VILAS, F., 2005. Stratigraphical Framework of Gas Accumulations in the Ría de Pontevedra (NW Spain). VIII International Conference on Gas in Marine Sediments. Vigo, Spain; 2005. Cd-rom, *In: Geophysics Session*.
- EMERY, D. & MYERS, K. (Eds.), 1996. *Sequence Stratigraphy*, Blackwell Science, 304p.
- ERGÜN, M., DONURUR, D. E ÇİFÇİ, G. 2002. Acoustic evidence for shallow gas accumulations in the sediments of the eastern Black Sea. *Terra Nova* (2002) 14, 313-320.
- FERRÍN, A., BROWN, G.H., NAISH, T.R., GARCIA-GIL, S., VILAS, F., 2005. Acoustic turbidity in the Canterbury outer shelf and upper slope (SE New Zealand). VIII International Conference on Gas in Marine Sediments. Vigo, Spain; 2005. Cd-rom, *In: Geophysics Session*.
- FERRÍN, A., DOMINGUEZ, L., DíEZ, R., GARCÍA GIL, S., AND VILAS, F., 2001. High Resolution Seismic Analysis of Shallow Gas Features: Ría de Arousa (NW Spain). Earth System Processes – Global Meeting (June 24-28, 2001).
- FIGUEIREDO, A.G., NITTROUER, C.A., COSTA, E.A., 1996. Gas-charged sediments in the Amazon Submarine Delta. *Geo-Marine Letters*, 16:31-35.
- FLOOD, R.D., 1980. Deep sea sedimentary morphology: modelling and interpretation of echo-sounding profiles. *Marine Geology*, 38:77-92.
- FONTANA, R.L., 1987. Desenvolvimento termomecânico da Bacia de Pelotas e parte sul da Plataforma de Florianópolis. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. 128p.
- FONTANA, R.L., 1990a. Desenvolvimento Termomecânico da Bacia de Pelotas e Parte Sul da Plataforma de Florianópolis. In: RAJA BAGAGLIA, G.P., MILANI, E.J. (eds.). *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro, Brasil - Petrobrás, p 377-400.
- FONTANA, R.L., 1996. Geotectônica e Sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas e Plataforma de Florianópolis. Porto Alegre. 364 p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FLEISCHER, P., ORSI, T. H., RICHARDSON, M.D., ANDERSON, A.L., 2001. Distribution of free gas in marine sediments: A global overview. *Geo-Marine Letters* (2001) 21: 103-122.
- GARCIA-GARCIA, A., VILAS, F., GARCIA-GIL, S., 1999. A seeping sea-floor in Ria environment: Ria de Vigo (Spain). *Environment Geology*, 38(4):296-300.
- GARCIA-GIL, S., VILAS, F., MAGARIÑOS-ÁLVAREZ, J., DURÁN, R., DIEZ, R., FERRÍN, A., IGLESIAS, J., 2003. Shallow gas flux rates from the Rias Baixas seabeds (NW Spain). XVI INQUA Congress. Paper No. 90-3.
- GARCIA-GIL, S., VILAS, F., GARCIA-GARCIA, A., 2002. Shallow gas features in incised-valley fills (Ría de Vigo, NW Spain): A case study. *Continental Shelf Research* 22 (2002), p.p. 2303-2315.

- GARCIA-GIL, S., 2003 (b). A natural laboratory for shallow gas: The Rías Baixas (NW Spain). *Geo Marine Letters* (2003) 23: 215-229.
- GARCIA-GIL, S., IGLESIAS, I., 2005. Sedimentary facies as a control of the shallow gas seismic signatures: Ría de Vigo (NW Spain). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7.
- GONÇALVES, A. OLIVEIRA, M.A.M. e MOTTA, S.O., 1979. Geologia da Bacia de Pelotas e da Plataforma de Florianópolis. *Boletim Técnico da Petrobrás*, 22(3):157-74.
- IMBRIE, J., HAYS, J.D., MARTINSON, D.G., MCINTYRE, A., MIX, A.C., MORLEY, J.J., PISIAS, N.G., PRELL, W.L., SHACKLETON, N.J., 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record. In: BERGER, A.L., IMBRIE, J., HAYS, J., KUKLA, G., SALTZMAN, B. (eds.). *Milankovitch and Climate, Part I*. Boston: Reidel. P. 269-305.
- IGLESIAS J. & GARCIA-GIL, S., 2007. High resolution mapping of shallow gas accumulations and gas seeps in San Simón Bay (Ría de Vigo, NW Spain). Some quantitative data. *Geo-Marine Letters* (2007); 27: 103-114.
- JEDA, H.A.O., 1982. Structure, stratigraphy and evolution of the Brazilian marginal basin. *AAPG Bulletin*, 66(6):732-749.
- JONES, E.J.W., 1999. *Marine Geophysics*. Wiley & Sons (eds.), 466p.
- KARISIDDAIAH, S.M., VEERAYYA, M., VORA, K.H., WAGLE, B.G., 1992. Gas-charged sediments on the inner continental shelf off western India. *Marine Geology*, 110:143-152.
- LI, M.; JIN, X., 2003. The Origin of Gas Seeps and Shallow Gas in the Northern Part of South China Sea. *In: Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5, 05282, 2003.
- LEE, G.H., KIM, D.C., KIM, H.J., JOU, H.T., LEE, Y.J. E PARK, S.C., 2005. Shallow gas off the southeastern Coast of Korea. VIII International Conference on Gas in Marine Sediments. Vigo, Spain; 2005. Cd-rom, *In: Geophysics Session*.
- MAGARINÓS, J. S., GARCÍA GIL, S., AND VILAS, F., 2001. Mapping of Shallow Gas Features in The Ría de Muros (NW Spain). *Earth System Processes – Global Meeting* (June 24-28, 2001). Paper No. 90-3.
- MANLEY, P.L., FLOOD, R.D., 1989. Anomalous sound velocities in near-surface, organic-rich, gassy sediments in the central Argentine basin. *Deep-sea Research*, 36:611-623.
- MISSIAEN T., MURPHY, S., LONCKE, L., HENRIET, J.P., 2002. Very high resolution seismic mapping of shallow gas in the Belgian coastal zone. *Continental Shelf Research* (2002), Vol. 22, n° 16, p.p. 2291-2301 (11).
- MITCHUM, R.M., JR.; VAIL, P.R. & SANGREE, J.B., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. *In: Payton, C.E. (ed.) Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*. AAPG Memoir, Tulsa, 26, 117-133.
- MONTEYS, X., DOYLE, E., HARDY, D., GARCIA-GIL, S., 2005. Shallow gas occurrences in the Malin Basin, Irish Shelf. VIII International Conference on Gas in Marine Sediments. Vigo, Spain; 2005. Cd-rom, *In: Geophysics Session*.
- OKYAR, M., EDIGER, V., 1999. Seismic evidence of shallow gas in the sediment on the shelf off Trabzon, Southeastern Black Sea. *Continental Shelf Research* (1999), Vol. 19, n° 5, p.p. 575-587 (13).

- PAPATHEODOROU, G., HASIOTIS, T., FERENTINOS, G., 1993. Gas-charged sediments in the Aegean and Ionian Seas, Greece. *Marine Geology*, 112:171-184.
- PARK, S.C., KIM, Y.S., HONG, S.K., 1991. Shallow seismic stratigraphy and distribution pattern of late Quaternary sediments in a macrotidal bay, Gunhung Bay, west coast of Korea. *Marine Geology*, 98:135-144.
- PARKER, G., PATERLINI, M., 1990. Apantallamientos acústicos en sedimentos gasíferos del Rio de La Plata. *Revista da Asociación Geológica Argentina*, 459(1-2):17-28.
- PAWLOWICZ, J. G., FENTON, M. M., 2005. Geological Setting for Shallow Gas in Quaternary Sediments of Northern Alberta. *Alberta Geological Survey / 2005 – AGS – Publication*. INF-124.
- PEREZ-BELMONTE, L., GARCIA-GIL, S., TESSIER, B., MENIER, D., 2005. Gas features in estuarine environments: Example of Morbihan's Gulf (S Brittany, NW France). VIII International Conference on Gas in Marine Sediments. Vigo, Spain; 2005. Cd-rom, *In: Geophysics Session*.
- POUPEAU, G., RIVERA, A., SOLIANI, JR.E., VASCONCELOS, M.B.A., SOUZA, J.H., 1985. Datação por termoluminescência de depósitos arenosos costeiros do Rio Grande do Sul: resultados e aplicações. *Anais, 2º simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Florianópolis, SBG*. P. 403.
- QUARESMA, V.S., DIAS, G.T.M., BAPTISTA NETO, J.A., 2000. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Buanabara - RJ. *Brazilian Journal of Geophysics*, 18(2):201-214.
- SCHROOT, B.M. & SCHÜTTENHELM, R.T.E., 2003. Expressions of Shallow Gas in The Netherlands North Sea. *In: Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw* 82 (1): 91-105.
- SEVERIANO RIBEIRO H. J. P., 2001. Estratigrafia de seqüências – Fundamentos e aplicações (organizador). Ed. Unisinos, 428 p
- SHANLEY, K.W. & MC CABE, P.J., 1994. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata: report of a working group at the 1991 NUMA Conference on high resolution sequence stratigraphy. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 74: 544-568.
- TAYLOR, M.H., DILLON, W.P., PECHER, I.A., 2000. Trapping and migration of methane associated with the gas hydrate stability zone at the Blake Ridge Diapir: new insights from seismic data. *Marine Geology*, 164:79-89.
- TOLDO, E.E.,JR., DILLENBURG, S.R., 1993. Relatório do Cruzeiro Oceanográfico Lagoa dos Patos - Janeiro/1993. Projeto Geofísica Rasa na Lagoa dos Patos - CECO-IG-UFRGS. Relatório do Cruzeiro. Inédito.
- TOLDO, E.E.,JR., 1994. Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar da Lagoa dos Patos. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Tese de Doutorado*. 143p.
- TOLDO E.E.,JR., DILLENBURG, S.R.; CORRÊA, I.C.S. & ALMEIDA, L.E.S.B., 2000. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 16(3): 816-822.

- TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A., 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, M., DE ROSS, L.F. (eds.). Geologia do Rio Grande do Sul, pp. 375-406.
- VASCONCELLOS, V.E.B., DE; WESCHENFELDER, J.; PEREIRA, C.M.; 2006. Acumulações de Gás Raso no Substrato da Lagoa dos Patos Reveladas por Sísmica de Alta Resolução: Caracterização, Mapeamento e Fatores condicionantes. Anais do XLIII Congresso Brasileiro de Geologia – Aracaju, 2006. S10: P-199, p. 215.
- VEERAYYA, M., 2004. Geophysical Evidences of Shallow Gas and Gas Hydrates Along the Continental Margins of India. AAPG Annual Meeting 2004.
- VILLWOCK, J.A., 1972. Contribuição a geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul-Brasil. Porto Alegre. 123 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VILLWOCK, J.A., 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. Pesquisas, 16:5-49.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; HORN FILHO, N.O.; BACHI, F.A. & DEHNHARDT, B.A., 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 4:79-97.
- VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J., 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas, 8:1-45.
- WESCHENFELDER, J., CORRÊA, I.C.S., ALIOTTA, S., 2005a. Elementos arquiteturais do substrato da Lagoa dos Patos reveladas por sísmica de alta resolução. Pesquisas em Geociências, 32(2): 57-67
- WESCHENFELDER, J., 2005. Processos sedimentares e variação do nível do mar na região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. Programa de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS. *Tese de Doutorado*. 141p. (Inédito).
- WESCHENFELDER, J., CORRÊA, I.C.S., AYUP-ZOUAIN, R.N., ALIOTTA, S., PEREIRA, C.M., VASCONCELLOS, V.E.B., DE, 2005B. Gas Accumulations Revealed by High-Resolution Seismic in the Patos Lagoon, Southern Brazil. VIII International Conference on Gas in Marine Sediments. Vigo, Spain; 2005. Cd-rom, *In: Geophysics Session*.
- WESCHENFELDER, J.; Corrêa, I.C.S.; Aliotta, S.; Pereira, C.M. & Vasconcellos, V.E.B., de, 2006. Shallow gas accumulations in the sediments of the Patos lagoon area, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Brasil*. v. 78, n. 3, p. 607 – 614.