

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

**ESTUDO GEOACÚSTICO PARA MAPEAMENTO DE ECO-CARÁTER EM
REGISTROS SÍSMICOS DE ALTA RESOLUÇÃO DO INTERIOR DA LAGOA DOS
PATOS, RS, BRASIL**

GABRIELA MULLER SAMPAIO BEXIGA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Volume I

Porto Alegre – 2016

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

**ESTUDO GEOACÚSTICO PARA MAPEAMENTO DE ECO-CARÁTER
EM REGISTROS SÍSMICOS DE ALTA RESOLUÇÃO DO INTERIOR
DA LAGOA DOS PATOS, RS, BRASIL**

GABRIELA MULLER SAMPAIO BEXIGA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Jair Weschenfelder

BANCA EXAMINADORA

Iran Carlos Stalliviere Corrêa - Instituto de Geociências - UFRGS

Jorge Antônio Guimarães de Souza - Empresa CB&I - Brasil

Norberto Olmiro Horn Filho - Departamento de Geociências - UFSC

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

Porto Alegre – 2016

CIP - Catalogação na Publicação

Bexiga, Gabriela Muller Sampaio
ESTUDO GEOACÚSTICO PARA MAPEAMENTO DE ECO-CARÁTER
EM REGISTROS SÍSMICOS DE ALTA RESOLUÇÃO DO INTERIOR
DA LAGOA DOS PATOS, RS, BRASIL / Gabriela Muller
Sampaio Bexiga. -- 2016.
63 f.

Orientador: Jair Weschenfelder.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto
Alegre, BR-RS, 2016.

1. eco-caráter. 2. perfis sísmicos. 3. sedimentação
lagunar. 4. gás raso. I. Weschenfelder, Jair,
orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Jair Weschenfelder, por todos os ensinamentos e orientação, e, principalmente por toda a paciência desprendida nesse processo.

Ao Jorge Souza, por colaborar com minha entrada no mestrado e por estar sempre disposto a ajudar e confiante no resultado; ao César Félix por todo o apoio, ensinamentos e tempo gasto nesse processo.

Aos meus grandes amigos: Jonas, Olívia, Anna Luiza, Nery, Bruna, Breno, Pati, Volney, Muka. Estes estiveram presentes em todas as etapas, puxaram minha orelha, me abrigaram em POA, me acalmaram e me ajudaram de toda forma possível.

Ao pessoal da CBI, que me incentivou e disponibilizou horas para fazer as disciplinas. Em especial, agradeço à Juliana Menegucci por ser uma grande incentivadora do meu trabalho.

Ao pessoal da EGS Brasil, que me apoiou e ajudou de todas as formas: de *softwares* à paciência nos dias de caos. Agradeço especialmente ao António Badagola, Tati e Vinícius, por serem grandes entusiastas deste trabalho.

À Camila, por passar dias e mais dias do meu lado estudando e acreditando que isso era possível. Aos meus pais, pela fonte inesgotável de apoio e confiança.

RESUMO

A Lagoa dos Patos, por sua importância e magnitude, é alvo de inúmeras pesquisas relacionadas ao seu contexto evolutivo geológico e paleogeográfico. Para a investigação das características de seu fundo e subfundo, foram executados, nos anos de 2002 e 2006, levantamentos de cerca de 700 Km de dados sísmicos de 3,5 kHz. O presente trabalho considerou aproximadamente 153 Km de registros sísmicos levantados na célula sul da Lagoa dos Patos, objetivando a identificação e mapeamento dos eco-caracteres da área. Para integração dos dados e visualização dos resultados finais, métodos de geoprocessamento foram aplicados.

Os perfis sísmicos analisados permitiram a identificação de três principais eco-caracteres, que foram agrupados de acordo com o aspecto do refletor primário (fundo), ocorrência de refletores subsuperfície e geometria dos refletores de subsuperfície.

O eco-caráter A se foi definido por refletor primário (fundo) plano e forte, seguido por refletores fortes e bem definidos; o eco-caráter B foi caracterizado a partir de refletor primário difuso e reflexões de subsuperfície pouco definidas, difusas ou com aspecto de manchas; o eco-caráter C consistiu em refletor primário plano e muito forte, seguido por sucessivas reflexões múltiplas de baixa perda. Estes eco-caracteres foram relacionados à batimetria da área e aos sedimentos de fundo do local, de forma observar a relação entre estes e a resposta acústica associada ao eco.

Os eco-caracteres identificados foram correlacionáveis às características sedimentológicas da área e aos processos hidrodinâmicos atuantes na célula sul do sistema lagunar. Anomalias acústicas identificadas nos registros sonográficos evidenciaram a ocorrência de grande quantidade de gás raso, disseminado nos pacotes sedimentares intralagunares.

Este trabalho confirma a importância de um melhor entendimento dos efeitos da hidrodinâmica nos processos de sedimentação e apresenta informações relevantes para o auxílio de estudos geomorfológicos e hidrodinâmicos a serem realizados na Lagoa dos Patos.

Palavras-chave: eco-caráter, perfis sísmicos, sedimentação lagunar

ABSTRACT

The Patos Lagoon, for its importance and magnitude, is the subject of numerous researches related to its geological and paleogeographic evolutionary context. For the investigation of its bottom and subbottom characteristics, about 700 km of seismic data of 3.5 kHz were surveyed in 2002 and 2006. This study considered nearly 153 Km of seismic records collected in the south of the Patos Lagoon cell, aiming to the identification and mapping of echo-character. For data integration and visualization of the results, geoprocessing methods were applied.

The seismic profiles analyzed allowed the identification of three major echo-characters, which were grouped according to the aspect of the primary reflector (bottom), the occurrence of subbottom reflections, the geometry of the subbottom reflections.

The echo-character A presented distinct and continuous surface (bottom) with well-defined subbottom reflections, generally parallel and continuous, which follow the topography of the surface; echo-character B was characterized by a diffuse primary reflector and poorly defined subbottom reflections, diffuse or blurry; echo-character C consisted of a plane and very strong well-defined first reflector and presents a series of low loss multiple reflections. These echo-characters were related to the bathymetry and the bottom sediments of the area, in order to observe the relationship between them and the acoustic response associated with the echo.

The echo-characters identified presented good correlation to the sedimentological characteristics of the area and the hydrodynamic processes acting in the south cell of the lagoon system. Acoustic anomalies identified in ecograms indicate the occurrence of large amounts of shallow gas spread in intra-lagoon sedimentary packages.

This study confirms the importance of a better understanding of the effects of hydrodynamics in sedimentation processes and presents relevant information to support geomorphological and hydrodynamics studies to be conducted in the Patos Lagoon.

Keywords: echo-character, seismic profiles, lagoon sedimentation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Enquadramento da área de estudo. Lagoa dos Patos, RS, Brasil.	9
Figura 2: Fisiografia e principais estruturas geológicas do embasamento e da Bacia de Pelotas (modificado de Urien e Martins, 1978, <i>apud</i> Dillenburg, 1988).....	10
Figura 3: Seção geológica esquemática da Bacia de Pelotas (modificado de Villwock, 1984).	11
Figura 4: Geomorfologia da PCRS (modificada de Villwock, 1984).	12
Figura 5: Mapa de localização dos perfis levantados em 2002 e em 2006 na Lagoa dos Patos.	23
Figura 6: Sistema GeoAcoustics utilizado na aquisição e processamento em tempo real dos dados sísmicos.	24

SUMÁRIO

Sobre a estrutura desta Dissertação de Mestrado:	5
CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1. OBJETIVOS	8
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	8
2.1. PROVÍNCIA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL	9
2.1.1. Elementos Geológicos	10
2.1.2. Elementos Geomorfológicos	12
2.2. PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL E SISTEMAS DEPOSICIONAIS COSTEIROS ASSOCIADOS	12
2.3. LAGOA DOS PATOS	14
2.3.1. Estudos realizados na Lagoa dos Patos: ênfase à utilização de dados sísmicos	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1. MÉTODOS SÍSMICOS.....	20
3.2. AQUISIÇÃO DE DADOS SÍSMICOS	22
3.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS SÍSMICOS	24
3.4. ANÁLISE DOS DADOS SÍSMICOS	25
3.4.1. Mapeamento de Eco-caráter	25
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPÍTULO II – ARTIGO SUBMETIDO	34
CAPÍTULO III – CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
5. SÍNTESE DOS RESULTADOS	55
6. RECURSOS DISPONÍVEIS E PRODUTOS GERADOS	56
7. CONCLUSÕES.....	57
ANEXO I	59

Sobre a estrutura desta Dissertação de Mestrado:

Esta Dissertação de Mestrado foi elaborada na modalidade “integração de artigo científico”, de acordo com a Norma 103 do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGGEO/UFRGS. O artigo foi submetido à publicação em periódico indexado e está inserido no corpo do trabalho. Desta forma, resultados, análises e discussões da pesquisa são apresentados basicamente no artigo científico.

A organização da dissertação compreende os seguintes elementos principais:

Capítulo I – Considerações Iniciais – Introdução sobre o tema do mestrado, resumindo os objetivos e o estado da arte sobre o tema de pesquisa.

Capítulo II – Corpo Principal – Apresenta o artigo “USE OF HIGH RESOLUTION SEISMIC DATA (3.5 kHz) TO MAP ECHO-CHARACTER: CASE STUDY IN PATOS LAGOON - RS (BRAZIL)” submetido ao periódico *Revista Brasileira de Geofísica*.

Capítulo III – Considerações Finais – Composta por sumarização dos resultados, avaliação dos recursos disponíveis e produtos gerados e conclusões finais.

CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras apresentam uma diversidade geomorfológica de corpos de água, tais como baías, lagunas, braço de mar, lagoas, vales de rios afogados, rias e fiordes (Toldo et al., 2006b). Alguns destes corpos tendem a ser eficientes armadilhas na acumulação de sedimentos marinhos e terrestres e destaca-se, nesse contexto, a maior laguna estrangulada do mundo: a Lagoa dos Patos.

Inserida na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, a Lagoa dos Patos tem sua origem associada às oscilações glacio-eustáticas do nível do mar em seus eventos regressivos e transgressivos durante o Pleistoceno e Holoceno, que resultaram na formação de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira no Rio Grande do Sul (RS) (Tomazelli & Villwock, 2000; Villwock & Tomazelli, 1995; Villwock et al., 1986).

Por sua magnitude e importância, a Lagoa dos Patos é alvo de interesse de inúmeras pesquisas com métodos e finalidades distintos, incluindo a utilização de dados sísmicos. Através do advento de métodos indiretos de investigação geofísica tornou-se possível estudar alvos antes inacessíveis. Dessa forma, nas últimas décadas, perfis sísmicos de alta frequência têm sido utilizados na caracterização dos processos sedimentares de fundo e subfundo marinho em diversas partes do mundo (Weschenfelder et al., 2005a).

O número de trabalhos com o emprego de métodos geofísicos na Lagoa dos Patos é crescente, e a identificação de diferentes tipos de fundo através de eco-caracteres complementa o uso desses dados. Os eco-caracteres são caracterizados a partir de um conjunto de características físicas do eco refletido durante o levantamento sísmico de alta resolução e são correlacionáveis à distribuição sedimentar do ambiente em questão (Souza, 2006). Trabalhos mais antigos (Damuth, 1975, 1978, 1980; Damuth & Hayes, 1977) bem como trabalhos mais recentes (Lee et al., 2002; Grossman, 2002; Catanzaro et al., 2004; Ayres Neto et al., 2009; Magrani, 2011; Félix, 2012; Gomes, 2013; Silva et al., 2014) utilizam essa ferramenta de investigação.

Sendo assim, neste estudo são utilizados dados de perfis sísmicos de 3,5 kHz da célula sul da Lagoa dos Patos levantados nos anos 2002 e 2006 para o reconhecimento e o mapeamento de seus eco-caracteres. Os resultados obtidos, em

conjunto com a análise de suas características batimétricas e sedimentológicas pode fornecer subsídios aos estudos acerca dos processos sedimentares e hidrodinâmicos do ambiente lagunar da Lagoa dos Patos. Além disso, esse estudo pode prover uma base para melhor entendimento dos processos não somente da laguna, mas dos ambientes deposicionais associados da planície costeira do RS.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é reconhecer e mapear os eco-caracteres da célula sul da Lagoa dos Patos, analisá-los em conjunto com os dados batimétricos e sedimentológicos da área e assim poder colaborar com o entendimento dos processos sedimentares e hidrodinâmicos da laguna.

Para isto, traçaram-se os seguintes objetivos específicos:

- Definição e caracterização dos eco-caracteres nos perfis sísmicos de 3,5 kHz da célula sul da Lagoa dos Patos;
- Mapeamento dos eco-caracteres de forma a visualizá-los geograficamente;
- Correlacionar os resultados de eco-caracteres com os dados batimétricos e sedimentológicos da Lagoa dos Patos;
- Análise da relação ecos x batimetria x sedimentologia com os processos sedimentares e hidrodinâmicos da laguna;

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa dos Patos situa-se na planície costeira do Rio Grande do Sul no sul do Brasil (Figura 1). Essa planície faz parte da Província Costeira do RS (PCRS), constituída por depósitos superiores da Bacia de Pelotas, que foram formados a partir da remobilização dos Sistemas de Leques Aluviais e de seus depósitos sedimentares associados. Essa remobilização ocorreu durante os quatro últimos grandes eventos transgressivos e regressivos do nível do mar que, por sua vez, resultaram na formação de quatro sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira (Tomazelli & Villwock, 2005).

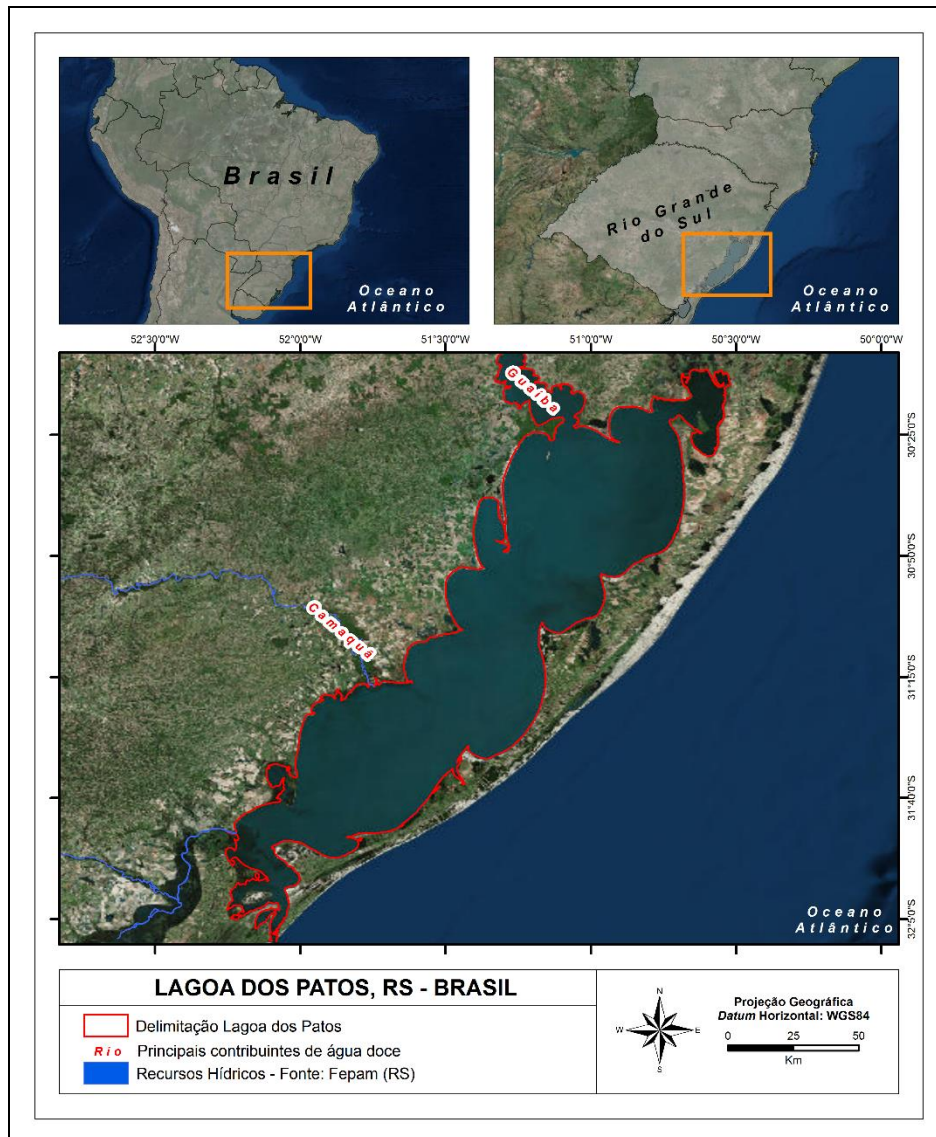


Figura 1: Enquadramento da área de estudo. Lagoa dos Patos, RS, Brasil.

2.1. PROVÍNCIA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL

O termo Província Costeira do Rio Grande do Sul é adotado para designar um grupo de elementos geológicos (tectônico, estrutural, sedimentar e morfológico) característico da margem continental brasileira entre os paralelos $28^{\circ} 40'$ e $33^{\circ} 45'$ de latitude sul (Villwock, 1972).

A PCRS tem sua origem atribuída aos eventos geotectônicos iniciados no Jurássico e que levaram à ruptura do supercontinente Gondwana e à consequente abertura do Oceano Atlântico Sul (Villwock & Tomazelli, 1995). Em sua constituição destacam-se dois grandes elementos geológicos: o embasamento e a bacia de Pelotas (Figura 2) (Villwock, 1984).

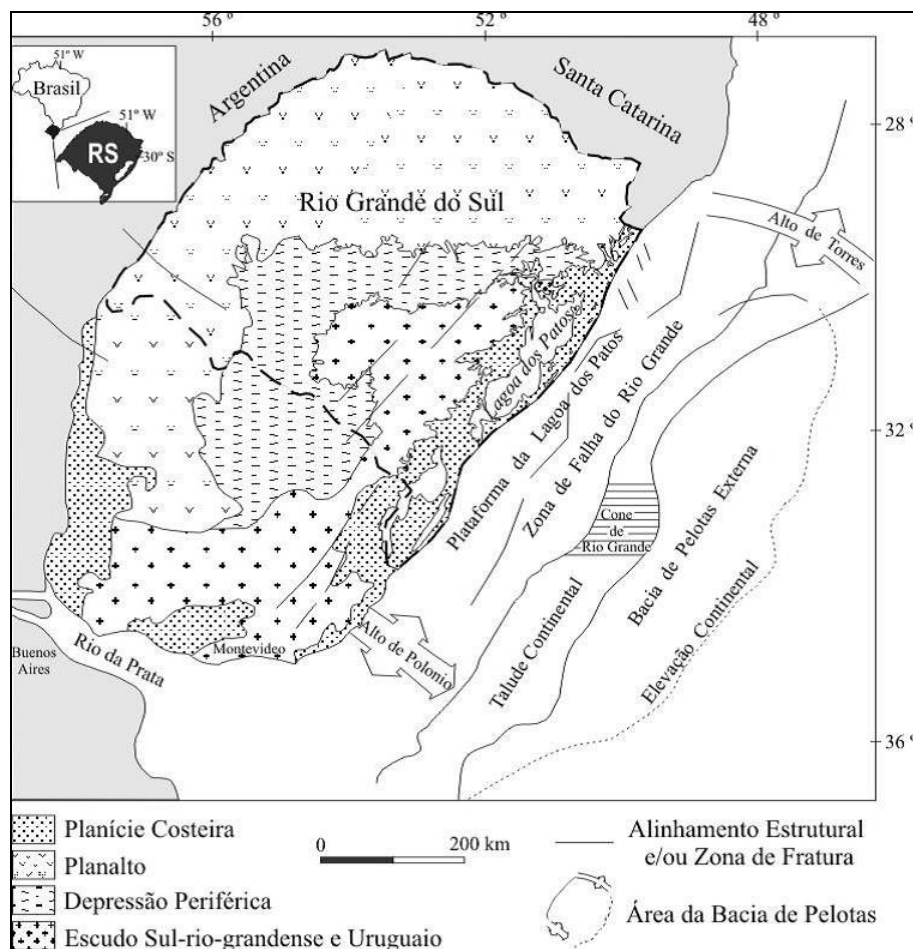


Figura 2: Fisiografia e principais estruturas geológicas do embasamento e da Bacia de Pelotas (modificado de Urien e Martins, 1978, *apud* Dillenburg, 1988).

2.1.1. Elementos Geológicos

O embasamento é caracterizado por seqüências sedimentares e vulcânicas (Paleozóicas e Mesozóicas) da bacia do Paraná, e também por associações petroTECTônicas pré-Cambrianas (Escudo Sul-rio-grandense e Uruguaio). Sobreposto ao embasamento, encontra-se o pacote sedimentar componente da Bacia de Pelotas (Weschenfelder, 2005).

A bacia de Pelotas é a mais meridional das bacias que compõem a margem continental brasileira. Sua delimitação se dá ao norte pelo alto de Torres, ao sul pelo alto de Polônio, ao oeste pelas áreas de topografia mais elevada do embasamento e ao leste seu limite se prolonga em direção à Elevação Continental (Figura 2).

A partir dos movimentos geotectônicos responsáveis pela abertura e estruturação do oceano Atlântico Sul e formação da bacia e os sucessivos basculamentos ocorridos em direção ao mar, acumulou-se na Bacia de Pelotas uma espessa seqüência de

sedimentos continentais, transicionais e marinhos de períodos cretáceo, terciário e quaternário (Figura 3).

A sedimentação desta bacia é muito representativa, o que pode ser evidenciado por meio da análise de dados sísmicos e de perfurações realizada por Fontana (1996), onde este inferiu a presença de depocentros com até 12 km de espessura. A natureza desses sedimentos depositados e acumulados é essencialmente clástica-terrígena e provém de duas áreas fontes principais: as rochas ígneas-metamórficas do Escudo Sul-Rio-Grandense e Uruguiaio e as rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Paraná (Figura 3).

Neste pacote de sedimentos depositados, Fontana (1990) observou que os arenitos, calcilitos e conglomerados têm os folhelhos como sobreposição litológica predominante. Essas litologias encontram-se sobre a crosta continental, sobre as rochas vulcânicas expelidas no início da fase *rift* e sobre o assoalho oceânico.

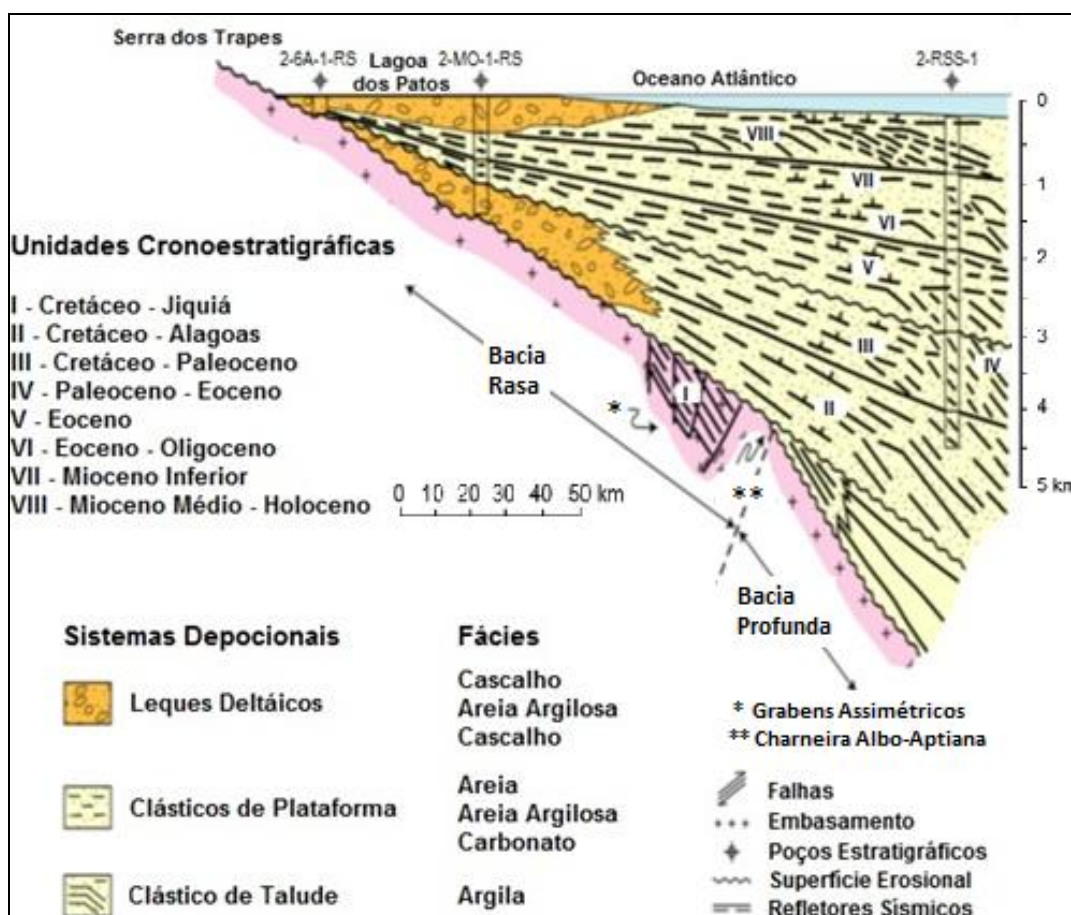


Figura 3: Seção geológica esquemática da Bacia de Pelotas (modificado de Villwock, 1984).

2.1.2. Elementos Geomorfológicos

A Bacia de Pelotas é dividida em dois grandes compartimentos geomorfológicos que integram a PCRS: o das Terras Altas e o das Terras Baixas (Figura 4). O primeiro inclui o Escudo-Sul-Rio-Grandense, a Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias; o segundo compreende a Planície Costeira e a Plataforma Continental. As Terras Altas fornecem sedimentos clásticos terrígenos para as 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 & Tomazelli, 1995).

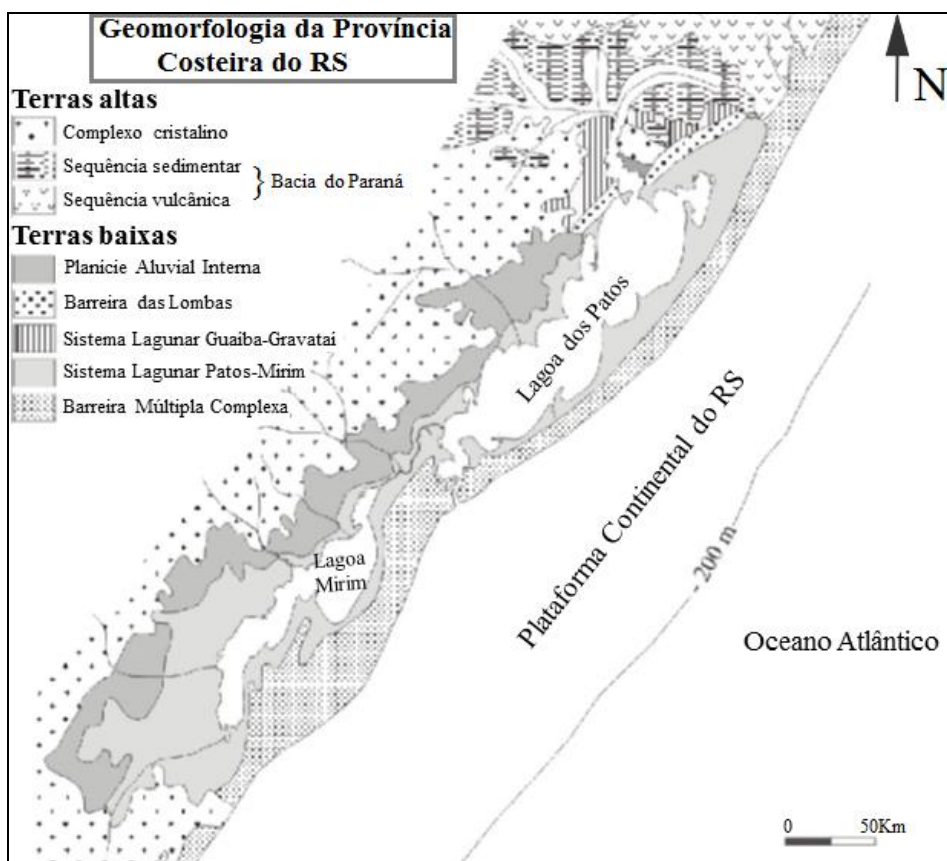


Figura 4: Geomorfologia da PCRS (modificada de Villwock, 1984).

2.2. PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL E SISTEMAS DEPOSICIONAIS COSTEIROS ASSOCIADOS

Uma parte superficial da PCRS e da bacia marginal de Pelotas se caracteriza como uma ampla área plana e é conhecida como planície costeira do RS. Possui

distribuição geográfica de SW-NE por uma extensão aproximada de 600 km e sua área superficial é de aproximadamente 33.000 km², ocupada em sua maior parte por um sistema de lagos costeiros (Weschenfelder, 2005).

Geomorfologicamente, a Planície Costeira possui 5 compartimentos: a Planície Aluvial Interna, a Barreira das Lombas, o Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, a Barreira Múltipla Complexa e o Sistema Lagunar Patos-Mirim. Sendo assim, entende-se que as fácies sedimentares da região costeira do RS podem ser agrupadas basicamente dentro de dois sistemas deposicionais siliciclásticos: Sistema de Leques Aluviais e Sistema do tipo Laguna-Barreira (Villwock & Tomazelli, 1995).

O Sistema Depositional de Leques Aluviais foi depositado entre o Terciário e Quaternário e marca a passagem entre as terras altas do embasamento da bacia de Pelotas e os quatro sistemas deposicionais tipo laguna-barreira da planície costeira do RS. O Escudo Sul-rio-grandense e o Planalto da Serra Geral são importantes fontes de alimentação sedimentar dos leques aluviais e o retrabalhamento de suas porções distais é marcado por ambientes lagunares e marinhos.

Durante o Pleistoceno e Holoceno, quatro grandes oscilações glácio-eustáticas do nível do mar deram origem ao Sistema Laguna-Barreira do RS. Esse sistema deposicional se dispõe paralelo à linha de costa e desenvolve-se em direção ao mar, a partir dos leques aluviais (Pereira, 2008). Cada um desses sistemas laguna-barreira é constituído por barreiras arenosas extensas e relativamente estreitas que isolam grandes corpos lagunares, como a Lagoa dos Patos e as lagoas Mirim e Mangueira.

A **Barreira I**, desenvolvida na porção noroeste da planície costeira, é parte constituinte do mais antigo sistema deposicional do tipo laguna-barreira da região. Este se originou como resultado de um primeiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico e possui idade absoluta de aproximadamente 400 ka (Tomazelli & Villwock, 2005).

O segundo evento transgressivo-regressivo pleistocênico, relacionado a uma idade absoluta aproximada de 325 ka deu origem à **Barreira II**, a qual resultou, no sul da região, no primeiro isolamento da Lagoa Mirim (Tomazelli & Villwock, 2005).

O terceiro evento transgressivo-regressivo, datado por curvas isotópicas de oxigênio como ocorrido há aproximadamente 120Ma AP (Schackleton & Opdyke, 1973 e

Imbrie et al., 1984 *apud* Pereira 2008), originou a **Barreira III**. Esta barreira, que se encontra muito bem preservada, isolou e originou ambientes lagunares onde fósseis de mamíferos terrestres extintos foram acumulados. Atualmente esses depósitos fossilíferos encontram-se expostos ao longo das barrancas do arroio Chuí, próximo à cidade de Santa Vitória do Palmar (Pereira, 2008).

Durante o Holoceno, o mais recente sistema deposicional do tipo laguna-barreira foi constituído como consequência da última grande transgressão pós-glacial. Há cerca de 5 ka o máximo desta transgressão foi estabelecido e com ela foi possível originar a **Barreira IV**, a qual progradou, sob condições de regressão forçada, durante a fase regressiva que se seguiu. Esta progradação pode ser claramente observada no norte de Tramandaí e ao sul de Rio Grande, através da presença de cordões litorâneos regressivos (Tomazelli & Villwock, 2005). Este sistema (IV) é constituído pela linha de costa atual e diversas lagoas costeiras.

2.3. LAGOA DOS PATOS

O Estado do Rio Grande do Sul possui em sua Planície Costeira um marcante corpo lagunar, de aproximadamente 10.000 Km², nomeado Lagoa dos Patos (Figura 1). É a maior laguna do Brasil, a segunda maior da América Latina e a maior laguna estrangulada do mundo. Possui 240 Km no sentido NE-SW, largura variando entre 10 e 60 Km e profundidade média da atual superfície de fundo de 6 m (Toldo, 1994). Serve como laguna de captação da rede de drenagem da Bacia do Sudeste do RS e do Nordeste da República do Uruguai e faz parte do Sistema Lagunar Patos-Mirim, sendo interligada à Lagoa Mirim pelo canal de São Gonçalo, no sul de Pelotas.

A extensão superficial total da bacia de captação alcança 180.000 km² e sua desembocadura ocorre diretamente no Oceano Atlântico através do Canal de Rio Grande, localizado no extremo sul da laguna (Toldo, 1994), onde a descarga média é 4.800 m³/s.

O sistema lagunar 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, possuindo

correlação com as quatro fases do sistema deposicional laguna-barreira (Villwock & Tomazelli, 1995).

Os principais rios que drenam a metade leste do RS deságuam na Lagoa dos Patos, e, por conseguinte, o sistema possui inúmeros tributários fornecedores de água e sedimento, dentre eles destaca-se o complexo Guaíba. Situado a norte do corpo lagunar, este complexo é formado pelos rios Jacuí, Sinos, Caí e Gravataí. Em sua parte central, outro contribuinte menor de água doce é o rio Camaquã, que constrói um sistema deltaico na porção central da margem oeste da laguna (Figura 1) (Baitelli, 2012). Desaguando diretamente na Lagoa dos Patos, o rio Camaquã possui vazão média anual de $307\text{m}^3/\text{s}$ (Vaz, 2006).

Seus rios afluentes respondem ao clima temperado apresentando grandes anomalias positivas de descarga fluvial em escalas interanuais que são associadas a eventos de El Niño Oscilação Sul (Marques et al., 2006). O sistema lagunar em questão tem a dinâmica de suas águas condicionada pela descarga da água doce, e de acordo com cálculos realizados por Toldo (1994), o tempo de residência dessas águas é de aproximadamente 108 dias.

Em baixas e moderadas descargas, o vento tende a forçar a circulação da Lagoa dos Patos, e em altas descargas apenas ventos muito fortes podem forçar entradas de águas salgadas no sistema lagunar. Tomazelli (1993) observou que o vento dominante na região costeira do RS provém de NE e, embora sobre ao longo de todo o ano, é mais ativo nos meses de primavera e verão. O vento de W-SW, secundário, é mais eficaz nos meses de inverno. Por meio de experimentos numéricos obtidos por Marques et al. (2006) pode-se inferir que os ventos de NE contribuem para o transporte de águas em direção ao sul e espalhamento da pluma da Lagoa dos Patos em direção ao oceano. Ventos transversais à costa, por sua vez, podem contribuir para o aumento dos níveis de água na zona costeira condicionando um transporte preferencial de águas em direção ao sul, enquanto o efeito da maré é importante nos processos de mistura e intensificação do transporte em direção ao norte durante períodos de ventos fracos (Marques et al., 2006).

Toldo et al. (2006a) realizaram medidas de ventos e predição de ondas ao longo do litoral da Lagoa dos Patos. Por meio destas medições foram inferidas as frequências dos ventos com velocidades entre 0 e 2 m/s de pequena duração, constituindo-se

em um dos principais mecanismos de controle que limitam o crescimento das ondas na laguna.

Conforme indicado por Toldo (Toldo, 1994 e Toldo et al., 2000) este corpo d'água costeiro é muito pouco influenciado pela maré astronômica (< 45 cm) e tanto seu piso lagunar como suas margens são vulneráveis a ação das ondas, cujas alturas significativas podem atingir 1,6 m.

Na região em estudo, as correntes de marés são consideradas inexpressivas e as grandes correntes oceânicas do Atlântico Sul (Corrente do Brasil e Corrente das Malvinas), que agem muito afastadas da costa, não afetam diretamente a sedimentação costeira. Conforme concluído por Motta (1967), no RS, a deriva se processa em ambos os sentidos da linha de costa, mas com predominância final no sentido NE, refletindo o regime específico de ondas que incide sobre a costa de configuração retilínea. A desembocadura da Lagoa dos Patos é um indicador geomorfológico que confirma esta deriva resultante em direção NE ao longo da costa, devido ao seu deslocamento no sentido desta deriva resultante.

Em consequência do elevado volume de água doce que chega à Lagoa dos Patos, as águas da laguna apresentam salinidade baixa, de aproximadamente 30/00 (Toldo et al., 2006b). A passagem de frentes meteorológicas é a principal responsável pelo transporte de sal no estuário, porém a intensidade da descarga e a inclinação dos ventos de sudeste podem não condicionar a salinização. A salinidade responde à ação dos ventos e a propagação do sal em direção à costa se manifesta como uma oscilação barotrópica.

Na porção norte da Lagoa dos Patos, devido à maior descarga fluvial, a carga de material em suspensão é de 70 a 30 mg/l, a porção média é de 15 mg/l e na parte estuarina, varia entre 4 mg/l na superfície, e 32 mg/l junto ao fundo, devido à flocculação.

Sabe-se que o sistema lagunar dos Patos possui uma grande extensão superficial em relação a sua pequena profundidade, gerando assim uma seção transversal que lembra a forma de um prato. Tal forma permite dividir a lagoa, em relação ao relevo submerso, em duas regiões morfológicas. Essas duas regiões, morfológica e sedimentologicamente distintas, separadas pelas profundidades de 5 a 6 m, são as margens arenosas e o fundo lamoso e plano da laguna, o qual corresponde a maior região.

No lado oeste, a margem arenosa, que compreende 40% de área da laguna, possui inclinações de aproximadamente 1/1500, enquanto no lado leste os gradientes são mais elevados, da ordem de 1/200 (Toldo et al., 2005).

Os sedimentos ao longo da margem leste da laguna são areias de tamanho predominantemente fino e muito bem selecionadas, enquanto do lado oeste são pobremente selecionados com tamanhos entre areia fina e cascalho (Martins et al., 1989). No piso lagunar, há a seguinte distribuição sedimentar: na porção norte os sedimentos possuem menos de 4% de areia e consistem principalmente de silte e silte argiloso, na porção sul do piso lagunar há argilas siltosas de cor predominantemente verde acinzentada. A matéria orgânica terrígena é abundante, com percentagens máximas de até 30% (Toldo et al., 2005).

Rochas polimetamórficas, ígneas e sedimentares do embasamento cristalino e sequências sedimentares e ígneas da Bacia do Paraná são fontes dos sedimentos acumulados na laguna. Outra contribuição provém do retrabalhamento dos depósitos da planície aluvial interna e do sistema de barreiras múltiplas, que constituem dos terrenos cenozóicos das margens do corpo lagunar (Villwock & Tomazelli, 1995).

A taxa de sedimentação holocênica da Lagoa dos Patos é variável entre 0,52 e 0,75 mm/ano e suas taxas de sedimentação de curto período, por sua vez, indicam valores de 3,5 e 8,3 mm/ano (Toldo et al., 2005).

Nas margens da lagoa dos Patos ocorrem diversos esporões/pontais arenosos, feições marcantes por sua magnitude e pelo seu registro geológico em relação aos processos sedimentares. Esses esporões projetam-se para o interior da laguna por distâncias aproximadas de 5 a 25 km e com altura média de 1 m (Pereira et al., 2009). Segundo Toldo (1994), cada pontal cresce com direção distinta, porém se desenvolvem sobre uma superfície submersa rasa de -1 m.

Conforme supracitado, a expressiva contribuição hídrica da Lagoa dos Patos condiciona os padrões observados em seu sistema. Dentre eles, destaca-se a não observação de qualquer registro, passado ou presente, do crescimento de bancos arenosos (Toldo & Dillenburg, 2000), em tamanho suficiente para obstruir o canal de comunicação entre a laguna e o oceano. Além do jato hidráulico observado no local, pode-se afirmar que as mudanças de nível de água, por glacio-eustasia e/ou por fatores climáticos, resultam em deslocamento vertical da dinâmica sedimentar

responsável pelo desenvolvimento de novos esporões que permitiriam o fechamento do corpo lagunar. Ademais, outro aspecto importante para este não fechamento é a observação de um padrão atual de sedimentação da margem oeste lagunar e erosivo da parte sul-leste.

Um aspecto relevante da Lagoa dos Patos é a ocorrência de gás em seus pacotes sedimentares intralagunares, revelados através de reflexões acústicas anômalas. Embora distribuído ao longo de todo o sistema, nas áreas onde há predominância de silte e argila, há também as maiores concentrações de gás (Vasconcellos, 2009).

2.3.1. Estudos realizados na Lagoa dos Patos: ênfase à utilização de dados sísmicos

Com grande destaque na costa do RS, a Lagoa dos Patos abrange diversos estudos acerca de seu contexto evolutivo geológico e paleogeográfico, como estudos de Barboza & Tomazelli (2003), Barboza et al. (2006), Corrêa et al. (2003; 2004), Ortiz (1995), Toldo (1994), Toldo et al. (2000; 2005; 2006a; 2006b), Toldo & Dillenburg (2000), Weschenfelder (2005), Weschenfelder et al. (2005a; 2006; 2014; 2016).

Dados sísmicos obtidos na Lagoa dos Patos têm sido bastante explorados em pesquisas mais recentes. Sua utilização é bem ampla, como: mapeamento de fácies sísmicas, análise da sedimentação local, estabelecimento de sequências sismodeposicionais, análise de acumulações de gás, observação de drenagens pretéritas da Lagoa dos Patos.

Toldo (1994) e Toldo et al. (2000) estudaram a sedimentação holocênica na Lagoa dos Patos utilizando ecogramas de 7 kHz. Ortiz (1995) utilizou trechos desses mesmos ecogramas de 7 kHz para auxiliar na identificação do canal fluvial pleistocênico do Rio Camaquã.

O levantamento sísmico no canal de acesso a Lagoa dos Patos, em Rio Grande, foi alvo dos estudos de Corrêa et al. (2003) e Corrêa et al. (2004), onde foi possível reconhecer estruturas de barreiras transgressivo-regressiva. Dados sísmicos, recentes e de alta resolução (3,5 kHz), foram utilizados por Weschenfelder (2005) e Weschenfelder et al. (2005a) para inferir a respeito dos elementos arquiteturais do substrato da Lagoa dos Patos, resultando no reconhecimento três sequências sísmicas e suas fácies sísmicas constituintes.

Vasconcellos (2009), Vasconcellos et al. (2006; 2008), Weschenfelder et al. (2005b; 2006) utilizaram os mesmos dados sísmicos de 3,5 kHz para distinguir anomalias acústicas devida à presença de gás. O trabalho de Vasconcellos (2009) permitiu associar as acumulações de gás aos sistemas de paleodrenagens do Pleistoceno e do Holoceno – conforme proposto por Weschenfelder (2005b), e também à sedimentação holocênica proposta por Toldo et al. (2000).

Toldo et al. (2006b), utilizando dados sísmicos obtidos de frequências de 7 kHz da Lagoa dos Patos, pode identificar um refletor sísmico que representaria a superfície sobre a qual se desenvolveu a sedimentação lagunar holocênica.

Pereira (2008) e Pereira et al. (2009) através dos dados sísmicos pode reconhecer e mapear as fácies sísmicas relacionadas com os pontais arenosos da Lagoa dos Patos, apresentando novas e significativas informações para os estudos sobre o desenvolvimento dessas feições.

Weschenfelder et al. (2008b; 2010a; 2010b; 2014; 2016), observaram a presença de paleocanais soterrados que dissecaram a zona costeira do RS e enfatizaram o estudo do sistema de paleodrenagem vinculado ao curso atual do rio Camaquã. A ênfase nos paleocanais também foi enfocada no trabalho de Bortolin & Weschenfelder (2014).

Weschenfelder (2005c) e Bortolin & Weschenfelder (2011), por sua vez, forneceram substanciais interpretações para o estudo evolutivo da geologia na região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

Baitelli (2012) teve como enfoque a drenagem pretérita do rio Jacuí e pôde identificar sequências sismodeposicionais na Lagoa dos Patos, que permitiram a caracterização de depósitos fluviais, estuarinos e marinhos da área. Weschenfelder et al. (2014) também reconhecerem as sequências sismodeposicionais do sistema e estabeleceram eventos de incisão e preenchimento dos vales e canais fluviais locais.

Weschenfelder et al. (2008a) com base nos dados sísmicos, discute a ideia de que a Barra Falsa representa um canal pretérito de ligação (*inlet*) entre a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico. Mais tarde, Tomazelli et al. (2014) discutem essa proposta por meio de argumentos de ordem geológica, geomorfológica, hidrológica, sedimentológica e geofísica, e apoiados por dados palinológicos interpretados por

Cordeiro (1991, *apud* Tomazelli et al., 2014) e Cordeiro & Lorscheitter (1994, *apud* Tomazelli et al., 2014).

Santos-Fischer et al. (2016) aliaram seções sísmicas às assembleias de diatomáceas, sondagens estratigráficas e amostras superficiais de sedimentos, para, através de uma abordagem paleoecológica, fornecer subsídios para estudos das mudanças do Quaternário na costa sul do Brasil, reafirmando a ideia de que a Barra Falsa é o remanescente morfológico de um paleocanal de ligação (*inlet*) entre a Lagoa dos Patos e o oceano adjacente.

Weschenfelder et al. (2016), através de dados sísmicos, relatou a presença de sedimentos carregados de gás no Brasil, Argentina e África do Sul, e a Lagoa dos Patos foi um dos exemplos brasileiros, que podem servir de modelos análogos para outros ambientes costeiros.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MÉTODOS SÍSMICOS

O método sísmico se baseia na propagação das ondas sísmicas (ondas elásticas) com diferentes velocidades em diferentes tipos de meios. Assim, sempre que um trem de ondas sísmicas encontra um meio diferente do qual vem se propagando, há uma diferença de impedância acústica entre os meios, e as ondas são refletidas para a superfície ou refratadas para o próximo estrato (Missimer & Gardner, 1976).

De acordo com Mosher & Simpkin (1999), a impedância acústica (I) é, por definição, o produto entre a velocidade acústica compressional (longitudinal ou primárias) e a densidade do meio (ρ). A velocidade de propagação das ondas acústicas em um meio, por sua vez, é definida como função de suas constantes elásticas, como o módulo de Young (E), módulo de rigidez (m), módulo de Poisson (n) e módulo de compressão (k) (Ayres Neto, 2000). As constantes variam de acordo com o meio e relacionam-se com a quantidade de deformação sofrida por um material em função da força exercida sobre ele.

A amplitude do sinal refletido no método sísmico é função de uma complexa interação entre diversos fatores, mas de forma geral, quanto maior a diferença de impedância entre os meios, maior será a quantidade de energia refletida e mais forte será o registro sísmico. Por serem mais densos, os sedimentos mais compactos, menos porosos e com baixo teor de água e os afloramentos rochosos, refletem maior quantidade de energia. Em sedimentos porosos e saturados, com baixas densidades, há pouca reflexão (Ayres Neto, 2000) e em meios homogêneos de propagação, por sua vez, não há contraste (Gomes, 2013). O efeito da interface sobre a amplitude do sinal sísmico é medido numericamente através do coeficiente de reflexão (R):

$$R = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1}$$

Onde:

ρ : densidade;

v : velocidade da onda P;

I : impedância acústica;

1: representa os valores na primeira camada;

2: representa os valores na segunda camada

Esta equação resulta em $-1 \leq R \leq +1$, que indica a fase de π do raio refletido. Em um registro sísmico, a representação da amplitude do sinal em sequência compõe um horizonte refletor, ou refletor sísmico, que, genericamente, representa uma camada geológica distinta (Ayres Neto, 2000).

A utilização de métodos geofísicos para análise de superfície e subsuperfície marinha tem se mostrado muito eficiente, uma vez que proporciona uma visão contínua da área submersa e leito do corpo aquático e permite adquirir grande volume de dados dentro de pouco tempo. Além disso, esses métodos são não destrutivos, baseando-se em aquisições indiretas que não alteram o ambiente em questão (Souza, 2006).

Além das vantagens supracitadas, inúmeras considerações podem ser feitas a partir do registro sísmico. Sendo assim, ao analisar o comportamento dos refletores sísmicos é possível inferir, entre outros, sobre a configuração das reflexões, que indicam: padrão de estratificação, processo deposicional, erosão, paleotopografia e

contato de fluidos. A amplitude das reflexões fornece informações sobre: contraste velocidade/densidade, espaçamento dos estratos e o conteúdo fluido. O produto do registro sísmico poderá ainda ser associado à amostragem direta, sempre que dentro de sua resolução, o que proporciona uma observação *in situ* dos diagnósticos (Félix, 2012).

Existem vários tipos de fontes sísmicas utilizadas na aquisição sísmica marinha, cada uma emitindo um sinal dentro de um determinado espectro de frequência e com uma assinatura característica conforme o tipo de aplicação desejada. Fontes sísmicas com frequências mais altas geram um registro com maior resolução vertical, permitindo assim, uma maior definição das camadas geológicas de subsuperfície. Para a presente pesquisa, optou-se pela utilização de perfis sísmicos adquiridos a partir de uma fonte emissora de alta frequência com sinal de 3,5 kHz.

3.2. AQUISIÇÃO DE DADOS SÍSMICOS

O levantamento de perfis sísmicos de alta resolução realizado na Lagoa dos Patos ocorreu a bordo da Lancha Oceanográfica LARUS da Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Na primeira campanha, ocorrida entre 30/11/02 e 05/12/02, foram levantados cerca de 400 Km de dados sísmicos distribuídos em 12 perfis (1 a 12). Na segunda campanha, realizada entre 24/07/06 e 28/07/06, foram levantados cerca de 320 Km seccionados em 15 perfis sísmicos (13 a 27) (Figura 5). Na célula sul, que é a área de interesse do presente trabalho, se encontram cerca de 106 Km de dados sísmicos distribuídos em quatro perfis da campanha I e 47 Km distribuídos em três perfis da campanha II.

A rota e o posicionamento dos perfis foram feitos com auxílio de um sistema de posicionamento por satélite (DGPS) e os dados sísmicos foram obtidos com um equipamento perfilador de subsuperfície *GeoAcoustics*. O sistema *GeoAcoustics*, analógico e digital, operou na frequência de 3,5 kHz, associado com o processador digital com sistema de aquisição, gravação, correção de imagem, análise do sinal, geração, impressão e exibição dos perfis em tempo real.

O sistema de aquisição sísmica foi composto pelo receptor Geopulse (5210A); transmissor Geopulse (5430A); transdutor (132B, com 4 elementos); impressora (EPC HSP1086); unidade de processamento (GeoPro); unidade digital Pentium III

com software de aquisição sonarwiz da *Chesapeake Technology, Inc.*, com acessórios e periféricos. Uma sumarização do sistema sísmico utilizado bem como a localização do DGPS e transdutor a bordo pode ser observado na Figura 6.

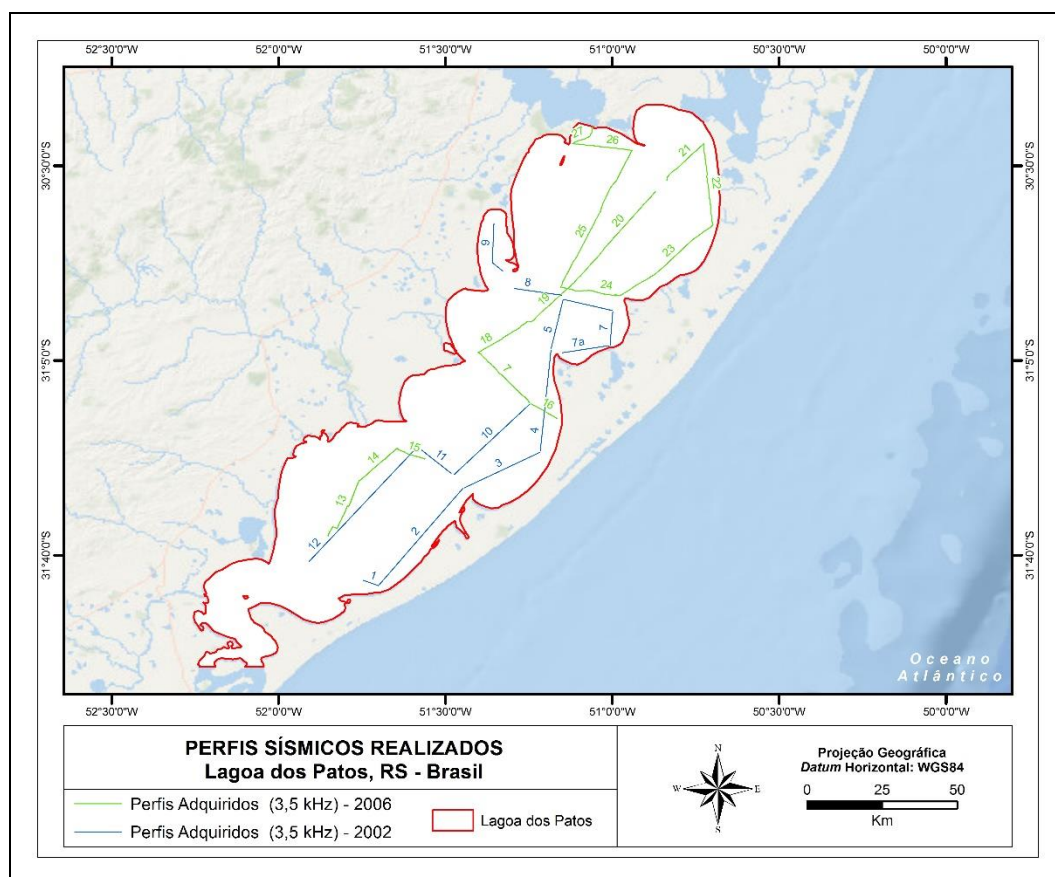


Figura 5: Mapa de localização dos perfis levantados em 2002 e em 2006 na Lagoa dos Patos.

As características principais desse sistema de aquisição são: ajuste da potência de saída (10 kW contínuo); ajuste da impedância (12.5, 25, 50 ou 100); ajuste contínuo da frequência de 2 a 7 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.

Para o presente trabalho considerou-se a velocidade média de deslocamento do sinal acústico de 1650 m/s no pacote sedimentar e de 1500 m/s na água (Jones, 1999).

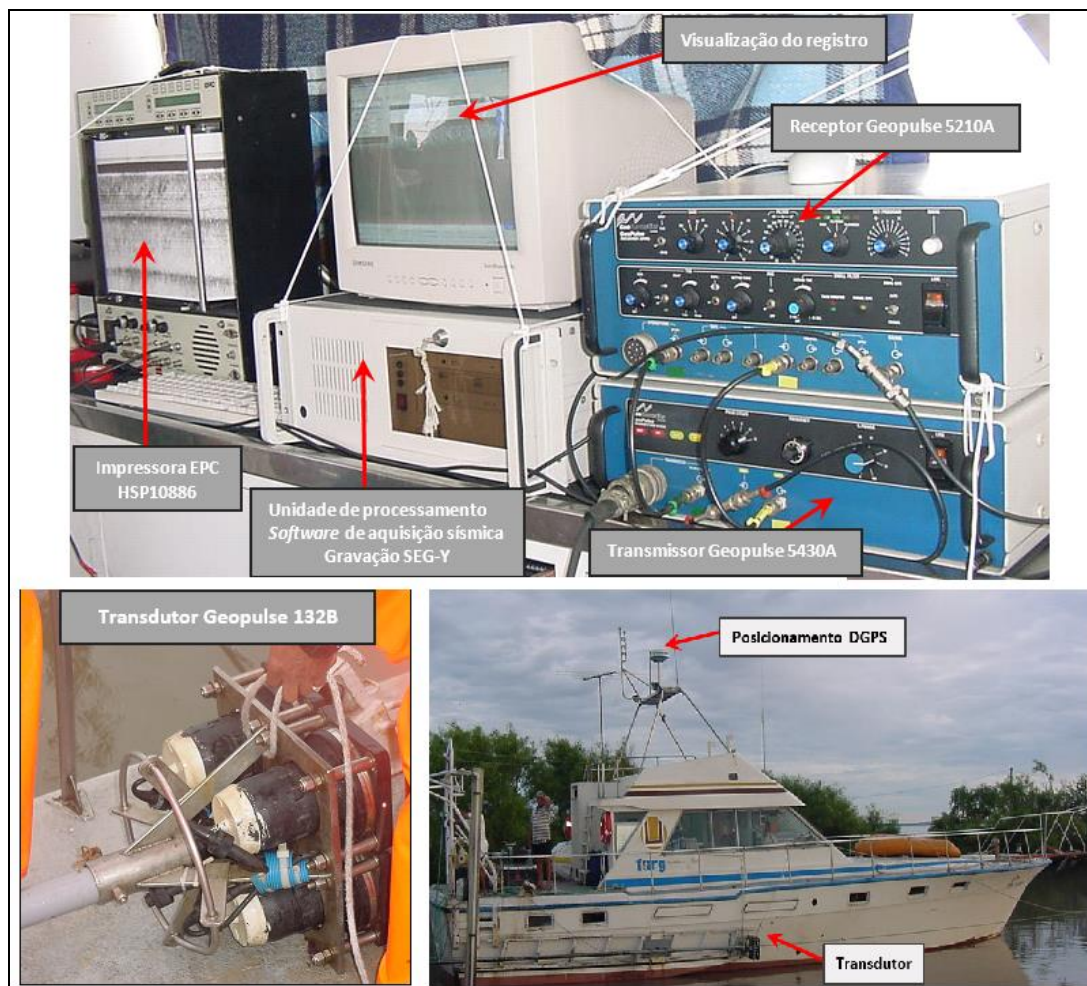


Figura 6: Sistema GeoAcoustics utilizado na aquisição e processamento em tempo real dos dados sísmicos.

3.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS SÍSMICOS

O processamento inicial dos dados sísmicos foi realizado no *software* C-View Processing, criado pela empresa EGS (ASIA) LTD e gentilmente liberado pela empresa EGS Brasil para a execução deste trabalho. Para o tratamento dos dados nesse *software* faz-se necessário definir os parâmetros geodésicos do projeto, selecionar os módulos de configuração do próprio *software* e adicionar as variáveis relativas à aquisição dos dados (como *offsets*, velocidade do sinal acústico, entre

outros). Após as configurações iniciais do C-View, os sismogramas foram submetidos às seguintes etapas:

- Visualização dos perfis e aplicação de filtros (quando necessários) para a melhor análise dos dados e confecção de imagens;
- Criação de arquivos em formato “.xyz” com a localização geográfica dos perfis, de forma a georreferenciá-los. Nessa etapa, os arquivos georreferenciados foram exportados na projeção UTM 22 Sul, WGS84;
- Identificação e marcação dos refletores de fundo e de interesse dos perfis;
- Identificação, agrupamento e delimitação dos eco-caracteres;

Os arquivos gerados nas etapas supracitadas foram inseridos no *software* ArcMap 10[®], a partir de onde se puderam analisar parâmetros estatísticos, distribuições esquemáticas e confecção de mapas.

Vale ressaltar que, como a malha de coleta de dados sísmicos não foi homogênea nem unidirecional, optou-se por não extrapolar os dados para toda a célula sul. Isto porque o erro assumido seria grande, uma vez que os dados apresentam uma grande lacuna entre si. Ademais, um eco produzido em um ponto não será necessariamente o mesmo no ponto adjacente. Sendo assim, as porcentagens de distribuição de eco-caráter foram obtidas diretamente a partir das linhas de levantamento.

3.4. ANÁLISE DOS DADOS SÍSMICOS

3.4.1. Mapeamento de Eco-caráter

Eco-caráter é o termo utilizado para o conjunto de características físicas do eco refletido a partir do pulso de energia da fonte acústica de alta resolução. A maioria dos estudos de eco-caráter faz uso de fontes sísmicas de 3,5 kHz, uma vez que esta é alta o bastante para haver definição do substrato (Félix, 2012). Porém, bons resultados podem ser obtidos com outras fontes acústicas, desde que sejam de alta resolução, baixa energia e não visem à penetração nos estratos sedimentares (Souza, 2011).

O retorno do eco é produzido pelo contraste de impedância acústica entre os meios, relacionando-se diretamente ao tipo de material de fundo (granulometria, compactação, etc.), às camadas sedimentares em subsuperfície (coeficiente de reflexão, espessura das camadas, interferência entre as camadas, reflexões internas múltiplas, etc.) e a morfologia do fundo (difrações, extensão das camadas, variação lateral no espaçamento das camadas, etc.) (Magrani, 2011). Sendo assim, a identificação e classificação de eco-caráter são intrínsecas às características da área estudada, onde, cada retorno diferente do sinal sísmico, pode configurar um eco-caráter diferente.

Dessa forma, estudos de eco-caráter fornecem uma base importante para a interpretação dos processos deposicionais e erosivos de ambientes aquosos (Damuth, 1978; Lee et al., 2002). Além disso, podem colaborar com a identificação de acumulações de gás nos sedimentos e atuação antrópica no ambiente (áreas de bota-fora, de ancoragem, de dragagem, etc) e fornecer informações até mesmo sobre as fontes de sedimento (aporte de sedimento e/ou matéria orgânica pelos rios, proximidade a campos de dunas, proximidade de locais com atividade vulcânica, etc).

Trabalhos clássicos utilizando eco-caráter (Damuth, 1975; 1978; 1980; Damuth & Hayes, 1977), bem como trabalhos mais recentes (Grossman, 2002; Catanzaro et al., 2004; Ayres Neto et al., 2009; Magrani, 2011; Félix, 2012; Gomes, 2013; Silva et al., 2014) são tidos como referência para o presente trabalho. Os trabalhos mais recentes foram selecionados como base conforme seus objetivos e/ou escala da área de estudo se aproximavam dos do presente trabalho. Grossman (2002) classificou diferentes tipos de eco para perfis de 3,5 kHz no delta submarino do Amazonas; Catanzaro et al. (2004) fizeram uma descrição geral das características de fundo da Baía de Guanabara com base em amostras de sedimentos de fundo e na interpretação de perfis de perfilador de sub-fundo de alta frequência (7 kHz); Ayres Neto et al. (2009) realizou uma compilação de dados já publicados da margem continental brasileira, a fim de avaliar o estado da arte do conhecimento da região em termos de ecofácies e sua relação com a geologia do fundo marinho; Magrani (2011), buscou através dos eco-caracteres realizar a caracterização da geologia do fundo na região da margem continental das Ilhas Shetland do Sul (Antártica); Félix (2012) objetivou a identificação dos processos deposicionais do Canal da Bertiooga (SP) para posterior geração de um modelo de evolução geológica do local; Gomes

(2013) desenvolveu, por meio de dados sísmicos de 3,5 kHz em conjunto com demais dados geofísicos, cronológicos e sedimentológicos, uma investigação acerca da evolução sedimentar holocênica e os processos atuais que regem a sedimentação na plataforma continental ao largo de Cabo Frio (RJ); por fim, Silva et al. (2014) reconheceram os tipos de eco-caracteres existentes no sistema estuarino de Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim (ES) objetivando melhor entendimento dos processos sedimentares atuantes neste sistema.

É importante mencionar que Toldo (1994) definiu o caráter do eco na Lagoa dos Patos, com base em dados sísmicos de 7 kHz. Este autor determinou 2 tipos de ecos: os distintos - contínuos, bem definidos, sem refletores de subsuperfície (IA); os indistintos - semi-prolongados, com intermitentes zonas de refletores de subsuperfície, descontínuos e paralelos (IIA). O eco IA estava associado às superfícies de textura grossa e observados nas curvas batimétricas entre 0 e -5 m, no domínio arenoso da laguna. Já o eco IIA foi registrado em seções sobre o piso lagunar, equivalente ao domínio textural lamoso da laguna.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYRES NETO, A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, [s.l.], v. 18, n. 3, p.241-256, 2000. FapUNIFESP (SciELO).

AYRES NETO, A.; FALCAO, L. C.; AMARAL, P. J. T. Caracterização de ecofácies na margem continental norte Brasileira: estado do conhecimento. **Revista Brasileira de Geofísica**. São Paulo, v. 27, supl. 1, p. 097-106, 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2009000500008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 26 Jan 2016.

BAITELLI, R. **Evolução Paleogeográfica do Sistema de Paleodrenagem do Rio Jacuí na Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. 2012. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 149p., Porto Alegre, RS, 2012.

BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J. Erosional features of the eastern margin of the Patos Lagoon, Southern Brazil: Significance for Holocene history. **Journal of Coastal Research** SI 35, 260-264, 2003.

BARBOZA, E. G.; TOLDO, E. E.; TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; AYUP-ZOUAIN, R. N. Stratigraphic and holocenic evolution of the submerged platform of the eastern margin of the Lagoa dos Patos lagoon, RS. **Journal of Coastal Research**, 39 (1), 266-269, 2006.

BORTOLIN, E.C.; WESCHENFELDER, J. Correlação entre perfis sísmico e litológico no estudo evolutivo da Lagoa dos Patos, RS. In: **XXIII Salão de Iniciação Científica**, UFRGS, 2011, Porto Alegre. Disponível em <http://www.propesq.ufrgs.br/sic/>. 2011.

BORTOLIN, E.C.; WESCHENFELDER, J. Evolução de Paleovales Quaternários por Meio de Interpretação de Fácies Sísmicas na Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. In: **XIX Congresso Geológico Argentino**, Junio 2014, Córdoba. 2014.

CATANZARO, L. F.; BAPTISTA NETO, J. A.; GUIMARÃES, M. S. D.; SILVA, C. G. Distinctive sedimentary processes in Guanabara Bay – SE / Brazil, based on the analysis of echo-character (7.0 kHz). **Revista Brasileira de Geofísica**, v.22 (1), p.69- 83, 2004.

CORRÊA, I.C.S.; ALIOTTA, S.; WESCHENFELDER, J. Evidências de estruturas de barreira no canal de acesso à laguna dos Patos. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2003. Recife-PE. **Boletim de resumos expandidos**. CD-ROM, 3 p., 2003.

CORRÊA, I.C.S., ALIOTTA, S., WESCHENFELDER, J. Estruturas e evolução dos cordões arenosos pleistocênicos no canal de acesso à Laguna dos Patos - RS, Brasil (Structures and evolution of the pleistocenic sand beach ridges in the Patos Lagoon inlet, RS, Brazil). **Pesquisas em Geociências** 31, 69-7, 2004.

DAMUTH, J. E. Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. **Marine Geology**, v. 18 (2), p. 17-45, 1975.

DAMUTH, J. E.; HAYES, D. E. Echo character of the East Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. **Marine Geology**, 24 (2), p. 73-95, 1977.

DAMUTH, J. E. Echo character of the Norwegian—Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation. **Marine Geology**, v. 28 (1–2), p. 1-36, 1978.

DAMUTH, J. E. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. **Marine Geology**, 38 (1-3), p. 51-75, 1980.

DILLENBURG, S.R., **Contribuição à Evolução Paleogeográfica Quaternária da plataforma continental do Rio Grande do Sul**. 1988. 77 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988.

FÉLIX, C. A. **Evolução Quaternária Superior e Formação de Gás Raso em Ambiente Estuarino Tropical: O Caso do Canal de Bertioga, São Paulo**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Oceanografia Química e Geológica, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2012.

FONTANA, R.L. 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, 1990.

FONTANA, R.L. **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, 1996.

GOMES, C. M. M. **Caracterização de Ecos e Estruturas Indicativas de Paleambiente Através de Sísmica de Alta Resolução na Região de Cabo Frio, RJ**. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Geologia, Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ, 2013.

GROSSMAN, G. S. **Processamento e Interpretação de Dados Sísmicos de Parasound no Delta Submarino do Amazonas**. 2002. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Geologia, Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ, 2002.

JONES, E.J.W. **Marine Geophysics. Wiley & Sons (eds.)**, 466p. 1999.

LEE, S. H.; CHOUGH, S. K.; BACK, G. G.; KIM, Y. B. Chirp (2 ^ 7-kHz) echo-characters of the South Korea Plateau, East Sea: styles of mass movement and sediment gravity flow. **Marine Geology**, v. 184, p. 227-247, 2002.

MAGRANI, F. J. G. **Ecocaracteres Sísmicos e Correlação Sedimentar Na Margem Continental do Arquipélago das Shetland do Sul, Antártica**. 2011. 61 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geofísica, Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ, 2011.

MARQUES, C.W.; MONTEIRO, I.O.; MOLLER, O., FERNANDES, E.H. **A dinâmica da pluma costeira da Lagoa dos Patos, Brasil**. In: Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica II (Rio Grande, Brasil), 2006. Disponível em: <<http://www.semengo.furg.br/2006/01.pdf>. >. Acesso em: 05 mar. 2016.

MARTINS, I.R.; VILLWOCK, J.A.; MARTINS, L.R.; BENVENUTI, C. E. The Lagoa dos Patos Estuarine Ecosystem. **Pesquisas em Geociências**, (22), p. 5-44, 1989.

MISSIMER, T. M.; GARDNER, R. A. High-Resolution Seismic Reflection Profiling for Mapping Shallow Aquifers in Lee County, Florida. U. S. **Geological Survey Water Resources Investigation**, p.1-10.1976.

MOSHER, D. C.; SIMPKIN, P. G. Status and Trends of Marine High-Resolution Seismic Reflection Profiling: Data Acquisition. **Geoscience Canada**, v. 26 (4), p.174-188. 1999.

MOTTA, V. F. Estudo em modelo reduzido da regulamentação da embocadura lagunar de Tramandaí (Rio Grande do Sul). **Instituto de Pesquisas Hidráulicas**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1967.

ORTIZ, J.D.R. **O preenchimento sedimentar do vale inciso do Rio Camaquã, Quaternário da Província Costeira do RS**.1995. 182f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1995.

PEREIRA, C. M. **Reconhecimento e Mapeamento de Fácies Sísmicas em Perfis Sísmicos Localizados na Lagoa Dos Patos, RS - Brasil**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2008.

PEREIRA, C. M.; WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I. C. S. Reconhecimento e mapeamento de fácies sísmicas nos pontais arenosos da lagoa dos Patos, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências** (Online). v. 36, p. 23-35, 2009.

SANTOS-FISCHER, C.B.; CORRÊA, I. C. S.; WESCHENFELDER, J.; TORGAN, L. C.; STONE, J. R. Paleoenvironmental insights into the Quaternary evolution of the southern Brazilian coast based on fossil and modern diatom assemblages. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, [s.l.], v. 446, p.108-124, mar. 2016.

SILVA, A. E.; MENANDRO, P. S.; NASCIMENTO, K. A.; QUARESMA, V. S.; BASTOS, A. C. Interpretation of Sedimentary Processes Using Echo-Character Distribution: Case Study of Piraque-Açu and Piraque-Mirim Estuarine System, Aracruz – ES (Brazil). **Revista Brasileira de Geofísica**, Vitória, ES, v. 2, n. 32, p.301-309, 2014.

SOUZA, L. A. P. **Revisão Crítica da Aplicabilidade dos Métodos Geofísicos na Investigação de Áreas Submersas Rasas**. 2006. 311p. Tese (Doutorado) - Departamento de Oceanografia Química e Geológica, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, SP. 2006.

SOUZA, L. A. P. SBP 3.5, 7, 10kHz, *Chirp* (0.5-2.0kHz), *Chirp* (2-12kHz), *Chirp* (10-18 kHz), *Boomer* (0.5-2kHz) e *Sparker* (0.1-1.0kHz): quando decidir por uma ou por outra fonte acústica? 2011. *In: 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*. Rio de Janeiro, RJ, 15 – 18 de agosto. 2011.

TOLDO JR, E.E. **Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar da Lagoa dos Patos**. 1994. Porto Alegre, 143p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 1994.

TOLDO JR., E. E.; DILLENBURG, S. R. Swash Bar Migration at the Inlet of the Lagoa dos Patos Lagoon, Brazil. **Journal of Coastal Research**. SI37:489- 492, 2000.

TOLDO JR, E.E.; DILLENBURG, S.R.; CORRÊA, I.C.S.; ALMEIDA, L.E.S.B. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, 16(3):816-822, 2000.

TOLDO JR, E.E.; DILLENBURG, S.R.; CORRÊA, I.C.S.; ALMEIDA, L.E.S.B.; WESCHENFELDER, J. 2005. Sedimentação na Lagoa dos Patos e os impactos ambientais. *In: X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, 2005, Guarapari-ES. **Boletim de Resumos**, Guarapari, ABEQUA, 1 CD-ROM, 2005.

TOLDO JR., E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B.; CORRÊA, I.C.S.; FERREIRA, E.R.; GRUBER, N.L.S. Wave prediction along Lagoa dos Patos coastline, southern Brazil. **Atlântica**, 28(2):87-95, 2006a.

TOLDO JR., E.E.; DILLENBURG, S.R.; CORRÊA, I.C.S.; ALMEIDA, L.E.S.B.; WESCHENFELDER, J.; GRUBER, N.L.S. Sedimentação de Longo e Curto Período na Lagoa dos Patos. **Pesquisas em Geociências**, 33(2):79-86, 2006b.

TOMAZELLI, L. J. O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 20(1):18-26, 1993.

TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. *In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (eds.), Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Brasil: CIGO/UFRGS, pp. 375–406, 2000.

TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J. A. Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. **Gravel**, 3:109-115, 2005.

TOMAZELLI, L. J.; BARBOZA, E.G.; DILLENBURG, S.R.; ROSA, M. L. C. C. Origem e Significado Geológico da Barra Falsa: uma feição geomorfológica peculiar da margem leste da Lagoa dos Patos/RS, Brasil. **Gravel** (Porto Alegre), v. 12, p. 1-14, 2014.

VASCONCELLOS, V. E. B.; WESCHENFELDER, J.; PEREIRA, C. M. Acumulações de gás raso no substrato da Lagoa dos Patos reveladas por sísmica de alta resolução: caracterização, mapeamento e fatores condicionantes. *In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia*, 2006, Aracaju. **Anais do XLIII Congresso Brasileiro de Geologia**, p. 1-1. 2006.

VASCONCELLOS, V. E. B.; WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I. C. S; BAITELLI, R. Mapping and Characterization of Shallow Gas Accumulations in the Patos Lagoon, Southern Brazil. *In: XIII Congresso Latino-americano de Geologia*, 2008, Lima - Perú. CD-ROM; **Sociedade Geologica del Peru**, (1). p. 1-5, 2008.

VASCONCELLOS, V. E. B. **Mapeamento e caracterização das acumulações de gás raso na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil - RS**. 2009. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2009.

VAZ, A.C., MÖLLER JR., O.O., ALMEIDA, T.L.D. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, 28, 13–23. 2006.

VILLWOCK, J.A. **Contribuição a geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul-Brasil**. 1972. Porto Alegre. 123 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1972.

VILLWOCK, J.A. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil: A Synthesis. **Pesquisas em Geociências**, 16:5-49, 1984.

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.A.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; HORN, N.O.; BACHI, F.A.; DEHNHARDT, B.A. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, 4, 79–97, 1986.

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, 8:1-45, 1995.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. *In: Becker,F.G.; Ramos,RA; Moura,L.A.. (Org.). Biodiversidade. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul*. 1ªed.Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, p. 1-388, 2007.

WESCHENFELDER, J. **Processos sedimentares e variação do nível do mar na região costeira do Rio Grande do Sul-Brasil**. 2005. 131 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2005.

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I. C. S.; ALIOTTA, S. Elementos arquiteturais do substrato da Lagoa dos Patos revelados por sísmica de alta resolução. **Pesquisas em Geociências (Online)**. Porto Alegre, v. 32, n.2, p. 57-67, 2005a.

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I.C.S.; AYUP-ZOUAIN, R. N.; ALIOTTA, S.; PEREIRA, C.M.; VASCONCELOS, V. E. B. Gas accumulations revealed by high-

resolution seismics in the Patos lagoon, southern Brazil. *In: VIII International Conference on Gas in Marine Sediments, 2005, Vigo. Anais do evento e CD-ROM, 2005b.*

WESCHENFELDER J.; MEDEANIC, S.; CORRÊA I.C.S.; ALIOTTA, S.; PEREIRA, C.M.; VASCONCELLOS V. E.B. Holocene paleoenvironmental changes in the Bojuru region, RS, Brazil: a multidisciplinary approach. *In: X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Guarapari-ES. Boletim de Resumos, Guarapari, ABEQUA, 6 p. 2005c.*

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I.C.S.; ALIOTTA, S.; PEREIRA, C. M.; VASCONCELOS, V.E. B. Shallow gas accumulation in sediments of the Patos Lagoon, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Brasil, v. 78, n. 3, p. 607- 614, 2006.*

WESCHENFELDER, J.; MEDEANIC, S.; CORRÊA, I.C.S.; ALIOTTA, S. Holocenic Paleoinlet of the Bojuru Region, Lagoa dos Patos, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research, 24: 99-109, 2008a.*

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I.C.S.; TOLDO JR., E.E.; BAITELLI, R. Paleocanais como indicativo de eventos regressivos Quaternários do nível do mar no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica, 26: 367-375, 2008b.*

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I. C. S.; ALIOTTA, S.; BAITELLI R. Paleochannels Related to Late Quaternary Sea-Level Changes in Southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography, 58 (special issue PGGM): 35-44, 2010a.*

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I. C. S.; TOLDO JR, E. E.; BAITELLI, R. A drenagem pretérita do rio Camaquã na costa do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências (Online). v. 37, p. 13-23, 2010b.*

WESCHENFELDER, J; BAITELLI, R.; CORRÊA, I. C. S.; BORTOLIN, E. C.; SANTOS, C. B. Quaternary incised valleys in southern Brazil coastal zone. *Journal Of South American Earth Sciences, [s.l.], v. 55, p.83-93, nov. 2014.*

WESCHENFELDER, J., KLEIN, A. H. F.; GREEN, A. N.; ALIOTTA, S.; MAHIQUES, M. M.; AYRES NETO, A.; TERRA, L. C.; CORRÊA, I. C. S.; CALLIARI, L. J.; MONTOYA, I.; GINSBERG, S. S.; GRIEP, G. H. The control of palaeo-topography in the preservation of shallow gas accumulation: Examples from Brazil, Argentina and South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, [s.l.], v. 172, p.93-107, abr. 2016.*

O artigo apresentado como corpo principal da presente dissertação foi submetido à Revista Brasileira de Geofísica. A carta comprovando a submissão encontra-se no item de Anexos (Anexo I).

USE OF HIGH RESOLUTION SEISMIC DATA (3.5 kHz) TO MAP ECHO-CHARACTER: CASE STUDY IN PATOS LAGOON - RS (BRAZIL)

GABRIELA MULLER SAMPAIO BEXIGA¹, JAIR WESCHENFELDER², CÉSAR ALEXANDRE FÉLIX³

¹Programa de Pós-Graduação em Geociências, ²Instituto de Geociências (UFRGS),

²Centro de Estudo de Geologia Costeira e Oceânica (CECO), Instituto de Geociências (UFRGS)

³Empresa EGS Brasil

ABSTRACT

This study uses high-resolution subbottom profiles (3.5 kHz) associated with bathymetric and sedimentological data of the southern cell of Patos Lagoon aiming to map distinct types of echo-character. Three types of echo-characters were identified: echo A presented distinct and continuous surface (bottom) with well-defined subbottom reflections, generally parallel and continuous, which follow the topography of the surface; echo B was characterized by a diffuse primary reflector and poorly defined subbottom reflections, diffuse or blurry; echo C consisted of a plane and very strong well-defined first reflector and presents a series of low loss multiple reflections. From the 153 km of the total length of the seismograms, echo-character type A, B and C represents, respectively 76.45%, 19.3% and 4.25% of coverage. The results showed connection with bottom sediments distribution and the presence of gas within the sediment layers, suggesting that echo-character in the south portion of the Patos Lagoon is also sensitive to the geomorphological and hydrodynamics processes acting during sedimentation.

Keywords: seismic profiles, echo-facies, lagoon sedimentation, shallow gas.

RESUMO

Este estudo utiliza sísmica de alta resolução (3,5 kHz) associada a dados batimétricos e sedimentológicos da célula sul da Lagoa dos Patos objetivando o mapeamento de distintos tipos de eco-caráter. Três tipos de eco-caráter foram identificados: o eco A apresentou refletor primário (fundo) plano e forte, seguido por refletores fortes e bem definidos; o eco B foi caracterizado a partir de refletor primário difuso e reflexões de subsuperfície pouco definidas, difusas ou com aspecto de manchas; o eco C consistiu em refletor primário plano e muito forte, seguido por sucessivas reflexões múltiplas de baixa perda. Do total de 153 km de ecogramas observados, 76,45% representa o eco-caráter tipo A, 19,3% o B e 4,25% o C. Os resultados mostraram relação com a distribuição sedimentar de fundo e presença de gás intrassedimentar, sugerindo que o eco-caráter é sensível também aos processos geomorfológicos e hidrodinâmicos atuantes durante a sedimentação.

Palavras-chave: perfis sísmicos, eco-fácies, sedimentação lagunar, gás raso.

INTRODUCTION

Several researches involving high-frequency subbottom profiling has been carried out for different purposes, including studies to recognize types and distribution of echo-character (Damuth, 1975; 1978; 1980; Damuth & Hayes, 1977; Baptista Neto et al, 1996, 2011; Grossman, 2002; Lee et al., 2002; Rocha, 2003; Catanzaro et al., 2004; Ayres Neto et al., 2009; Félix, 2012; Gomes, 2013; Silva et al., 2014).

Echo-characters are patterns observed in the firsts sedimentary strata that are characterized by a set of physical characteristics of the reflected echo from high resolution seismic data. Its assessment provides an important basis for interpretation of depositional and erosional processes of aqueous environments (Damuth, 1978; Lee et al., 2002). Different types of seabed and/or subbottom might have different responses from echoes (Souza, 2006), since it responds differently to parameters as particle size, layer thickness, porosity, compaction, density, and others (Silva et al., 2014).

The Patos Lagoon, southernmost of Brazil, is a subject for several scientific investigations using high resolution seismic data, such as interpreting and mapping of seismic facies and seismic-depositional sequences, local sedimentation assessment, geology framework, gas accumulations analysis, and others issues (Weschenfelder, 2005; Weschenfelder et al., 2005, 2006, 2008a, 2008b, 2010a,

2010b, 2014, 2016; Vasconcellos, 2009; Toldo et al., 2006; Pereira, 2008; Pereira et al., 2009; Bortolin & Weschenfelder, 2014; Baitelli, 2012; Tomazelli et al., 2014; Santos-Fischer et al., 2016).

Associating high-resolution subbottom profiler echo-character, surface sediment distribution and bathymetric data, this study investigates sedimentary processes in the Patos Lagoon integrating geomorphologic and hydrodynamics characteristics of the area. The results may provide a basis for better understanding of the processes and depositional environments associated to the coastal plain of Rio Grande do Sul state.

ENVIRONMENTAL SETTING

The area of this study is the southern cell of the Patos Lagoon, located in the coastal plain of Rio Grande do Sul (RS) (Figure 1). The RS coastal plain, consists mainly of sandy deposits related to four transgressive-regressive events, which developed four lagoon-barrier type depositional systems (I, II, III and IV) (Villwock et al., 1986).

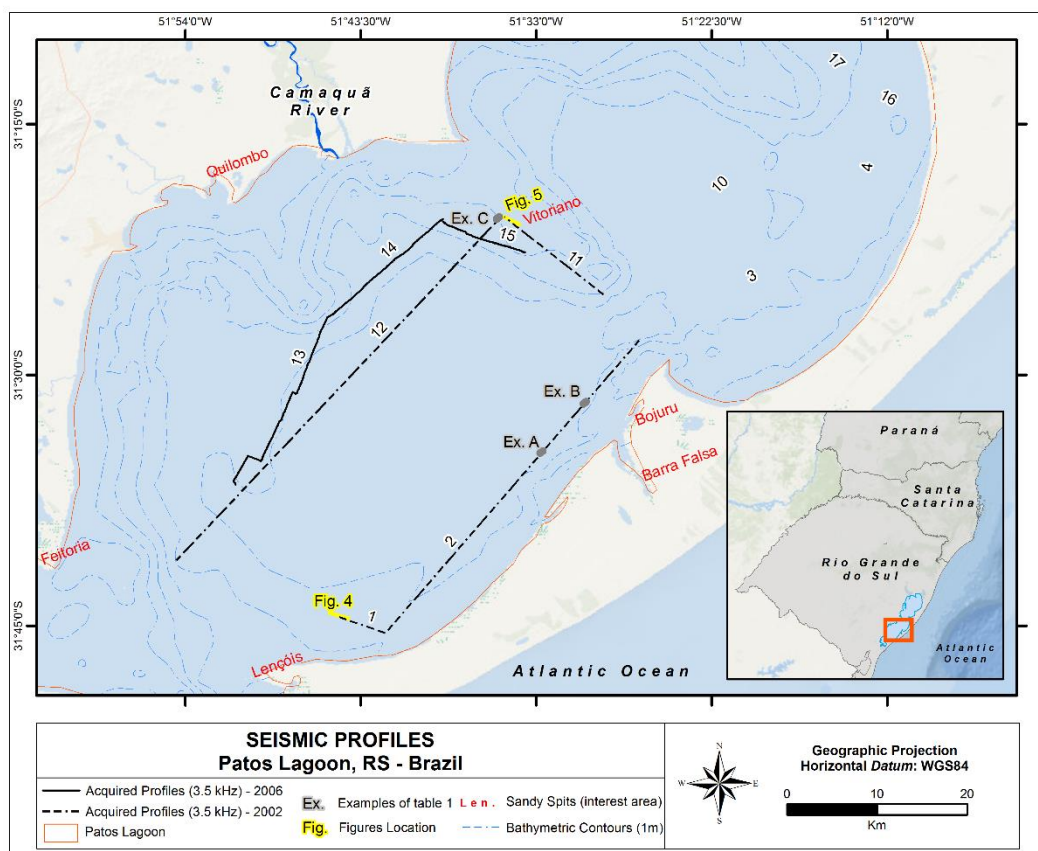


Figure 1: Map of the study site with acquired profiles, sandy spits and the location of the figures shown further on this paper.

With an average of 6 m in depth, the lagoon receives significant contribution of fresh water in the north by the Guaíba River complex and, in its central portion, the Camaquã River (Baitelli, 2012). With an average discharge of 307 m³/s (Vaz et al., 2006), the Camaquã River forms an intra-lagoon delta, which provides expressive amount of sediment and organic matter to the system. According to Marques (2012), freshwater discharge contributes to the circulation pattern, the exchange and mixing process, and the transport of suspended sediments along the coastal zone varying from monthly, seasonal, and even longer time scales (Marques et al., 2011).

According to its sedimentological and bathymetric features, the Patos Lagoon is divided into lagoon margin and lagoon floor and both are vulnerable to the action of the internally generated waves, whose significant heights can reach 1.6 m (Toldo et al., 2000).

In the west lagoon margin, sediments sizes vary from sand to gravel, whereas on the east side there is a predominance of very well selected fine sand. The lagoon floor is predominantly composed by silt, clayey silt and silty clay (Martins et al., 1989), and these sediments are mainly provided by the Guaíba River. The terrigenous organic matter is abundant, with maximum percentages of up to 30 % (Baitelli, 2012). The mud deposited in the lagoon floor occurs in depths bellow the base level of wave erosion, which rarely exceeds 4 m (Toldo, 1994).

Throughout the lagoon system, shallow gas accumulations can be observed, generally related to the areas where fine sediments are predominant (Vasconcellos, 2009).

METHODOLOGY

This study is mainly based on analysis of high frequency seismic records (3.5 kHz) of the southern cell of the Patos Lagoon, focusing on the identification and mapping of echo-characters. The choice of this area was determined by the opportunity to observe some relations between the echoes and the sedimentological and hydrodynamic factors such as sediment charge from the Camaquã River and its intra-lagoon delta, the influence of the Rio Grande inlet discharge, contribution of sandy spits, valleys and paleodrainages for sedimentary processes active in the area.

Seismic Survey

Approximately 153 km of 3.5 kHz seismic-reflection surveys were conducted in the southern cell of Patos Lagoon (Figure 1, profiles 1, 2, 11 to 15). The surveys were carried out aboard the research vessel *Larus* of the Rio Grande University. The seismic equipment employed was a GeoAcoustics subbottom profiler, consisting of a GeoPulse transmitter (5430A), a GeoPulse receiver (5210A), a 132B transducer array (4 mount), a GeoPro processor system and the SonarWiz® acquisition software. The transducers were mounted on a plate at the end of a vertical, gimbaled staff supported by a mounting pad fixed over the vessel's side. The dataset was saved in digital SEG-Y format, and data were acquired with auto TVG for its evaluation *in situ*. It is important to note that the TVG application on the fly tends to normalize the echograms. The location and track of transects were determined by a DGPS system linked to the subbottom profiler. The assumed sound velocity in sediments is 1,650 m/s (Jones, 1999).

Seismic Data Processing

The processing of the seismic data was conducted using the C-View Processing software, created by the company EGS (ASIA) LTD and kindly provided by the company EGS Brasil to perform this work. In the software platform, seismograms were visualized and filtered when necessary; files were exported in .xyz with the geographical location of the profiles; echo-characters were identified, grouped and delimited.

Echo-character Mapping

The echo-characters were determined by: i) aspect of the primary reflector (bottom); ii) the occurrence of subbottom reflections; iii) geometry of the subbottom reflections. Once identified, the echoes were grouped into three distinct groups and exported to be later georeferenced and assessed on a GIS platform.

Geoprocessing

The files generated in the above steps were inserted into ArcMap 10® software to analyze statistical parameters, schematic distributions and making maps. As the seismic data grid was not homogeneous, or equidistant, it was decided not to extrapolate the results to the entire southern cell.

For a better visualization of the results, when an echo-character occurred in small spots merged with another, only the predominant echo-character in the area remained in the map. Nevertheless, to not bias the statistical analysis, echo-character distribution percentages were obtained directly from the survey lines.

The bathymetric data used in the analysis was obtained by digitizing a set of charts (number 2140) of the Brazilian Navy Hydrographic Center (CHM), available in digital format (<http://www.mar.mil.br>). After vectorize the bathymetric points, the data were interpolated by natural neighbor method.

RESULTS AND DISCUSSION

Classification of Echo-character

The interpretation of the acoustic responses of this work resulted in the definition of three types of echo-characters: A, B and C. In the three types, the acoustic signal had continued penetration along each profile, reaching its maximum at 50 ms (~40 m) in profiles 13, 14 and 15, and 25 ms (~20 m) in profile 1, 30 ms (~24 m) in profiles 2 and 11, 37 ms (~30 m) in profile 12.

The characteristics of the echo-characters A, B and C are summarized in (Table 1).

Echo-character A

Type A comprises an echo presenting distinct and continuous surface (bottom) with well-defined subbottom reflections, generally parallel and continuous, which follow the topography of the surface (Table 1). This echo-character is similar to interpreted echoes from Catanzaro et al. (2004), Ayres Neto et al. (2009) and Félix (2012). According to these authors, the characteristic of these distinct reflectors suggests muddy sedimentation (silt and clay) occurring in areas of low hydrodynamic conditions.

Echo-character A occurs in the entire study area and its very representative in seismic records: approximately 117 km of extension, representing 76.45% of the total length of the profiles (Figure 2).

In some areas along the profiles, well defined semi-transparent acoustic layers interleave strong reflections (Figure 3). As the pattern of the strong reflections remained even with the presence of these areas, it was decided to not distinguish them.

Echo-character B

The echo-character B presents a diffuse primary reflector and poorly defined diffuse subbottom reflections (Table 1). This pattern resembles echoes previously interpreted by Ayres Neto et al. (2009) and Félix (2012). This reflection pattern can be formed by the dilution of coarser sediments through the predominantly muddy matrix of the area (McClennen, 1989). Moreover, combining the echoes to the concepts of seismo-stratigraphy, chaotic and irregular internal reflections may indicate the occurrence of widespread gas, as noted by Gomes (2013). As observed by Weschenfelder et al. (2006), seismic profiles inside Patos Lagoon shows anomalous acoustic configurations commonly attributed as typical for sediments loaded with gas.

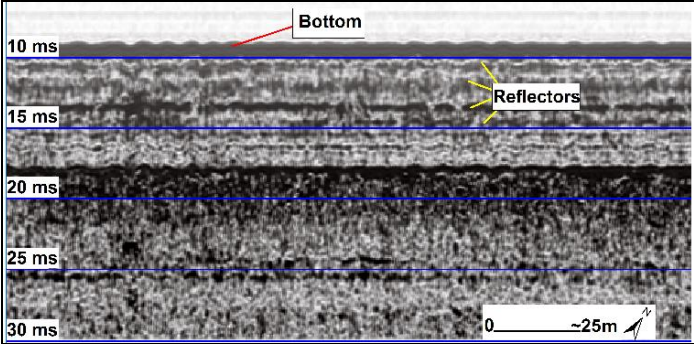
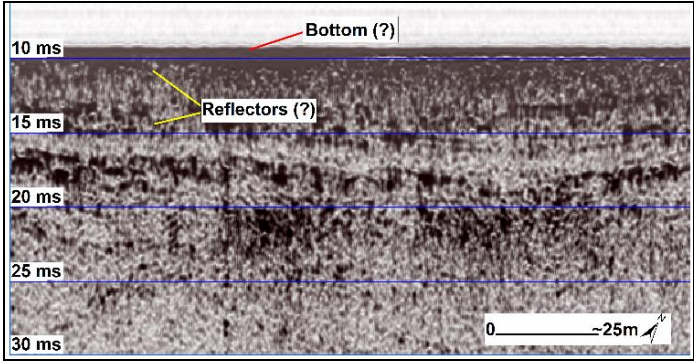
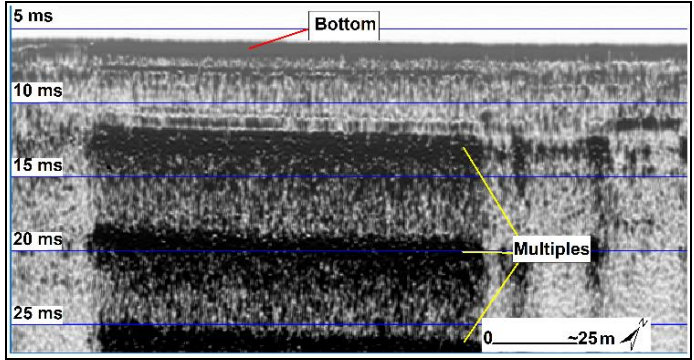
The echo-character B occurs throughout the study area, representing approximately 29.5 km of profiles, totalizing 19.3% of the studied echograms (Figure 2).

Echo-character C

This pattern of acoustic response is characterized by a plane and very strong well-defined first reflector and presents a series of low loss multiple reflections (Table 1). This echo is similar to that reported by Baptista Neto et al. (1996), Catanzaro (2004) and Félix (2012). The echo C relates to the presence of gas within the sediments. Furthermore, this acoustic response tends to occur in areas of low hydrodynamic conditions, where clay and silt sediments with high concentration of organic matter occur.

This pattern stands on the NW of the study area, near the Vitoriano Spit and the mouth of Camaquã River. It represents 4.25% of the echoes with approximately 6.5 km of extension (Figure 2).

Table 1: Summarization of the echo-characters A, B and C.

ECHO-CHARACTER TYPE	ASPECT OF THE PRIMARY REFLECTOR (BOTTOM)	OCCURRENCE OF SUBBOTTOM REFLECTIONS	GEOMETRY OF THE SUBBOTTOM REFLECTIONS
A	Distinct and continuous	Yes	Well-defined, generally parallel and continuous
 <p>The seismic profile for Echo-character A shows a clear, continuous horizontal line at the top labeled 'Bottom' with a red arrow. Below it, several distinct, parallel horizontal lines are labeled 'Reflectors' with yellow arrows. The vertical axis is marked with time intervals: 10 ms, 15 ms, 20 ms, 25 ms, and 30 ms. A scale bar at the bottom right indicates a distance of approximately 25 meters.</p>			
B	Diffuse	Yes	Poorly defined
 <p>The seismic profile for Echo-character B shows a less distinct horizontal line at the top labeled 'Bottom (?)' with a red arrow. Below it, several horizontal lines are labeled 'Reflectors (?)' with yellow arrows, appearing more diffuse and less continuous than in profile A. The vertical axis is marked with time intervals: 10 ms, 15 ms, 20 ms, 25 ms, and 30 ms. A scale bar at the bottom right indicates a distance of approximately 25 meters.</p>			
C	Plane and very strong well-defined	No	Series of low loss multiple reflections
 <p>The seismic profile for Echo-character C shows a very distinct horizontal line at the top labeled 'Bottom' with a red arrow. Below it, a series of multiple, low-loss reflections are labeled 'Multiples' with yellow arrows, appearing as a dense, repetitive pattern. The vertical axis is marked with time intervals: 5 ms, 10 ms, 15 ms, 20 ms, and 25 ms. A scale bar at the bottom right indicates a distance of approximately 25 meters.</p>			

Distribution of the Echo-characters

To create the map of distribution of the echo-characters A, B and C, sedimentological and bathymetric data were used as backgrounds (Figure 2).

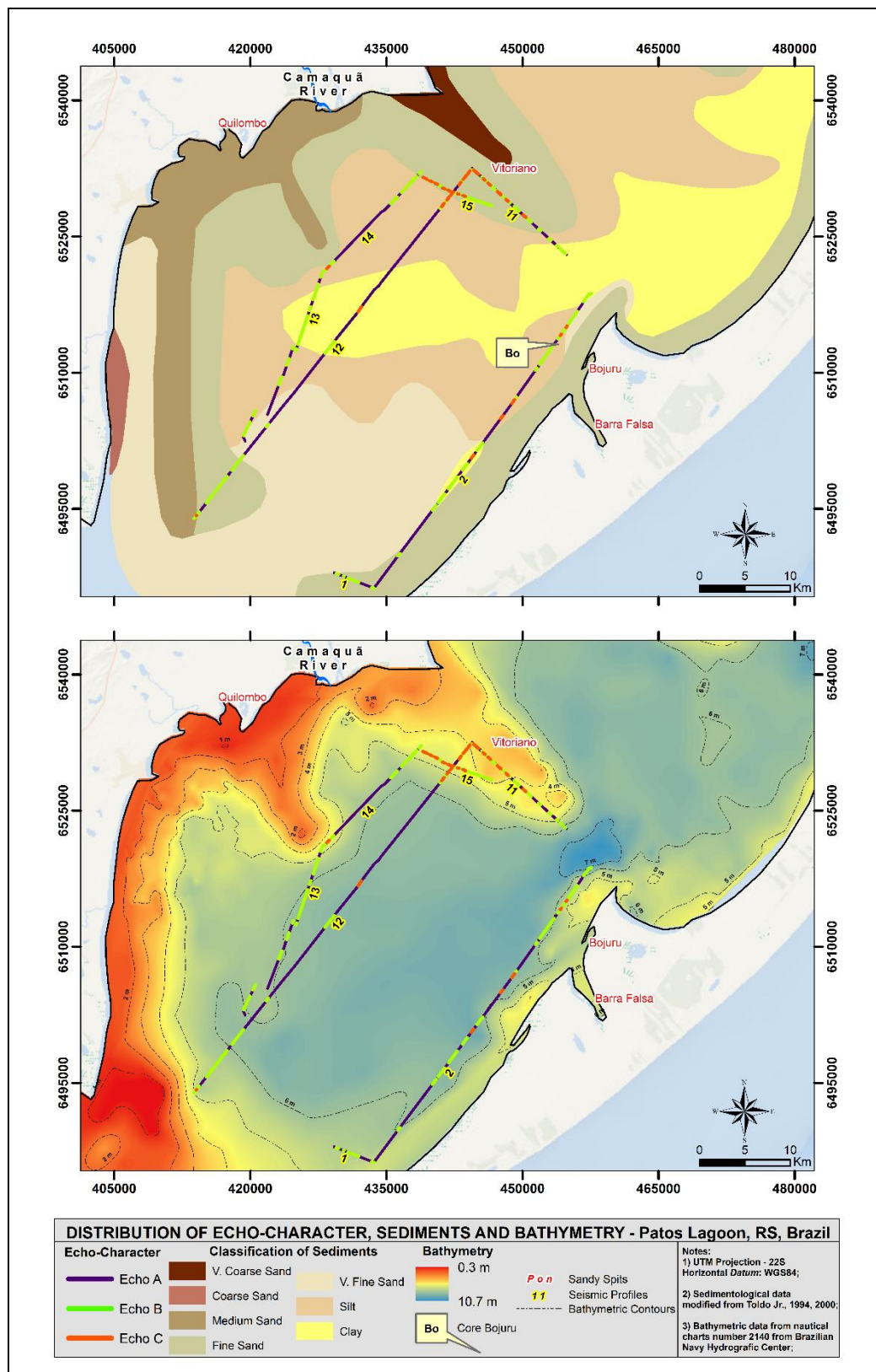


Figure 2: Distribution of echo-characters - Patos Lagoon, RS, Brazil.

The sedimentological database used in this work was modified from the sediment distribution map by Toldo (1994). The author used 271 samples of surface sediments and the map facies from Martins et al. (1987), and created a map based on the central tendency (median).

Distributed over 6 of 7 profiles of southern cell of Patos Lagoon (except profile 15), the echo-character A occurs on fine sediments: from fine sand to clay. This echo is highlighted in areas with parallel relation to each other in the profiles 2, 12 and 14, suggesting good relationship in sedimentation patterns between these regions.

As mentioned above, this echo suggests that the sediments have been deposited in a lower energy environment composed by mud (Catanzaro et al., 2004; Ayres Neto et al., 2009; Félix; 2012). According to the bathymetry, this echo occurs on bathymetric contours of 5 m and 6 m (lagoon floor area), except near the Vitoriano Spit, where it is on lower depths. Although Patos Lagoon is a very dynamic environment, with high temporal variability, which causes changes in the processes that control the lagoon hydrodynamics (Barros et al., 2014), the lagoon floor is composed by deposits of mud derived mainly from the Guaíba River. In conditions of lower hydrodynamics, and in depth below the base level of wave erosion (Toldo, 1994), these fine sediments were able to deposit and generate echo type A.

Although large percentage of the echo-character A is distributed on silty and clayey sediments, this pattern occurs in areas covered by sand and very fine sand, in profile 1 and in the south of profile 2 and 12. The presence of acoustically semi-transparent layers (Figure 3), especially in profile 1 and in the south of profile 2, can be related to this fact. This relationship can be established since Ayres Neto et al. (2009) observed in their work an echo (echo D) having a transparent layer just below the surface of the seabed, followed by a continued strong reflector. In accordance with the author, this acoustic transparency, suggests the presence of sandy sediments in the area, which is also observed in this area of the Patos Lagoon.

Geographically, echo-character A relates mainly to echo B, since they border one another along the profiles (Figure 2, Figure 3). In one of these borders, in profile 2, Weschenfelder et al. (2014) discussed the sedimentological characteristics of Bojuru core (Bo) (Figure 2). This discussion is consistent with the mapping surface sediments used for this work, since it indicated basal (27 m and 20 m) and upper (13 m 9 m) sedimentation composed by fine sand, interspersed with a muddy zone (20 m

and 13 m) covered by muddy sediments to the lagoon surface (Weschenfelder et al., 2014).

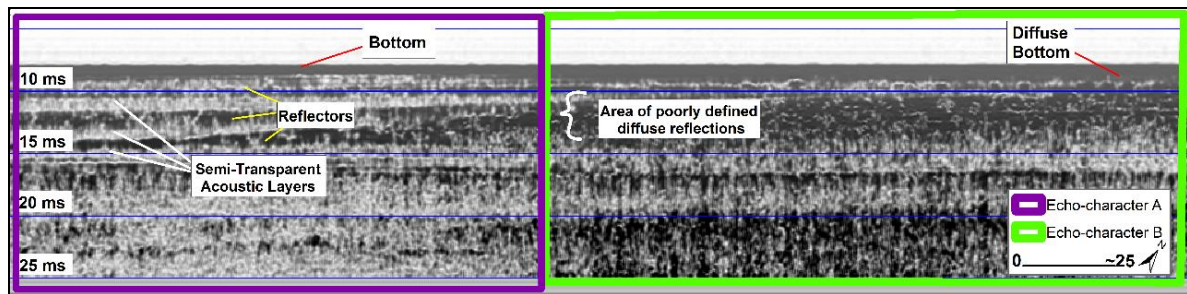


Figure 3: Example of echo-character A and echo-character B found in profile 1.

The echo-character B is the only one that occurs in all profiles, but its higher occurrence is in the profile 13, representing approximately 70% of it. Relating to the bathymetry, this echo does not have a pattern, being randomly observed without any bathymetric control in the mapped areas. It can be connected with the fact that bathymetry does not change suddenly and abruptly in the area of the acquired profiles.

As the echo-character type A, the echo-character B is distributed on sediment classes between sand and clay, except in the southern end of profile 12, which appears on the border between medium and fine sand.

The reflections of type B can be compared to indistinct reflections argued in researches such as Damuth (1975) and Damuth & Hayes (1977). Accordingly, there is signal penetration in sediments, but the inner structures have higher reflectance (García-García et al, 2004).

Although this pattern of reflection can be derived from the mixture of coarser sediments into predominantly muddy matrix of the area, Félix (2012) found this pattern in Bertioga Channel (São Paulo, Brazil) associated with a high percentage of fine sediments.

Nevertheless, the featured areas of echo-character B are close to the lagoon margins, which, in turn, are comprised of coarser sediments (Martins et al., 1989). Although the increase in clay content in the southern cell and in the estuary coincides with the northern limit of the salt water intrusion during periods of low discharge combined with southern quadrant winds (Calliari et al., 2009), Toldo (1994) noted that the predominance of very fine sand is probably derived from the internal tide

delta extending between Lençóis and Feitoria Spits (Figure 1), which marks the northern boundary of this estuarine region.

From these observations it is suggested that this echo pattern may be related to the presence of coarser sediments from the margin in higher hydrodynamic energy conditions or in situations of reverse flow in the lagoon, where sea water enters significantly the lagoon system (Hartmann & Schettini, 1991; Toldo, 1994).

Furthermore, as already mentioned, the acoustic turbidity may be related to the presence of interstitial gas, especially in areas with reduced cohesion between potential sediment sealers. This way, when gas is found, the acoustic reflections can be obliterated or scattered, this last one being responsible for generating this pattern. It is important to note that this association may be consistent with small areas of gas seepage, since this pattern has subbottom reflections.

Besides that, although echo B occurs next to the echoes A and C, the echo C is observed joint with the echo B, unless in some exceptions (Figure 4). This observation is important since the echo pattern C is associated to gas and might suggest areas of good conditions to the gas formation.

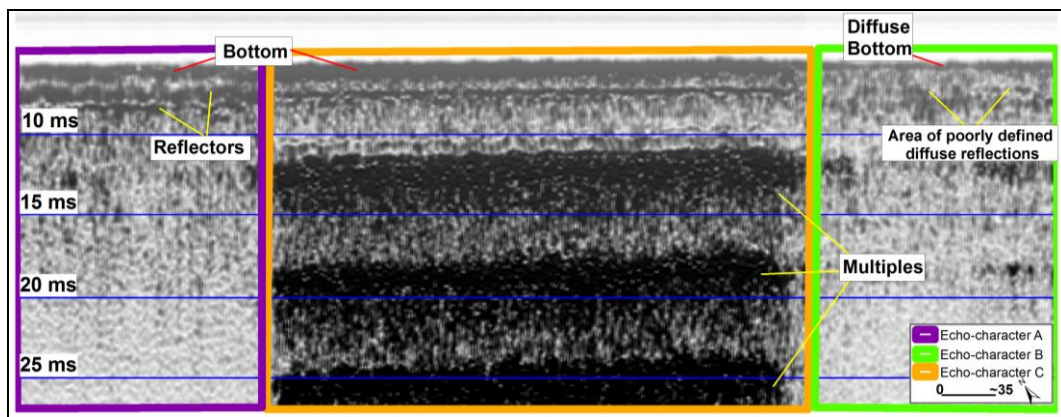


Figure 4: Example of incidence of echo-character A, B and C in profile 11.

Echo-character C is originated by the incidence of seismic pulse with gas rich seabed sediments. At this incidence, the sound waves are reflected almost completely, creating multiple high repetition subsequent reflections that do not allow the recognition of reflectors in the subsurface (Felix, 2012). This pattern was observed in the mapping performed by Vasconcellos (2009), which were identified multiples in areas with disseminated gas and where the gas has softened activity.

Gas is the product of decomposition of organic matter and requires a sealing layer which prevents seepage. This layer is essentially composed of fine sediment, which, in contact to the pressure of the water column becomes more cohesive (Rogers et al., 2006). Since these considerations, it is possible to understand the observation of echo-character C and why the presence of shallow gas in the Patos Lagoon sediments is so relevant: abundant terrigenous organic matter and the lagoon floor being predominantly composed of fine sediments. These gas accumulations show a significant effect in the geoacoustic behavior of the sedimentary packages of the lagoon (Weschenfelder et al., 2006).

As Vasconcellos (2009) observations, the most concentrated accumulations of shallow gas present in the Patos Lagoon show a direct relationship with the areas with fine sediments of Holocene and Pleistocene, which might seal the gas.

Although this echo presents on clay and silty sediments, significant concentration of pattern C occurs near Vitoriano Spit and in continuities of other sandy spits (Bojuru and Quilombo) and are more related to lower depths, near or in the lagoon margin.

Despite sand is predominant in this area, the formation of gas can be related to conditions in the past. Highest gas concentrations are located near the mouth of the Camaquã River, which is a source of sediments and organic matter to the lagoon environment. Moreover, as observed in core Bojuru (above mentioned), sandy and muddy sediments are interspersed. This suggests that the conditions for gas formation and the consequent generation of this echo pattern were established by the proximity of the source of organic matter and by standard sedimentation in the lagoon.

Echo-character C occurs in profile 2 in the vicinity of a paleochannel mapped by Weschenfelder et al. (2006; 2016). The authors observed that some gas accumulations occurred in paleotopographical areas, linked to valleys and river channels that have developed in the coastal plain of Rio Grande do Sul during regressive/transgressive events of the Quaternary.

Nevertheless, the parallel continuous occurrence of echo C in sections 2, 12 and 14, which also occurs in echo A, suggests similar conditions of sedimentation in these areas, and the possible existence of an ancient channel/valley unmapped that provided organic matter for the establishment of this intra sedimentary gas.

For comparison, Toldo (1994) has determined two types of echo-character in the Patos Lagoon, based on 7 kHz seismic data. The defined echoes were: distinct

(continuous, well-defined, without subbottom reflections, named IA) and indistinct (semi-long, with intermittent spotlights areas of subsurface, discrete and parallel, named IIA). Although the data and methodology established by the author and used for this study are different, the pattern without subbottom reflections near the Victorian Spit is observed in the two studies (Figure 5). In both works, the echoes IA and C indicate little or no signal penetration in subsurface sediments. For Toldo (1994), this pattern is in the lagoon margin associated with sediment coarse texture. This author also reports areas with occurrence of biogenic gas with extensive regional distribution, as observed in this study.

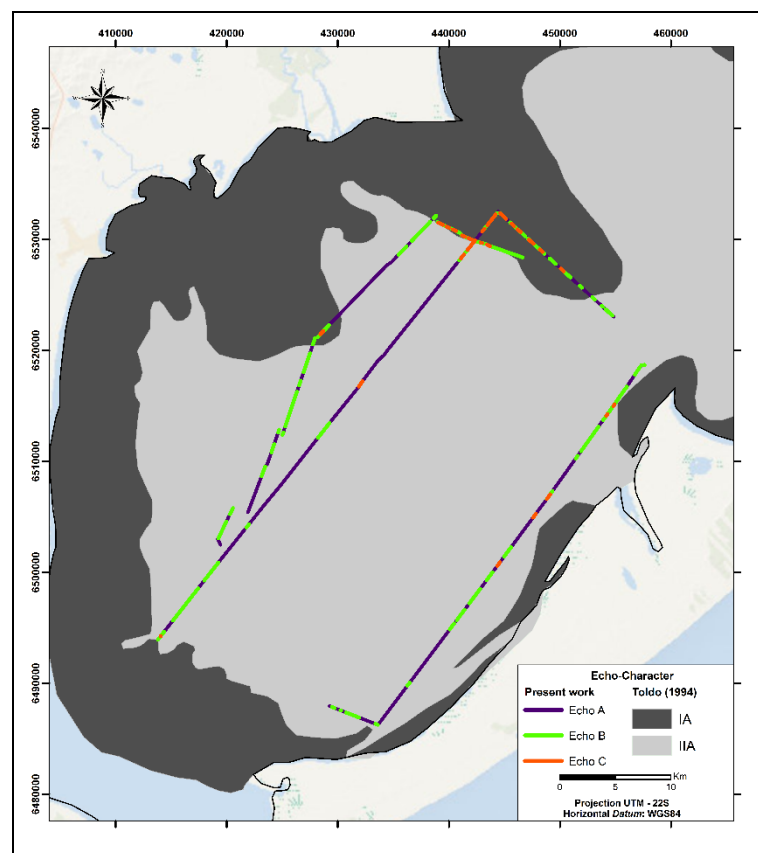


Figure 5: Comparison between Toldo (1994) echoes and the ones found in this study.

CONCLUSIONS

The known effect of the physical properties of the environment in the propagation of acoustic waves can be evidenced by the positive relationship found in this study between the signal reflection and sediment distribution of the areas.

The small number of echoes found in the southern cell of Patos Lagoon can be justified by the homogeneity of the system in the area of the seismic surveys: continuous bathymetry (without large and abrupt interruptions as islands, rocky

outcrops, etc.), well compartmentalized distribution of sediments between the lagoon floor (mud) and lagoon margin (coarse), and the absence of remarkable bedforms, such as ripple marks.

The seismic survey data allowed recognizing that the distribution of echo-characters reflects not only the geology of the seabed, but also the sedimentary processes that were active during the deposition of the material.

The lagoon floor, dominated by the settling sediments, reflects a low energy environment, where fine clastic particles can reflect on patterns A or B. Those deposited particles associated with organic matter degradation can generate the pattern C, which detected the presence of gas within the bottom sediments. The sandy sediments at the south part of the southern cell of the Patos Lagoon, possibly provided by the estuarine system associated, are mixed with the muddy sediments deposited in the lagoon floor and can be reflected by echo B.

The summarization of these processes shows that the identification and mapping echoes by geophysical methods are important for a better understanding of the effects of hydrodynamics in sedimentation patterns of coastal systems and serve as a support for further studies in this area.

ACKNOWLEDGMENTS

The research has been supported by CNPq (560661/2008-8), CAPES (CIMAR23038.004306/2014-17), Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) and Instituto de Geociências (IG-UFRGS). The first author thanks the support from EGS Brasil and from professor Arthur Ayres Neto (UFF).

REFERENCES

AYRES NETO, A.; FALCAO, L. C.; AMARAL, P. J. T. Caracterização de ecofácies na margem continental norte Brasileira: estado do conhecimento. **Brazilian Journal of Geophysics**, São Paulo, v. 27, supl. 1, p. 97-106, 2009.

BAPTISTA NETO, J. A.; SILVA, M.A.M; FIGUEIREDO JR, A.G. Sísmica de alta frequência e o padrão de distribuição de sedimentos na Enseada de Jurujuba (Baía de Guanabara) -RJ/Brasil. **Brazilian Journal of Geophysics**, São Paulo, v. 14, supl. 1, p. 51-58, 1996.

BAPTISTA NETO, J. A.; SILVA, C. G.; DIAS, G. T. M.; FONSECA, E. M. Distribuição sedimentar da Lagoa Rodrigo de Freitas através de sísmica de alta resolução. **Brazilian Journal of Geophysics**, São Paulo, v. 29, sup. 1, p. 187-195. Mar, 2011.

BAITELLI, R. **Evolução Paleogeográfica do Sistema de Paleodrenagem do Rio Jacuí na Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. 2012. Doctorate Thesis (Post-graduate Program on Geociencias) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 149p., Porto Alegre, RS, 2012.

BARROS, G. P.; MARQUES, W. C.; KIRINUS, E. P. Influence of the Freshwater Discharge on the Hydrodynamics of Patos Lagoon, Brazil. **International Journal Of Geosciences**, [s.l.], v. 05, n. 09, p.925-942, 2014. Scientific Research Publishing, Inc.

BORTOLIN, E.C.; WESCHENFELDER, J. Evolução de Paleovales Quaternários por Meio de Interpretação de Fácies Sísmicas na Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *In: XIX Argentine Geological Congress*, Junio 2014, Córdoba, 2014.

CATANZARO, L. F.; BAPTISTA NETO, J. A.; GUIMARÃES, M. S. D.; SILVA, C. G. Distinctive sedimentary processes in Guanabara Bay – SE / Brazil, based on the analysis of echo-character (7.0 kHz). **Brazilian Journal of Geophysics**, v.22 (1), p.69- 83, 2004.

CALLIARI, L.J.; WINTERWERP, J.C.; FERNANDES, E.; CUCHIARA, D.; VINZON, S. B.; SPERLE, M.; HOLLAND, K. T. Fine grain sediment transport and deposition in the Patos Lagoon–Cassino beach sedimentary system. **Continental Shelf Research**, [s.l.], v. 29, n. 3, p.515-529, Mar, 2009.

DAMUTH, J. E. Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. **Marine Geology**. v. 18 (2), p. 17-45, 1975.

DAMUTH, J. E.; HAYES, D. E. Echo character of the East Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. **Marine Geology**, v. 24 (2), p. 73-95, 1977.

DAMUTH, J. E. Echo character of the Norwegian—Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation. **Marine Geology**, v. 28 (1–2), p. 1-36, 1978.

DAMUTH, J. E. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. **Marine Geology**, v. 38 (1-3), p. 51-75, 1980.

FÉLIX, C. A. **Evolução Quaternária Superior e Formação de Gás Raso em Ambiente Estuarino Tropical: O Caso do Canal de Bertioga, São Paulo**. 2012. 111 f. Master Dissertation (Department of Chemical and Geological Oceanography) - Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2012.

GARCÍA-GARCÍA, A.; GARCÍA-GIL, S.; VILAS, F. Echo characters and recente sedimentary processes as indicated by high-resolution subbottom profiling in Ría de Vigo (NW Spain). **Geo-Marine Letters**, v.24 (1), p. 32-45, 2004.

GOMES, C. M. M. **Caracterização de Ecos e Estruturas Indicativas de Paleoambiente Através de Sísmica de Alta Resolução na Região de Cabo Frio**,

RJ. 2013. 80 f. Master Dissertation (Post-graduate Program on Geology and Marine Geophysics, Geology) - Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ, 2013.

GROSSMAN, G. S. **Processamento e Interpretação de Dados Sísmicos de Parasound no Delta Submarino do Amazonas**. 2002. Master Dissertation (Post-graduate Program on Geology and Marine Geophysics, Geology) - Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ, 2002.

HARTMANN, C.; SCHETTINI, C.A.F. Aspectos hidrológicos na desembocadura da Laguna dos Patos, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, 21: 371-377, 1991.

JONES, E.J.W. Marine Geophysics. **Wiley & Sons (eds.)**, 466 p., 1999.

LEE, S. H.; CHOUGH, S. K.; BACK, G. G.; KIM, Y. B. Chirp (2 ^ 7-kHz) echo-characters of the South Korea Plateau, East Sea: styles of mass movement and sediment gravity flow. **Marine Geology**, v. 184, p. 227-247, 2002.

MARINHA DO BRASIL. **Cartas Náuticas. Niterói/RJ**, 2014. Available in: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-nauticas/cartas.html> Acesso in: 25 jan.2016.

MARQUES, W.C.; FERNANDES, E.H.; ROCHA, L.A.O. Straining and Advection Contributions to the Mixing Process of the Patos Lagoon Estuary, Brazil. **Journal of Geophysical Research: Ocean**, 16, 2011.

MARQUES, W.C. The Temporal Variability of the Freshwater Discharge and Water Levels at the Patos Lagoon, Brazil. **International Journal of Geosciences**, 3, p. 758-766, 2012.

MARTINS, I. R.; MARTINS, L. R.; TOLDO Jr., E. E.; GRUBER, N. L. S. Processos Sedimentares na Lagoa dos Patos. *In*: I Congress of the Brazilian Association of Quaternary Studies, Porto Alegre. **Anais**, p. 191-213. Brasil, 1987.

MARTINS, I.R.; VILLWOCK, J.A.; MARTINS, L.R.; BENVENUTI, C. E. The Lagoa dos Patos Estuarine Ecosystem. **Pesquisas**, (22), p. 5-44, 1989.

McCLENNEN, C. E. Microtopography and surficial sediment patterns in the central Gulf of Maine: a 3.5-kHz survey and interpretation. **Marine Geology**, v.89 (1-2), p. 69-85, 1989.

PEREIRA, C. M. **Reconhecimento e Mapeamento de Fácies Sísmicas em Perfis Sísmicos Localizados na Lagoa Dos Patos, RS - Brasil**. 2008. Master Dissertation (Post-graduate Program on Geociencias) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2008.

PEREIRA, C. M.; WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I. C. S. Reconhecimento e mapeamento de fácies sísmicas nos pontais arenosos da lagoa dos Patos, RS, Brasil. **Pesquisas (Online)**. v. 36, p. 23-35, 2009.

ROCHA, A. C. **Aplicação de Métodos Diretos e Indiretos na Análise da Dispersão de Sedimentos na Baía de Santos**. 2003. 91p. Master Dissertation

(Department of Chemical and Geological Oceanography) - Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2003.

ROGERS, J.; KELLEY, J.; BELKNAP, D.; GONTZ, A; BARNHARDT, W. Shallow-water pockmark formation in temperate estuaries: a consideration of origins in the western gulf of Maine with special focus on Belfast Bay. **Marine Geology**, v.225 (1-4), p. 45-62, 2006.

SANTOS-FISCHER, C.B.; CORRÊA, I. C. S.; WESCHENFELDER, J.; TORGAN, L. C.; STONE, J. R. Paleoenvironmental insights into the Quaternary evolution of the southern Brazilian coast based on fossil and modern diatom assemblages. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, [s.l.], v. 446, p.108-124, Mar. 2016.

SILVA, A. E.; MENANDRO, P. S.; NASCIMENTO, K. A.; QUARESMA, V. S.; BASTOS, A. C. Interpretation of Sedimentary Processes Using Echo-Character Distribution: Case Study of Piraque-Açu and Piraque-Mirim Estuarine System, Aracruz – ES (Brazil). **Brazilian Journal of Geophysics**, Vitória, ES, v. 2, n. 32, p.301-309, 2014.

SOUZA, L. A. P. **Revisão Crítica da Aplicabilidade dos Métodos Geofísicos na Investigação de Áreas Submersas Rasas**. 2006. 311p. Doctorate Thesis (Department of Chemical and Geological Oceanography) - Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, SP, 2006.

TOLDO JR, E.E. **Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar da Lagoa dos Patos**. 1994. Porto Alegre, 143p. Doctorate Thesis (Post-graduate Program on Geociencias) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 1994.

TOLDO JR E.E., DILLENBURG, S.R.; CORRÊA, I.C.S.; ALMEIDA, L.E.S.B. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, 16(3): 816-822, 2000.

TOLDO JR., E.E.; DILLENBURG, S.R.; CORRÊA, I.C.S.; ALMEIDA, L.E.S.B.; WESCHENFELDER, J.; GRUBER, N.L.S. Sedimentação de Longo e Curto Período na Lagoa dos Patos. **Pesquisas**, 33(2):79-86, 2006.

TOMAZELLI, L. J.; BARBOZA, E.G.; DILLENBURG, S.R.; ROSA, M. L. C. C. Origem e Significado Geológico da Barra Falsa: uma feição geomorfológica peculiar da margem leste da Lagoa dos Patos/RS, Brasil. **Gravel** (Porto Alegre), v. 12, p. 1-14, 2014.

VASCONCELLOS, V. E. B. **Mapeamento e caracterização das acumulações de gás raso na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil - RS**. 2009. Master Dissertation (Post-graduate Program on Geociencias) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2009.

VAZ, A.C., MÖLLER JR., O.O., ALMEIDA, T.L.D. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, 28, 13–23, 2006.

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.A.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; HORN, N.O.; BACHI, F.A.; DEHNHARDT, B.A. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, 4, 79–97, 1986.

WESCHENFELDER, J. **Processos sedimentares e variação do nível do mar na região costeira do Rio Grande do Sul-Brasil**. 2005. 131 f. Doctorate Thesis (Post-graduate Program on Geociencias) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2005.

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I. C. S.; ALIOTTA, S. Elementos arquiteturais do substrato da Lagoa dos Patos revelados por sísmica de alta resolução. **Pesquisas (Online)**. Porto Alegre, v. 32, n.2, p. 57-67, 2005.

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I.C.S.; ALIOTTA, S.; PEREIRA, C. M.; VASCONCELOS, V.E. B. Shallow gas accumulation in sediments of the Patos Lagoon, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Brasil, v. 78, n. 3, p. 607- 614, 2006.

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I.C.S.; TOLDO JR., E.E.; BAITELLI, R. Paleocanais como indicativo de eventos regressivos Quaternários do nível do mar no Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Geophysics**, 26: 367-375, 2008a.

WESCHENFELDER, J.; MEDEANIC, S.; CORRÊA, I.C.S.; ALIOTTA, S. Holocenic Paleoinlet of the Bojuru Region, Lagoa dos Patos, Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, 24: 99-109, 2008b.

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I. C. S.; ALIOTTA, S.; BAITELLI R. Paleochannels Related to Late Quaternary Sea-Level Changes in Southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, 58 (special issue PGGM): 35-44, 2010a.

WESCHENFELDER, J.; CORRÊA, I. C. S.; TOLDO JR, E. E.; BAITELLI, R. A drenagem pretérita do rio Camaquã na costa do Rio Grande do Sul. **Pesquisas (Online)**. v. 37, p. 13-23, 2010b.

WESCHENFELDER, J; BAITELLI, R.; CORRÊA, I. C. S.; BORTOLIN, E. C.; SANTOS, C. B. Quaternary incised valleys in southern Brazil coastal zone. **Journal of South American Earth Sciences**, [s.l.], v. 55, p.83-93, Nov. 2014.

WESCHENFELDER, J., KLEIN, A. H. F.; GREEN, A. N.; ALIOTTA, S.; MAHIQUES, M. M.; AYRES NETO, A.; TERRA, L. C.; CORRÊA, I. C. S.; CALLIARI, L. J.; MONTOYA, I.; GINSBERG, S. S.; GRIEP, G. H. The control of palaeo-topography in the preservation of shallow gas accumulation: Examples from Brazil, Argentina and South Africa. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], v. 172, p.93-107, Abr. 2016.

5. SÍNTESE DOS RESULTADOS

A presente dissertação foi desenvolvida com base nos levantamentos de perfis sísmicos realizados nos anos de 2002 e 2006. Por meio da análise dos perfis adquiridos, foi possível identificar diferentes eco-caracteres e agrupá-los de acordo com: o aspecto do refletor primário (fundo), a ocorrência de refletores subsuperfície e a geometria dos refletores de subsuperfície. Após identificados, os ecos foram agrupados em 3 grupos distintos: eco-caráter A, eco-caráter B e eco-caráter C.

O eco-caráter A compreende um eco de fundo distinto e contínuo com reflexões de subsuperfície bem definidas, geralmente paralelas e contínuas seguindo a topografia da superfície. Foi observado em toda a extensão da área estudada e em grande quantidade: aproximadamente 117 Km, que representa 76,45% da extensão dos perfis.

O padrão A ocorreu predominantemente sobre sedimentos finos (areia fina à argila), sendo característico de ambientes de baixa hidrodinâmica. Destacou-se nos contornos batimétricos de 5 m e 6 m (piso lagunar), exceto na região do Pontal do Vitoriano, onde ocorreu em menores profundidades. Em algumas áreas, este eco-caráter relacionou-se com áreas acusticamente semi-transparentes, que podem estar relacionados à presença de sedimentos arenosos no local.

O eco-caráter B compreende fundo com reflexão de geometria irregular e reflexões de subsuperfície pouco definidas, difusas ou com aspecto de manchas, e pode ser comparado às reflexões indistintas abordadas em trabalhos clássicos sobre o tema. Foi observado em toda a extensão da área, totalizando aproximadamente 29,5 Km dos ecogramas, o que representa 19,3% dos perfis.

Este eco foi observado sobre os sedimentos de classes entre areia fina e argila, exceto no extremo sul do perfil 12, onde aparece na fronteira entre areia fina e média. Com relação à batimetria, este eco não apresenta um padrão, sendo observado de forma dispersa e sem controle batimétrico nas áreas mapeadas. Este padrão de reflexão do tipo B foi relacionado à diluição de sedimentos mais grosseiros em meio à matriz lamosa predominante na área ou mesmo à ocorrência de difusão de gás da Lagoa dos Patos.

O último padrão observado, o eco-caráter tipo C, é caracterizado por refletor primário bem definido, plano e forte, e apresenta uma série de reflexões múltiplas repetitivas e de baixa perda. Foi observado, em geral, associado ao eco B, e ocorreu mais à NO da célula sul, próximo ao Pontal do Vitoriano e da desembocadura do rio Camaquã e representa 4,25% dos ecos, com aproximadamente 6,5 Km de extensão. Com relação à distribuição batimétrica, o eco C teve predomínio em menores profundidades e nas continuidades de pontais arenosos (Pontal do Vitoriano, Bojuru e do Quilombo).

A ocorrência do eco-caráter C foi relacionada com a presença de gás intrasedimentar. Isto porque esse padrão é gerado a partir do encontro do pulso sísmico com sedimentos superficiais ricos em gás metano, no qual as ondas sonoras são praticamente refletidas por completo, dando origem as reflexões múltiplas subsequentes de alta repetição.

Ocorreu predominantemente distribuído nos domínios de silte e argila, os quais agem, possivelmente, como camada seladora que impede que os gases escapem para a coluna d'água, e nas proximidades do Rio Camaquã, que é fonte de sedimentos e matéria orgânica para a laguna. Além disso, este eco ocorreu sobre um paleocanal mapeado, que pode ter servido como depósito de matéria orgânica para a formação de gás.

6. RECURSOS DISPONÍVEIS E PRODUTOS GERADOS

A partir do artigo “Use of High Resolution Seismic Data (3.5 kHz) to Map Echo-character: Case Study in Patos Lagoon – RS (Brazil)” pode-se concluir que os resultados desse trabalho foram satisfatórios. Dessa forma, a quantidade e qualidade dos aproximados 153 Km de dados disponibilizados foi imprescindível para sua execução. Embora a malha de coleta de dados sísmicos não tenha sido homogênea nem unidirecional, não permitindo a extrapolação dos dados para toda a célula sul, foi possível observar padrões na ocorrência dos eco-caracteres. A distribuição dos perfis, portanto, não foi considerada uma limitação.

Ainda que não tenha impedido a execução do trabalho, a coleta dos dados sísmicos no modo Auto TVG (que tende a normalizar os ecogramas) pode ter reduzido a diferenciação dos padrões de eco-caráter ao longo dos perfis.

O uso do *software* C-View Processing criado pela empresa EGS (ASIA) LTD, por sua vez, foi muito positivo, uma vez que permitiu que os sismogramas fossem visualizados e filtrados (quando necessário), georreferenciados e que os eco-caracteres fossem identificados, agrupados e delimitados.

Em função da ausência de amostras de sedimentos especificamente para este estudo, a correlação dos eco-caracteres com a sedimentologia de fundo lagunar teve que ser realizada a partir de um mapa pré-existente da área (Toldo, 1994). Porém, isso não foi impeditivo para se obter bons resultados, pois a partir desse mapa foi possível obter ótima correlação entre os parâmetros.

Por fim, a batimetria da Lagoa dos Patos, imprescindível para a geração dos resultados, foi obtida a partir da vetorização dos dados batimétricos das cartas náuticas do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Esses dados batimétricos geraram ótimos resultados que, além de serem utilizados na presente dissertação, foram disponibilizados para o CECO em formatos *shapefile* e *raster*, para seu posterior uso.

7. CONCLUSÕES

A metodologia empregada para a presente dissertação foi a utilização conceitual de trabalhos clássicos e atuais sobre eco-caracteres, mesmo que em ambientes distintos. Esses trabalhos foram essenciais para o estabelecimento e agrupamento dos ecos.

A utilização de perfis de alta resolução (3,5 kHz), permitiu comprovar o efeito das propriedades físicas do meio na propagação das ondas acústicas, através da relação positiva encontrada entre a reflexão do sinal e a distribuição sedimentar da Lagoa dos Patos. A análise do levantamento sísmico permitiu, ainda, reconhecer que a distribuição dos ecos e sedimento refletem não somente a geologia do fundo marinho, mas também os processos sedimentares que atuavam durante a deposição do material.

A homogeneidade do sistema na área de levantamentos sísmicos, representada por batimetria contínua (sem grandes e abruptas interrupções como ilhas, afloramentos rochosos, etc), distribuição de sedimentos bem compartimentada entre o piso (finos) e a margem lagunar (mais grosseiros), e a ausência de feições associadas à grandes perturbações de fundo, foi importante para o estabelecimento de apenas três padrões de eco-caráter.

Os resultados obtidos nesse trabalho indicam que a identificação e mapeamento de eco-caracteres são importantes para melhor compreensão dos efeitos da hidrodinâmica nos padrões de sedimentação dos sistemas costeiros. Além disso, esse estudo pode auxiliar demais estudos de geomorfológicos e hidrodinâmicos a serem realizados na Lagoa dos Patos.

Para futuras pesquisas sobre o mesmo tema na área, sugere-se a utilização de novos dados sísmicos e coleta de amostras de sedimento ao longo dos perfis, para que os resultados possam ser ainda melhores validados.

ANEXO I
Comprovante de submissão do artigo



Sociedade Brasileira de Geofísica
Revista Brasileira de Geofísica - RBGf

DECLARAÇÃO

Declaro, para os devidos fins, que o artigo intitulado "USE OF HIGH RESOLUTION SEISMIC DATA (3,5 kHz) TO MAP ECHO-CHARACTER: CASE STUDY IN PATOS LAGOON - RS (BRAZIL)" da autoria de Gabriela Muller Sampaio Bexiga, Jair Weschenfelder e César Alexandre Félix, foi submetido à Revista Brasileira de Geofísica e está sendo apreciado pelo Corpo Editorial.

Rio de Janeiro, 26 de julho de 2016.

Atenciosamente,

Adriana Reis Xavier
Adriana Reis Xavier
Editora da Sociedade Brasileira de Geofísica

Sociedade Brasileira de Geofísica
Avenida Rio Branco, 156 Sala 2509
Cep: 20040-003 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil