

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

PROCESSOS SEDIMENTARES E VARIAÇÃO DO
NÍVEL DO MAR NA REGIÃO COSTEIRA DO RIO
GRANDE DO SUL, BRASIL

JAIR WESCHENFELDER

ORIENTADOR: Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Salvador Aliotta

BANCA EXAMINADORA: Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari

Prof. Dr. Norberto Olmiro Horn Filho

Prof. Dr. Ricardo Norberto Ayup Zouain

Tese de Doutorado apresentada como
requisito parcial para obtenção do Título
de Doutor em Geociências

Porto Alegre - 2005

Weschenfelder, Jair

Processos sedimentares e variação do nível do mar na
região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. / Jair
Weschenfelder. - Porto Alegre : UFRGS, 2005.

[141 f.]. il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande
do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-
Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 2005.

1. Geologia Marinha. 2. Evolução Costeira. 3. Lagoa dos
Patos. 4. Sísmica. I. Título.

Catálogo na Publicação

Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grün CRB10/1113



LFV, 2002

(Veríssimo: poesia numa hora dessas?!)

AGRADECIMENTOS

Expresso os meus agradecimentos às pessoas e instituições que colaboraram, de forma direta ou indireta, para a conclusão deste trabalho.

Ao Professor Iran Corrêa pela orientação recebida no desenvolvimento das atividades de pesquisa, seu apoio constante, incentivo e amizade.

Ao Professor Salvador Aliotta pelo auxílio no levantamento sísmico realizado na Lagoa dos Patos e posterior orientação e contribuição no desenvolvimento do trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências - PPGeo, da UFRGS, que propiciou o ambiente de pesquisa adequado.

Ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - CECO, da UFRGS, pelas facilidades disponibilizadas para o desenvolvimento dos trabalhos de campo e de laboratório.

Aos professores e colegas do Instituto de Geociências da UFRGS pelo apoio dispensado, principalmente na fase inicial do trabalho, na tentativa de reunir os dados necessários para o desenvolvimento do projeto original de doutorado.

Aos colegas do Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da UFRGS, pela agradável convivência e apoio dispensado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo valioso apoio concedido no desenrolar do trabalho.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG, cujo apoio possibilitou o uso da lancha oceanográfica LARUS no levantamento sísmico na Lagoa dos Patos. Este agradecimento é extensivo também à tripulação da lancha naquela ocasião.

À empresa Geowork Estudos Ambientais Ltda, na pessoa do Sr. Francisco Correia Ivo, pela viabilização do uso dos equipamentos de sísmica e do acompanhamento técnico necessário às tarefas de embarque e levantamento sísmico.

Aos bolsistas de Iniciação Científica, acadêmicos Carla e Vinícius, pelo auxílio em algumas etapas do trabalho.

À Adriana, por estar ao meu lado. À Marisa, Rafael e Tarcisio.

À minha família: mãe Norma; aos meus irmãos e suas famílias: Paulo, Clari, José, Rejânio e Clarilene.

Aos amigos.

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xi
I- INTRODUÇÃO	
1- Generalidades	2
2- Objetivos e questões científicas abordadas	4
3- Área de estudo	5
4- Organização do trabalho	7
II- METODOLOGIA	
1- Generalidades	10
2- Dados sísmicos	10
3- Testemunhos de sondagem	12
3.1- Análise sedimentológica	13
3.2- Análise palinológica e de diatomáceas	14
3.3- Datação radiométrica	14
4- Estratigrafia sísmica	15
III- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	
1- Generalidades	17
2- Margem continental brasileira	17
3- Província Costeira do Rio Grande do Sul	18
4- Sistemas deposicionais costeiros	23
5- Evolução paleogeográfica da região costeira do Rio Grande do Sul	29
6- Plataforma continental do Rio Grande do Sul	34
7- Hidrodinâmica da região praial e plataforma continental	36
8- Clima atual na área de estudos	40

IV– ELEMENTOS ARQUITETURAIS DO SUBSTRATO DA LAGOA DOS PATOS REVELADOS POR SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO

Comprovação de submissão de artigo à revista <i>Pesquisas em Geociências</i>	43
1- ABSTRACT	44
2- INTRODUÇÃO	45
3- CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO	46
4- MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.1- Aquisição dos dados sísmicos	48
4.2- Reconhecimento e mapeamento de seqüências e fácies sísmicas	49
5- RESULTADOS	49
5.1- Seqüência I	50
5.2- Seqüência II	51
5.3- Seqüência III	52
5.4- A resposta sísmica relacionada ao gás nos sedimentos	55
6- ANÁLISE E DISCUSSÃO	56
7- CONCLUSÕES	60

V– HOLOCENE PALEOENVIRONMENT OF THE BOJURU REGION, SOUTHERN BRAZIL

Comprovação de submissão de artigo à revista <i>Journal of Coastal Research</i>	63
1- ABSTRACT	64
2- INTRODUCTION	64
3- COASTAL EVOLUTION OF RIO GRANDE DO SUL	68
4- MATERIAL AND METHODS	69
4.1- Core sampling	69
4.2- Seismic study	70
4.3- Palynomorph and diatom study	70
5- RESULTS	71
5.1- Seismic records	71
5.2- Lithostratigraphy of core B2	73
6- ANALYSIS AND DISCUSSION	77
7- CONCLUSIONS	80

VI- PALEOCHANNELS RELATED TO LATE QUATERNARY SEA LEVEL	
CHANGES IN SOUTHERN BRAZIL	
Comprovação de submissão de artigo à revista <i>Marine Geology</i>	83
1- ABSTRACT	84
2- INTRODUCTION	85
3- GEOLOGIC OUTLINE	86
4- METHODS	88
5- RESULTS	90
6- DISCUSSION	94
7- CONCLUSIONS	98
VII- SHALLOW GAS ACCUMULATIONS IN THE SEDIMENTS OF THE	
PATOS LAGOON AREA, SOUTHERN BRAZIL	
Comprovação de submissão de artigo aos <i>Anais da Academia Brasileira de</i>	
<i>Ciências</i>	101
1- ABSTRACT	102
2- INTRODUCTION	103
3- AREA OF STUDY	103
4- METHODOLOGY OF SEISMIC DATA ACQUISITION	105
5- RESULTS	106
5.1- Types of gas occurrences	106
5.2- Distribution of shallow gas in the Patos Lagoon	109
6- DISCUSSION	110
7- CONCLUSIONS	112
VIII- CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	114
IX- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
ANEXO	131

LISTA DE FIGURAS

Figura	Descrição	Página
Figura 1	Principais aspectos fisiográficos da planície costeira do estado do Rio Grande do Sul e área oceânica adjacente.	6
Figura 2	Localização dos perfis sísmicos e dos furos de sondagem estudados.	11
Figura 3	Fisiografia e principais estruturas geológicas do embasamento e da bacia de Pelotas.	19
Figura 4	Seção geológica esquemática da bacia de Pelotas.	20
Figura 5	Compartimentação geomorfológica da Província Costeira do Rio Grande do Sul.	21
Figura 6	Mapa geológico do Rio Grande do Sul e mapa geológico simplificado dos sistemas deposicionais da planície costeira do Estado.	24
Figura 7	Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira” da planície costeira do Rio Grande do Sul.	26
Figura 8	Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo regressivo do Plioceno/Pleistoceno inferior.	30
Figura 9	Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo transgressivo pleistocênico (~ 400 ka) responsável pela formação do sistema Laguna-Barreira I.	31
Figura 10	Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo transgressivo pleistocênico (~ 325 ka) responsável pela formação do sistema Laguna-Barreira II.	31
Figura 11	Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo transgressivo do pleistocênico (~ 120 ka) responsável pela formação do sistema Laguna-Barreira III.	32
Figura 12	Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo regressivo do final do Pleistoceno (~17 ka).	33
Figura 13	Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo transgressivo holocênico (~ 5 ka) responsável pela formação do sistema Laguna-Barreira IV.	34
Figura 14	Mapa de localização da área de estudo: artigo do capítulo IV.	46
Figura 15	Fácies e seqüências deposicionais identificadas nos registros sísmicos da Lagoa dos Patos.	50

Figura 16	Elementos arquiteturais identificados nos registros sísmicos da Lagoa dos Patos: fácies a, b, c e d ; seqüências I e II .	51
Figura 17	Elementos arquiteturais identificados nos registros sísmicos da Lagoa dos Patos: fácies d, e, f, g e h ; seqüências I, II e III .	53
Figura 18	Elementos arquiteturais identificados nos registros sísmicos da Lagoa dos Patos: fácies d, i, e k ; seqüências II e III .	54
Figura 19	Elementos arquiteturais identificados nos registros sísmicos da Lagoa dos Patos: fácies d, j, e k ; seqüências II e III .	55
Figura 20	Respostas sísmicas ocasionadas pela presença de gás disseminado no pacote sedimentar do substrato da Lagoa dos Patos.	56
Figura 21	Mapa de localização da área de estudo: artigo do capítulo V.	67
Figura 22	Registro sísmico adjacente ao canal da ‘Barra Falsa’ com interpretação dos elementos arquiteturais mapeados.	72
Figura 23	Litologia e distribuição dos microfósseis do furo de sondagem Bojuru 2 (B2).	74
Figura 24	Diagrama de distribuição das algas nos sedimentos do furo de sondagem Bojuru 2 (B2).	76
Figura 25	Mapa de localização da área de estudo: artigo do capítulo VI.	86
Figura 26	Principais refletores sísmicos mapeados nos registros do perfil 2.	91
Figura 27	Registros sísmicos de setores representativos do perfil 7.	93
Figura 28	Registro sísmico do perfil I através do delta intralagunar do rio Camaquã	93
Figura 29	Registro sísmico do perfil II.	94
Figura 30	Mapa de reconstrução dos sistemas de paleodrenagens mapeados a partir dos dados sísmicos.	96
Figura 31	Mapa de localização da área de estudo; artigo do capítulo VII.	104
Figura 32	Tipos e características das anomalias acústicas causadas pela presença de gás nos sedimentos do substrato da Lagoa dos Patos.	107
Figura 33	Perfil 12 mostrando a associação entre as ocorrências de pacotes gasosos e as áreas de paleodepressões da superfície deposicional original.	108

RESUMO

Os processos sedimentares e as variações do nível do mar que ocorreram na região costeira do estado do Rio Grande do Sul, no Quaternário, são enfocados neste trabalho. O estudo foi embasado em dados sísmológicos, sedimentológicos, geocronológicos e paleontológicos. Os dados sísmicos foram obtidos durante levantamentos sísmicos de reflexão, de alta resolução, realizados na Lagoa dos Patos. A caracterização dos sedimentos obtidos de furos de sondagem envolveu cor, textura, estrutura e quantidade de matéria orgânica. Argilas e lamas foram coletadas para o estudo de palinórfos e diatomáceas. Foram determinadas duas idades por radiocarbono (^{14}C) em amostra total de sedimentos. Para a **região de Bojuru** foram inferidos seis estágios de desenvolvimento paleoambiental, em base a dados de litologia, palinórfos e diatomáceas. O canal atual da Barra Falsa foi vinculado a um importante paleocanal identificado pela sísmica. O período principal de formação do canal é relacionado ao último evento regressivo do final do Pleistoceno. Sedimentos lamosos de preenchimento deste canal são caracterizados pela incidência significativa de palinórfos marinhos e de diatomáceas marinhas e estuarinas, depositados durante o último evento transgressivo. O fechamento desse canal é atribuído às mudanças nas condições de sedimentação do máximo transgressivo holocênico e regressão subsequente. Para a **área da Lagoa dos Patos**, a análise dos registros sísmicos permitiu a identificação e o mapeamento de fácies e seqüências sísmicas, bem como dos elementos arquiteturais relacionados. O conjunto de dados sísmicos revelou a presença de inúmeros paleocanais que dissecaram profundamente a região costeira, em dois períodos distintos do Pleistoceno, antes da instalação da superfície atual da planície costeira. Os cursos das paleodrenagens, mapeados a partir dos perfis sísmicos, foram conectados com aqueles reconhecidos para a plataforma continental e talude em estudos anteriores. À montante, o sistema de drenagens escavou o prisma costeiro depositado durante os eventos prévios de mar alto. O preenchimento dos sistemas de vales e canais incisos é relacionado aos processos sedimentares dos eventos transgressivos subsequentes. A rede de paleodrenagem reconhecida representa um sistema de transferência entre a bacia de drenagem e os ambientes de deposição da bacia marginal, passando pela plataforma continental exposta por um evento regressivo. Os vales incisos provavelmente exerceram um papel importante na arquitetura de borda da bacia sedimentar, na distribuição faciológica e na geração de espaço de acomodação durante as subidas e descidas do nível do mar no Quaternário. Anomalias acústicas, na forma de refletores sísmicos anômalos, revelaram que sedimentos gasosos são comuns em vários setores da Lagoa dos Patos. As maiores acumulações de gás ocorrem em áreas originalmente rebaixadas do terreno, vinculadas aos antigos cursos fluviais. O estudo permitiu a identificação dos elementos arquiteturais que constroem a pilha sedimentar acumulada no prisma costeiro do Rio Grande do Sul, contribuindo com novos e importantes elementos para um melhor entendimento da evolução geológica das planícies costeiras do sul do Brasil.

ABSTRACT

The sedimentary processes and sea level variations which occurred within the coastal zone of the state of Rio Grande do Sul, southern Brazil, during the Quaternary period are addressed herein. The study based on data from seismology, sedimentology, geochronology and paleontology. The seismic records were obtained by high-resolution seismic-reflection data surveys performed in the Lagoa dos Patos lagoon. The characterization of the sediments obtained from core samples comprised color, texture, structure, and organic matter content. Clay and muddy sediments were collected for the study of palynomorphs and diatoms. Two radiocarbon ^{14}C age determinations on bulk sediment samples were performed. In the **Bojuru region** six stages of paleoenvironment development were inferred based on lithology, palynomorph and diatom data. The present Barra Falsa channel was linked to a prominent buried paleochannel identified in the seismics. The main period of the channel incision was related to the last regressive event of the end of the Pleistocene. Muddy sediments filling up this channel are characterized by a significant incidence of marine palynomorphs and marine and estuarine diatoms, deposited in the course of the last transgressive event. The closure of the Barra Falsa inlet is attributed to shifts in the sedimentation milieu related to the transgressive maximum of the Holocene and subsequent regression. In the **Lagoa dos Patos area**, the analysis of the seismic records allowed the identification and mapping of seismic facies and seismic sequences as well as related architectural elements. Several former channels that deeply dissected the coastal zone before the establishment of the actual coastal plain morphology were revealed by the seismic dataset. The channel incisions were formed during two different periods in the Pleistocene. The paleodrainage paths mapped from the seismic profiles were connected with those recognized by previous studies in the adjacent continental shelf and slope. Upstream, the drainage incised into the coastal prism deposited during previous sea level highstand events. The filling of the incised channel and valley systems is related to sedimentary processes of subsequent transgressive events. The recognized paleodrainage network represents a river-shelf system, linking the drainage basin to the depositional settings on the marginal basin, bypassing the continental shelf exposed during a regressive event. The drainage incisions have probably played an important role in the basin-margin architecture, facies distribution and accommodation during the Quaternary sea level up and down events. Acoustic anomalies in the form of anomalous seismic reflectors revealed that gas-charged sediments are common in several areas of the lagoon. The main gas accumulations occur in areas of former topographic lows, which are related to former main river courses. The study allowed the identification of the architectural elements that build up the sedimentary pile accumulated in the coastal prism of Rio Grande do Sul, contributing with new and important elements to a better understanding of the geological evolution of the south Brazilian coastal plain.

I- INTRODUÇÃO

I- INTRODUÇÃO

1- GENERALIDADES

Diversos trabalhos têm contribuído para o conhecimento geológico das bacias sedimentares dispostas ao longo da margem continental brasileira. O Levantamento Bibliográfico sobre a Geologia Marinha no Brasil (1841-1992), divulgado pelo Programa de Geologia e Geofísica Marinha - PGGM (Tessler e Mahiques, 1996), revela a diversidade de atividades versando sobre a geologia costeira e da plataforma continental. Muitos desses trabalhos enfocam a região sul do Brasil e o Rio Grande do Sul (RS).

Um histórico dos estudos sobre o Cenozóico do RS, principalmente da planície costeira e áreas adjacentes, foi apresentado por Villwock (1984), Villwock e Tomazelli (1995) e, mais recentemente, por Tomazelli e Villwock (2000). Na evolução dos conhecimentos sobre o Cenozóico do estado do RS, Villwock e Tomazelli (1995) identificam uma fase antiga, entre os anos de 1880 e 1950, e uma fase moderna após 1950.

Segundo Villwock e Tomazelli (1995), a fase antiga é caracterizada por trabalhos descritivos abordando temas variados realizados por naturalistas, geógrafos, historiadores e filósofos. Esses autores destacam os trabalhos desenvolvidos por Backeuser (1918), Lamengo (1940) e Rambo (1942).

A fase moderna dos estudos, ainda segundo Villwock e Tomazelli (1995), é marcada pelos trabalhos desenvolvidos pelas universidades, em especial pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, principalmente a partir da criação da Escola de Geologia, em 1957, propiciando a vinda de pesquisadores do exterior para atuarem nas áreas de geomorfologia, estratigrafia, sedimentologia, geologia histórica, entre outras. Associa-se a esta segunda fase o esforço da Petrobrás nas suas atividades exploratórias de hidrocarbonetos na bacia de Pelotas.

O trabalho de Delaney (1965), então já na fase moderna, é considerado por Tomazelli e Villwock (2000) como um marco sobre o conhecimento geológico da planície costeira do RS, pois ofereceria a primeira visão de conjunto sobre a geologia e geomorfologia da região, lançando os fundamentos para os trabalhos posteriores. Delaney (1965) apresenta, pela primeira vez, um mapa geológico da planície costeira do RS e uma coluna estratigráfica para as suas unidades aflorantes.

Trabalhos no campo da sedimentologia, como os de Martins (1963; 1966) e Martins e Gamermann (1967) sobre os sedimentos de fundo da Lagoa dos Patos, e de Martins (1967) sobre sedimentos praias e eólicos sustentaram, segundo Tomazelli e Villwock (2000), a criação do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - CECO e da área de concentração em Geologia Marinha do Programa de Pós-Graduação em Geociências - PPGEO, da UFRGS.

A partir da criação do CECO/UFRGS, a geologia da região costeira do RS tem sido foco dos estudos conduzidos por esse centro de pesquisas. Destaca-se a atividade de mapeamento sistemático dos sistemas deposicionais costeiros do Estado, fornecendo subsídios importantes para a evolução do conhecimento sobre a margem continental sul-brasileira.

A bacia de Pelotas foi alvo dos estudos da Petrobrás, a partir da década de 60, através de levantamentos geofísicos profundos e sondagens estratigráficas, possibilitando as primeiras informações sobre a espessa pilha sedimentar ali acumulada.

Os estudos sismoestratigráficos de Gonçalves *et al.* (1979), Ojeda (1982) e Fontana (1996) caracterizaram o arcabouço estrutural da bacia de Pelotas.

Utilizando dados sísmicos e de poços, Fontana (1990) analisa o desenvolvimento termomecânico da bacia de Pelotas e da parte sul da plataforma de Florianópolis. Esse mesmo autor (1990a) apresenta também um trabalho preliminar de investigação geofísica sobre o Cone de Rio Grande, um dos aspectos fisiográficos mais marcantes na morfologia de fundo nos limites da bacia.

Dias *et al.* (1994) apresenta uma carta estratigráfica para a bacia de Pelotas, ressaltando seu caráter genérico em consequência do reduzido número de poços perfurados até aquele momento.

Devido à escassez de dados sísmicos de alta resolução, os elementos arquiteturais do prisma sedimentar depositado na região costeira do RS são pouco conhecidos. Também são poucos os trabalhos publicados que utilizaram dados sísmicos para subsidiar os estudos geológicos conduzidos na planície costeira do RS.

Com o auxílio de ecogramas de 7 kHz, Toldo (1994) e Toldo *et al.* (2000) estudaram a sedimentação holocênica na Lagoa dos Patos. Foi mapeado um refletor sísmico de subsuperfície que marcaria o limite Pleistoceno/Holoceno no interior do corpo lagunar.

Ortiz (1995) utilizou trechos desses mesmos ecogramas de 7 kHz para auxiliar na identificação do canal fluvial pleistocênico do Rio Camaquã, o qual desemboca atualmente na margem oeste da Lagoa dos Patos.

Os resultados de um levantamento sísmico no canal de acesso a Lagoa dos Patos, em Rio Grande, foi apresentado por Corrêa *et al.* (2003). A interpretação sísmica dos dados foi embasada na análise da configuração dos refletores sísmicos, sendo reconhecidas estruturas de barreiras costeiras no substrato do canal de Rio Grande, no extremo sul da laguna.

Do exposto, podemos afirmar que as inúmeras pesquisas realizadas e os trabalhos publicados têm contribuído significativamente para o avanço no conhecimento científico da região em foco. No entanto, são poucos os trabalhos que utilizam dados sísmicos de alta resolução na investigação da pilha sedimentar acumulada na planície costeira do RS. Geralmente os dados disponíveis de sub-superfície são pontuais, obtidos principalmente através de testemunhagem rasa, cavas de mineração, escavações, dragagens, entre outros.

Este estudo utiliza dados inéditos de perfis sísmicos de alta resolução (3,5 kHz) levantados no interior da Lagoa dos Patos. Desta forma, o estudo lança mão de um conjunto de dados sísmicos de alta resolução, dos mais consistentes, coletados até o momento, para a planície costeira do RS. Também foram incorporados novos dados geocronológicos, sedimentológicos e paleontológicos, obtidos de amostras sedimentares de furos de sondagem.

O reconhecimento e o mapeamento dos elementos arquiteturais da pilha sedimentar acumulada no prisma costeiro do RS contribui, de forma significativa, aos estudos relacionados à evolução geológica e paleogeográfica desta região. O trabalho traz novos elementos que deverão ser incorporados aos modelos evolutivos propostos para os sistemas deposicionais costeiros do estado do RS.

2- OBJETIVOS E QUESTÕES CIENTÍFICAS ABORDADAS

O objetivo geral deste trabalho é trazer novos subsídios aos estudos relacionados à evolução geológica e paleogeográfica da região costeira e da plataforma continental do RS durante o Quaternário. Enfoca ainda o estudo dos elementos arquiteturais que constroem a pilha sedimentar acumulada durante o período Quaternário no prisma costeiro do RS, principalmente na região da Lagoa dos Patos.

Como objetivos específicos podemos citar a abordagem e a resposta para algumas das seguintes questões científicas:

- a análise dos dados sísmicos permite reconhecer os indicadores geológicos dos eventos regressivos e transgressivos que ocorreram na zona costeira e na plataforma

continental do RS durante o Quaternário? Esses indicadores podem ser relacionados aos sistemas deposicionais do tipo ‘laguna-barreira’ expostos na planície costeira do RS?

- a planície costeira e a plataforma continental do RS foram severamente dissecadas durante os eventos regressivos do nível do mar do Quaternário?

- quando foram formados os sistemas de paleodrenagens que podem ser reconhecidos pela análise dos registros sísmicos?

- o sistema de paleodrenagens pode ser reconstituído a partir do mapeamento dos paleovales e paleocanais reconhecidos nos perfis sísmicos da Lagoa dos Patos?

- onde estão os paleovales dos rios que dissecavam a plataforma continental do RS antes da transgressão holocênica (por exemplo, o do rio Camaquã)?

- qual era a morfologia da região costeira do RS antes da instalação do sistema lagunar holocênico Patos-Mirim?

- o que controla as ocorrências de grandes acumulações de gás raso na região nos sedimentos do substrato da Lagoa dos Patos?

- é possível relacionar as variações locais do nível do mar, inferidas por dados sísmicos, paleontológicos e de datação radiométrica, com as curvas de variações do nível propostas para outras regiões, de abrangência regional ou global?

3- ÁREA DE ESTUDO

A área alvo deste estudo é o setor médio da planície costeira do RS e da plataforma continental adjacente, localizada no extremo sul do Brasil (Fig. 1).

A região costeira do RS e a parte sul do estado de Santa Catarina (SC) são consideradas, em alguns trabalhos, como de traçado “monótono”, por não apresentarem os recortes que caracterizam a costa da região Sudeste do país. De fato, o traçado mais “monótono” da linha de costa e a morfologia mais regular da região costeira iniciam-se no Cabo de Santa Marta (SC) e estende-se até o Cabo Polônio, já no Uruguai. Portanto, a região costeira, com morfologia mais regular, é limitada ao norte e ao sul por altos do embasamento cristalino pré-cambriano, a saber, pelo promontório rochoso do Farol de Santa Marta (SC) e do Cabo Polônio (no Uruguai) respectivamente.

A planície costeira do RS é uma ampla área plana com superfície de ~ 33.000 km², em grande parte ocupada por um enorme sistema de lagos costeiros. É uma das mais extensas e amplas planícies costeiras do mundo, alongada na direção SO-NE por aproximadamente 600 km, sendo cortada por apenas dois canais perenes principais (Rio Grande e Tramandaí). Delimita-se ao norte pelo rio Mampituba e ao sul pelo arroio Chui.

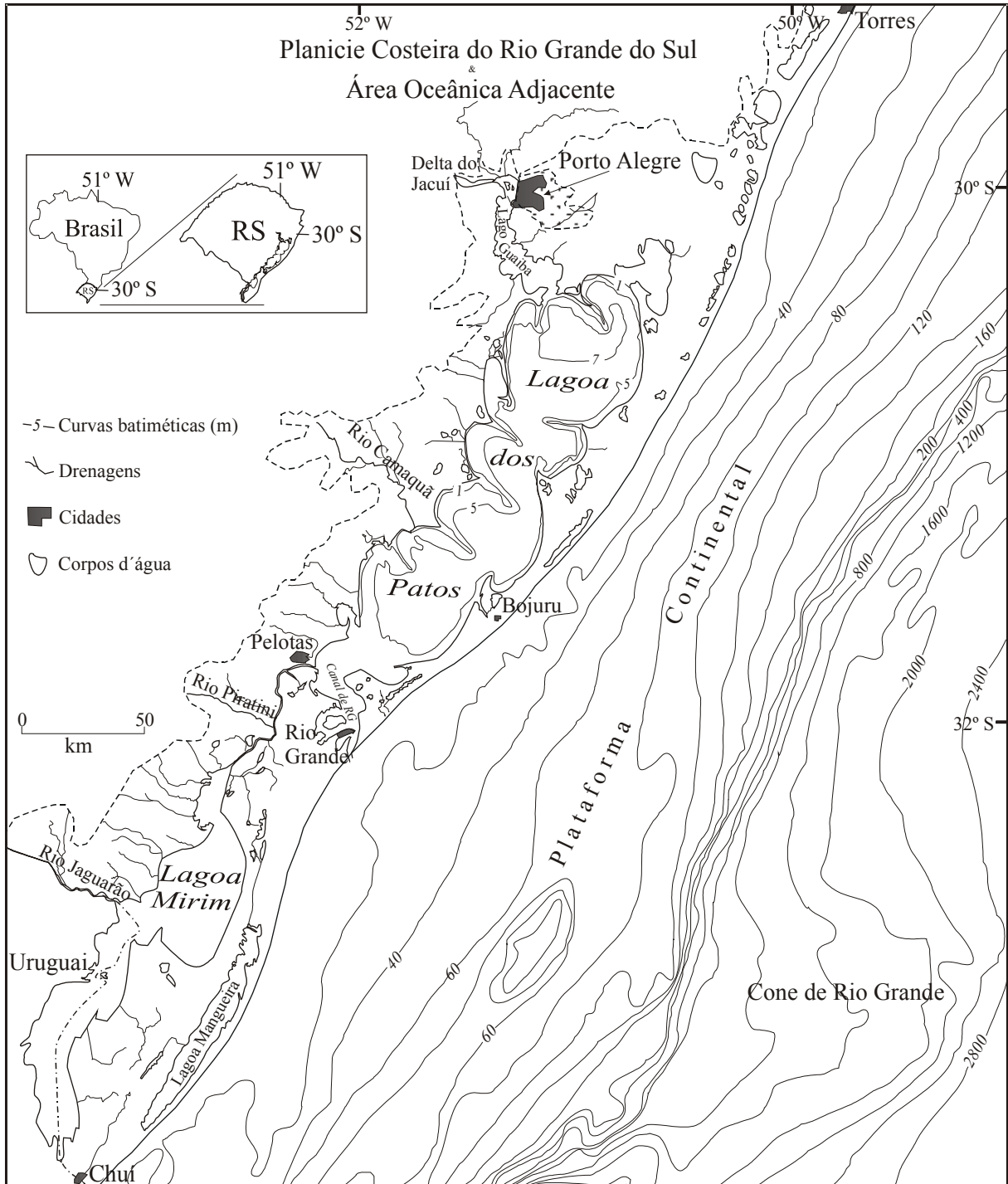


Figura 1. Principais aspectos fisiográficos da planície costeira do Rio Grande do Sul e área oceânica adjacente. Curvas batimétricas da área oceânica de Corrêa (1996) e da Lagoa dos Patos de Toldo *et al.* (2000).

4- ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A tese foi elaborada na modalidade “integração de artigos científicos”, de acordo com a Resolução 002/98 do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGeo/UFRGS. Os artigos foram submetidos à publicação em periódicos indexados nacionais e internacionais. Desta forma, resultados, análises e discussões da pesquisa são apresentados basicamente na forma de artigos científicos.

O capítulo I faz um breve relato sobre a evolução dos conhecimentos a cerca da geologia do Cenozóico costeiro do estado do Rio Grande do Sul. Aborda a fase antiga e a fase moderna na evolução dos conhecimentos, citando os trabalhos, pesquisadores e entidades mais relevantes. Neste capítulo, também são apresentados a localização da área de estudos, os objetivos e as questões científicas abordadas na tese.

O capítulo II trata da metodologia empregada na obtenção, processamento e análise do conjunto de dados utilizado no trabalho.

O capítulo III insere a planície costeira do RS no contexto geológico regional, sob a influência de diversos aspectos dinâmicos, controladores das características climáticas e hidrodinâmicas, e que influem na evolução geológica do ambiente costeiro do Estado. Aborda a geologia, a paleogeografia, as variações do nível do mar, o clima e a hidrodinâmica, na escala regional e da área de estudo.

Nos capítulos IV, V, VI e VII são apresentados os artigos que compõem o corpo principal desta tese. As figuras foram renumeradas e o trabalho foi repaginado, de forma a organizar seqüencialmente os artigos no corpo da tese.

No capítulo IV é apresentado o artigo “*Elementos arquiteturais do substrato da Lagoa dos Patos revelados por sísmica de alta resolução*”. O trabalho trata do estabelecimento, mapeamento e estudo dos elementos arquiteturais que foram reconhecidos nos perfis sísmicos de alta resolução levantados na Lagoa dos Patos. Fácies e seqüências sísmicas foram mapeadas tendo como base a análise da configuração dos refletores sísmicos, em concordância com as linhas gerais estabelecidas pela estratigrafia sísmica. O artigo foi submetido à publicação na revista **Pesquisas em Geociências**.

No capítulo V é apresentado o artigo “*Holocene palaeoenvironment of the Bojuru region, southern Brazil*”. O trabalho aborda a evolução geológica e paleogeográfica da planície costeira média do RS a partir da análise de dados sísmicos, geocronológicos, sedimentológicos e paleontológicos. Um modelo evolutivo, com base na análise integrada dos

dados obtidos durante o desenvolvimento deste projeto de tese e àqueles da bibliografia pertinente disponível, é apresentado. O artigo foi submetido à publicação na revista **Journal of Coastal Research**.

O capítulo **VI** é composto pelo artigo “*Paleochannels related to late Quaternary sea level changes in southern Brazil*”. O estudo apresenta os paleocanais e paleovales que marcam os sistemas de drenagens que dissecavam a região costeira do RS, em períodos de nível do mar regressivo, antes da instalação do atual sistema lagunar Patos-Mirim. Um mapa de paleodrenagens é apresentado, sendo discutida também a localização dos antigos canais de ligação entre a Lagoa dos Patos e o oceano adjacente. O artigo foi submetido à publicação na revista **Marine Geology**.

O capítulo **VII** é composto pelo artigo “*Shallow gas accumulations in the sediments of the Patos Lagoon area, southern Brazil*”. A detecção de grandes acumulações de gás nos sedimentos do substrato da Lagoa dos Patos motivou o desenvolvimento do artigo. O trabalho identifica e caracteriza a ocorrência de setores com ‘bolsões de gás’ e setores com ‘gás disseminado’ no interior do corpo lagunar, relacionando-os aos sistemas de paleodrenagens da região. O trabalho foi submetido à publicação na revista **Anais da Academia Brasileira de Ciências**.

No capítulo **VIII** são apresentadas as considerações finais e conclusões emanadas do desenvolvimento deste estudo.

Todas as citações bibliográficas, incluindo as do texto da tese e também aquelas citadas nos artigos científicos submetidos (capítulos IV a VII), são listadas em ordem alfabética no último capítulo, o **IX**.

II- METODOLOGIA

1- METODOLOGIA

1- GENERALIDADES

O embasamento científico preliminar para o desenvolvimento deste estudo é constituído pelos diversos trabalhos que vêm sendo desenvolvidos sobre a geologia da planície costeira do Rio Grande do Sul e da área oceânica adjacente.

O Atlas Geológico da Província Costeira do Rio Grande do Sul (Villwock *et al.*, 1984) e o Mapa Geológico da Província Costeira do Rio Grande do Sul (Villwock *et al.*, 1994), elaborados a partir de mapeamento geológico sistemático por pesquisadores do CECO-UFRGS, e publicações associadas, fornecem informações importantes para os trabalhos relacionados ao estudo da geologia costeira do Estado.

Além da base de dados já disponível, novas informações foram obtidas. Destacam-se os perfis sísmicos de alta resolução levantados no interior da Lagoa dos Patos e os testemunhos de sondagens executados na margem lagunar da Lagoa dos Patos.

Este estudo é embasado, principalmente, em informações obtidas a partir de dados sísmicos, sedimentológicos, paleontológicos e geocronológicos. A seguir são apresentados os materiais e métodos mais relevantes empregados no desenvolvimento desta tese, não incluindo aqueles de uso corriqueiro (*e.g.*, *softwares* variados, pesquisa bibliográfica, etc.).

2- DADOS SÍSMICOS

Levantamento de perfis sísmicos de alta resolução foi realizado na Lagoa dos Patos, a bordo da Lancha Oceanográfica LARUS da Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Foram levantados aproximadamente 400 km de perfis sísmicos, distribuídos em várias seções no interior do corpo lagunar. A rota e o posicionamento dos perfis foram feitos com auxílio de um sistema de posicionamento por satélite (DGPS) (Fig. 2).

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

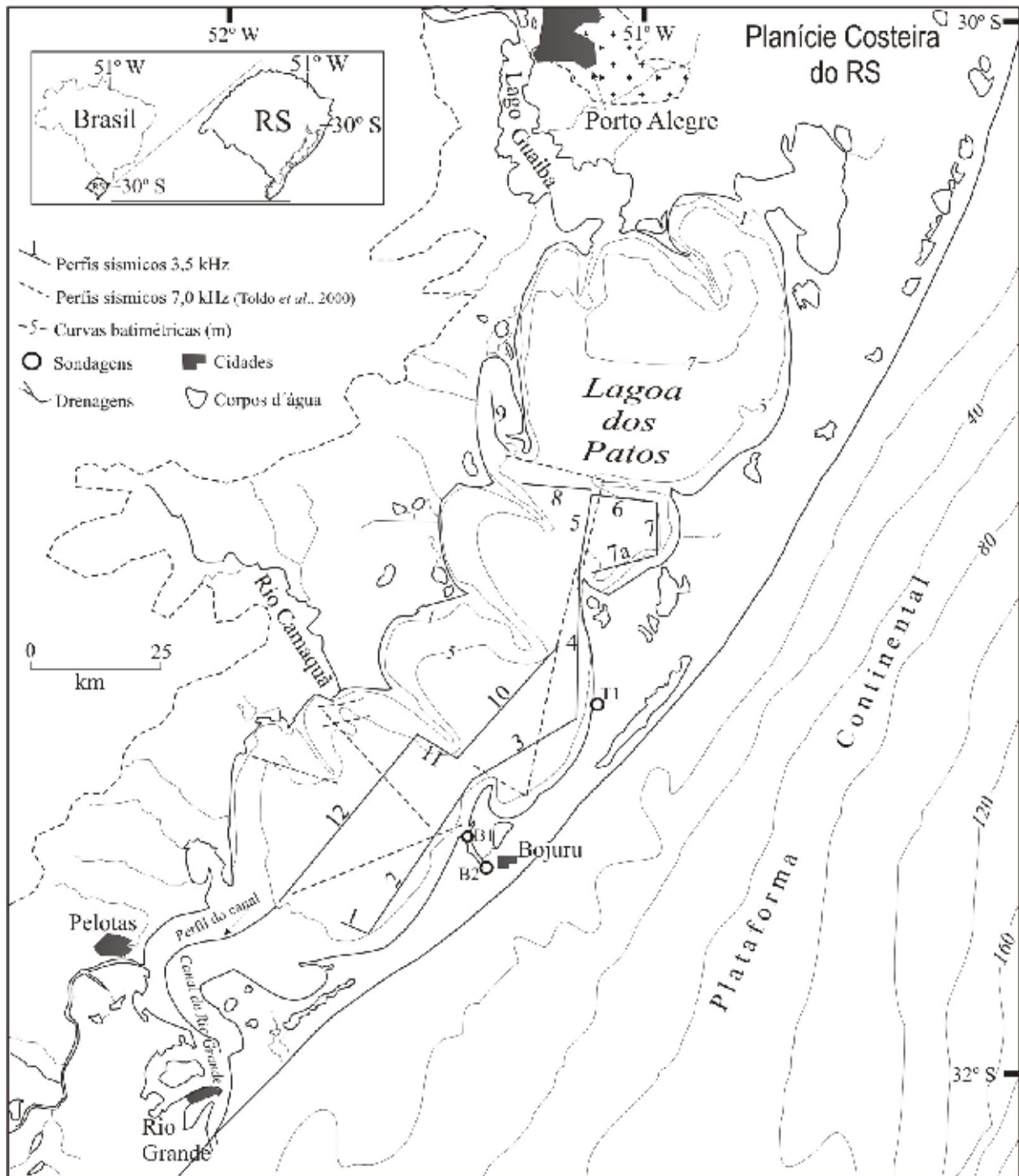


Figura 2. Localização dos perfis sísmicos estudados e dos furos de sondagem executados nas proximidades da cidade de Bojuru (B1 e B2) e Tavares (T1).

O sistema de aquisição sísmica era composto por: - 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.sbp da Chesapeake Technology, Inc., com acessórios e periféricos.

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.

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

Para auxiliar no presente estudo também foram analisados dados sísmicos obtidos durante um cruzeiro oceanográfico realizado na Lagoa dos Patos, em 1993, dentro do projeto “Evolução Paleogeográfica do Quaternário Costeiro-Marinho da Margem Continental Sul-brasileira”, conduzido por pesquisadores do CECO/UFRGS (Toldo e Dillenburg, 1993, Toldo, 1994 e em Toldo *et al.*, 2000). O equipamento utilizado foi um sistema de sísmica rasa RTT 1000 *Raytheon*, composto por um registrador 719 C RTT, um transdutor de 3,5-7 kHz e um transceptor PTR 106C. São aproximadamente 300 km de perfis sísmicos, distribuídos em diversas seções. Os segmentos mais significativos desses perfis, analisados neste trabalho, são representados como linhas tracejadas na figura 2.

3- TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

Foram executados três furos de sondagem na área de estudos, pelo ensaio de penetração dinâmica (*SPT - Standard Penetration Test*). Cada perfuração atingiu 25,45 metros de profundidade, a contar da superfície, totalizando 76,35 m.

Duas sondagens foram realizadas na margem lagunar, perto da linha d'água (Bojuru 1 –B1: 31° 34,424' S / 51° 27,841' W e Tavares 1 –T1: 31° 16,877' S / 51° 09,023' W) e uma perto da cidade de Bojuru (Bojuru 2 –B2: 31° 38,105' S / 51° 25,644' W) (Fig. 2).

As perfurações foram realizadas por percussão, com a circulação de água e lama bentonítica para a estabilização. O primeiro metro de perfuração foi revestido com tubo de 63,5 mm de diâmetro nominal. A extração das amostras foi feita com cravação de amostrador padrão de 34,9 mm de diâmetro interno e 50,8 mm de diâmetro externo. Anotaram-se os números de golpes de um peso de 65 kg que cai em queda livre de uma altura de 75 cm, para cravar 45 cm do amostrador no terreno. O número obtido indica a compactidade de solos predominantemente arenosos ou a consistência dos solos com predominância de argilas. O relatório de sondagem apresentado pela empresa executante destaca ainda que o trabalho obedeceu às Normas Brasileiras relacionadas a este tipo de levantamento (NBR-6484/80; NBR-7520/83; NBR-6502/80; NBR-8036/83) (Simch, 2003).

A amostragem foi feita de metro em metro. Geralmente ocorre um avanço por lavagem de 0,5 m, quando é possível coletar amostras de calha, seguido da extração da amostra feita com a cravação do amostrador padrão acima descrito. A amostra recuperada pelo amostrador geralmente testemunha em torno de 50 cm de espessura contínua do pacote sedimentar.

Os testemunhos foram descritos e fotografados em campo. Os segmentos mais bem preservados após a abertura do amostrador foram enrolados em filme plástico e preservados para descrição mais detalhada em laboratório. As demais amostras, incluindo aquelas de calha, foram armazenadas em sacos plásticos. Todas as amostras foram devidamente identificadas e trazidas para o laboratório do CECO/UFRGS, sendo então submetidas às análises complementares.

3.1- Análise sedimentológica

Foram realizadas análises granulométricas das amostras de sedimentos coletadas nos três testemunhos de sondagem. A preparação das amostras em laboratório seguiu basicamente a metodologia descrita por Martins *et al.* (1978). A distribuição das classes granulométricas dos sedimentos foi analisada no programa de computação PANCOM (Toldo e Medeiros, 1986), estabelecendo-se os parâmetros estatísticos propostos por Folk e Ward (1957) e classificação segundo o diagrama de Shepard (1954).

Em algumas amostras foi dosada a quantidade de matéria orgânica presente, através da queima da fração orgânica em mufla. Seguiu-se a relação temperatura de queima de 550° C e o tempo de exposição na mufla de 4 horas proposta por Wetzel (1975). O

procedimento permitiu identificar as amostras mais indicadas para serem datadas pela série do carbono, ou seja, aquelas amostras mais ricas em matéria orgânica total.

3.2- Análise palinológica e de diatomáceas

Análises das associações palinológicas e de diatomáceas foram conduzidas em amostras dos testemunhos Bojuru 1 (B1) e Bojuru 2 (B2). Escolheu-se os intervalos mais propícios para a preservação dessas associações paleontológicas, ou seja, os mais lamosos, de cores mais escuras e mais ricos em matéria orgânica. O testemunho Bojuru 1 forneceu somente uma amostra com essas características. O testemunho Tavares 1 não forneceu nenhuma amostra adequada, devido a sua composição essencialmente arenosa.

No testemunho **B1** analisou-se uma amostra da profundidade de 24 m. No testemunho **B2** analisaram-se 14 amostras das profundidades (em metros): 3,5; 3,6; 3,8; 3,9; 5,2; 7,7; 8,7; 9,1; 9,5; 10,0; 10,3; 11,1; 23,1; 24. As amostras das profundidades de 9,5 e 24 m são de calha, representando uma profundidade média da amostragem para um intervalo.

O tratamento químico das amostras seguiu as técnicas usuais descritas em Faegri e Iversen (1975). As amostras são tratadas com ácido clorídrico e hidróxido de potássio (ambos à 10%). Aplica-se o método da separação por líquido denso (solução aquosa de $ZnCl_2$ de densidade $2,2 \text{ g/cm}^3$) das substâncias inorgânicas e orgânicas. Após o tratamento químico as amostras são montadas em lâminas com gelatina glicerinada. Ressalta-se que a não aplicação de ataque químico com ácido fluorídrico preserva, para posterior análise, os esqueletos silicosos de diatomáceas e cistos de silicoflagelados.

Para análise de diatomáceas, após a preparação descrita, retira-se subamostras de 10 ml que são deixadas em repouso para possibilitar a sedimentação natural dos sedimentos finos. Obtêm-se então do sobrenadante alíquotas de 2 ml, que são colocadas em câmaras de sedimentação. São montadas lâminas para análise, identificação e quantificação do material.

3.3- Datação radiométrica

Idades radiométricas pela série do carbono foram determinadas pelo laboratório Beta Analytic Inc., Flórida-USA. Foram datadas amostras totais de sedimentos orgânicos (total - *bulk sediments*), coletadas do testemunho Bojuru 2, que apresentavam um alto teor de matéria orgânica (> 15 %). As datações são apresentadas com idades ^{14}C convencionais, as quais foram obtidas após as devidas correções de $^{13}C/^{12}C$ e calibração das idades.

4- ESTRATIGRAFIA SÍSMICA

O reconhecimento e o mapeamento das seqüências e fácies sísmicas, assim como dos diversos elementos arquiteturais a elas associados, tiveram como base a análise da configuração interna dos refletores, a terminação lateral das superfícies sísmicas e a geometria externa dos pacotes, em concordância com as linhas gerais estabelecidas pela sismoestratigrafia (Mitchum *et al.*, 1977). A metodologia permite uma interpretação geológica sistemática dos perfis sísmicos, fornecendo informações à cerca dos processos de sedimentação, variações relativas do nível do mar, paleotopografia, entre outras.

Para avaliar a espessura aproximada dos pacotes sedimentares foi utilizada uma velocidade média de deslocamento do sinal acústico de 1.650 m/s.

Análise de seqüências sísmicas – os refletores que podem ser seguidos nos registros sísmicos mostram uma superfície de descontinuidade entre dois meios que apresentam diferentes valores de impedância acústica. Dependendo dos processos tectônicos, erosivos, deposicionais, eustáticos, entre outros, o limite entre os refletores será concordante ou discordante. Pacotes de refletores discordantes podem passar ainda para uma concordância relativa. As discordâncias nos refletores sísmicos limitam uma seqüência sísmica, geralmente o equivalente acústico da seqüência deposicional. A base dos limites de seqüência é delineada pela geometria das terminações dos refletores como *onlap* ou *downlap*; truncamentos erosionais ou *toplap* marcam o topo desses limites. Uma seqüência pode ser subdividida em tratos de sistema, levando em consideração o modelo de deposição de paraseqüências, a mudança lateral de fácies sísmicas e o empilhamento/ordenamento das fácies sísmicas no ambiente deposicional.

Análise de fácies sísmicas – uma seqüência pode ser constituída por várias fácies. Fácies sísmicas podem ser diferenciadas principalmente pela configuração interna e externa dos refletores. A configuração interna engloba a relação entre os refletores (paralela, divergente, caótica, etc.), continuidade, amplitude e freqüência. A amplitude e a freqüência fornecem informações sobre a possível litologia do pacote analisado. A configuração externa dos refletores é basicamente a forma externa do depósito sedimentar. A geometria externa pode ser de lençol, cunha, lente, leque, montículo, entre outras, fornecendo informações sobre os processos de sedimentação.

III- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

III- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

1- GENERALIDADES

A zona costeira é um ambiente com uma dinâmica de sedimentação e eventos geológicos muito particulares e diferenciados dentro de um contexto regional. A configuração e a variação morfológica das regiões costeiras são determinadas por uma série de fatores dinâmicos interdependentes, condicionantes dos processos erosivos e deposicionais costeiros.

Neste capítulo a planície costeira do RS é contextualizada no cenário geológico regional, ressaltando ainda os principais fatores dinâmicos atuantes no sistema costeiro.

2- MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA

Muitos autores têm descrito a evolução tectônica e sedimentar da margem continental brasileira nos termos da tectônica de placas, considerando normalmente as fases de soerguimento crustal, *rift*, transicional e de deriva (Ojeda, 1982).

As bacias marginais brasileiras têm suas origens relacionadas a uma sucessão de processos termomecânicos, que ocorreram no Mesozóico, durante a fragmentação da porção ocidental do supercontinente de Gondwana.

A quebra da massa de terra Gondwânica no Triássico superior - Jurássico inferior (220-200 Ma) iniciou com riftiamento na porção meridional da imensa placa. O rompimento crustal propagou-se para o norte, com a América do Sul rotando no sentido horário e a África do Sul no sentido anti-horário (Knoppers *et al.*, 1999; Meisling *et al.*, 2001). O riftiamento propagou-se ao longo da margem continental Argentina setentrional no Jurássico médio (~ 170 Ma), atingindo a margem brasileira meridional, até a altura da zona de fraturas de Florianópolis, no Jurássico superior - Cretáceo inferior (~ 140 Ma), expandindo-se através da margem continental brasileira setentrional no Neocomiano - Barremiano inferior (Meisling *et al.*, 2001). O processo de ruptura culminou com a separação da África e América do Sul e, em consequência, a formação da livre conexão entre o oceano Atlântico Sul e Norte no Cretáceo superior (Conceição *et al.*, 1988; Chang *et al.*, 1992; Mohriak *et al.*, 1998).

O início do riftiamento na margem continental sul-brasileira foi concomitante com uma enorme atividade magmática, atribuída a pluma do manto ou *hot spot* Tristão da Cunha (Meisling *et al.*, 2001). A primeira manifestação vulcânica na Bacia do Paraná foi por volta de 150 Ma antes do presente (AP), culminando em torno de 125-135 Ma AP (Rocha Campos *et al.*, 1998 *apud* Chang *et al.*, 1992). Uma segunda pluma do manto originou-se entre 90 e 80 Ma AP, o *hot spot* Trindade, afetando a evolução geológica da margem continental sul no Cretáceo superior e no Terciário (Cobbold *et al.*, 2001).

Rochas vulcânicas caracterizam a fase *rift* nas bacias de Pelotas, Santos, Campos e Espírito Santo, sobre as quais repousam os sedimentos mais jovens desta fase nestas bacias (Chang *et al.*, 1992; Cainelli e Mohriak, 1999).

Dois tipos diferentes de margem continental desenvolveram-se no Mesozóico durante a fragmentação e subsequente separação da América do Sul da África. A margem continental sul desenvolveu-se em resposta à extensão crustal normal (Chang *et al.*, 1992). As bacias marginais são, portanto, exemplos clássicos de bacias formadas em margem passiva do tipo Atlântico (Ponte e Asmus, 1978; McKenzie, 1978), as quais se desenvolveram através de processos incluindo riftiamento crustal, extensão crustal e ruptura com subsequente deriva oceânica (Bruhn e Walker, 1995). Em contraste, a margem continental do norte e nordeste brasileiro evoluiu em resposta a movimentação do tipo *strike-slip* ao longo de falhas transformantes, desenvolvendo uma série complexa de bacias por cisalhamento (Masclé *et al.*, 1988; Guiraud e Maurin, 1992; Assumpção, 1998; Szatmari e Milani, 1999).

Baseado em tempos diferentes de riftiamento e deriva, Meisling *et al.* (2001) argumenta também que a margem continental sul pode ser dividida em dois compartimentos distintos, separados pela zona de fratura de Florianópolis. Ao sul da plataforma de Florianópolis está situada a bacia de Pelotas, a mais meridional das bacias marginais brasileiras, comentada a seguir.

3- PROVÍNCIA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL

Atualmente o termo Província Costeira do Rio Grande do Sul é amplamente adotado, a partir da proposição de Villwock (1972), para designar “um grupo de elementos geológicos (tectônico, estrutural, sedimentar e morfológico) característico da margem continental brasileira entre os paralelos 28° 40' e 33° 45' de latitude sul”. A Província Costeira

do RS é constituída por dois grandes elementos geológicos: o **embasamento** e a **bacia de Pelotas** (Villwock, 1984) (Fig. 3 e 6).

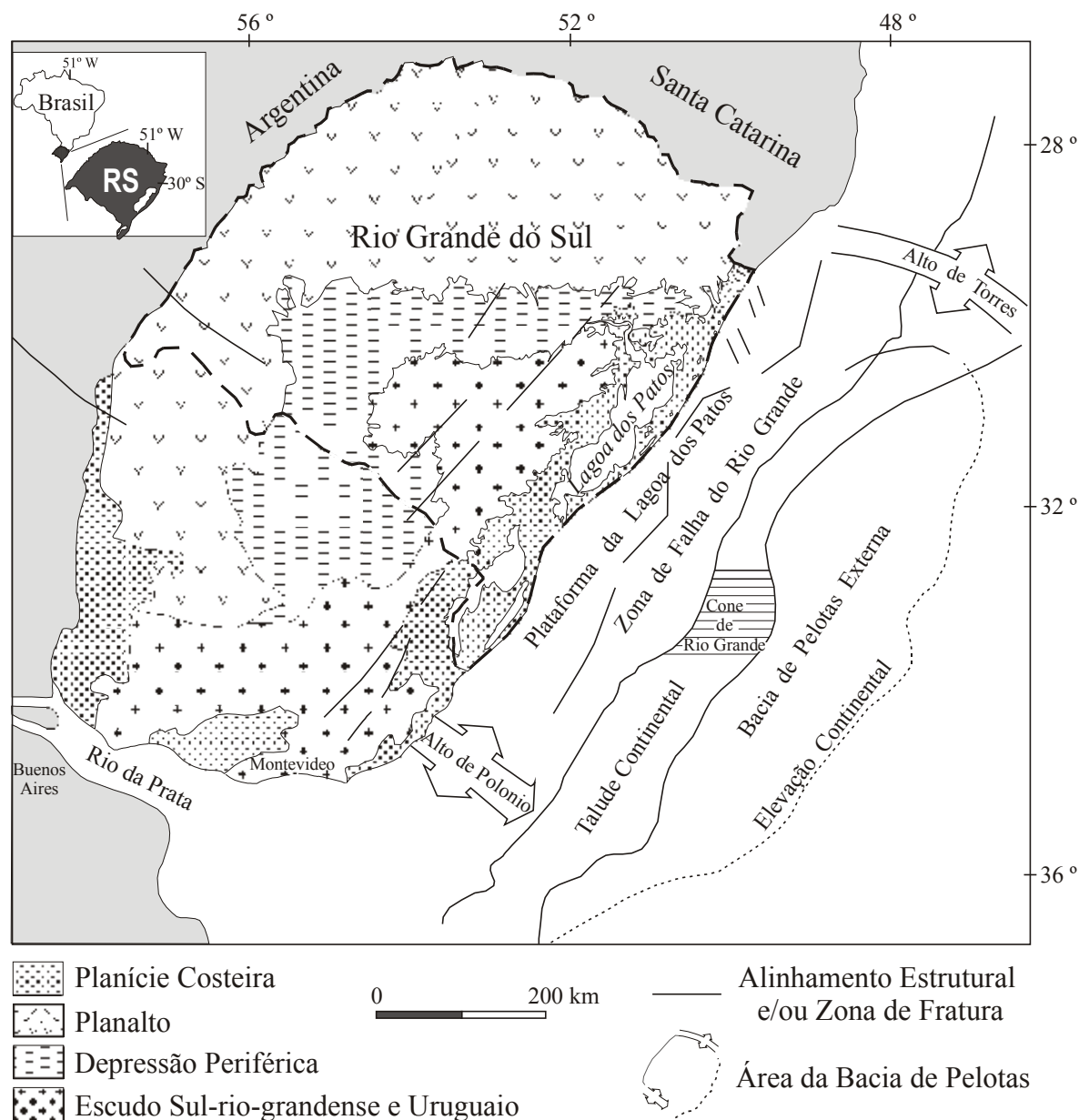


Figura 3. Fisiografia e principais estruturas geológicas do embasamento e da bacia de Pelotas (modificado de Urien e Martins, 1978, *apud* Dillenburg, 1988).

Embasmamento – O embasmamento é constituído por diversas associações petrotectônicas pré-Cambrianas (Escudo Sul-rio-grandense e Uruguaio) e seqüências sedimentares e vulcânicas, de idades Paleozóicas e Mesozóicas, da bacia do Paraná. Sobre as rochas do embasamento está ancorada a espessa pilha sedimentar da bacia de Pelotas.

Bacia de Pelotas – A bacia de Pelotas é a mais meridional das bacias marginais que compõem a margem continental brasileira. O alto de Florianópolis delimita a bacia ao

norte e, ao sul, o alto de Polônio, já dentro dos limites territoriais do Uruguai. As áreas de topografia mais elevada do embasamento marcam o limite ocidental da bacia. Para leste o seu limite se prolonga em direção à Elevação Continental.

Apoiada sobre um embasamento pré-Cambriano e seqüências sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná, a bacia de Pelotas teve sua origem relacionada com os movimentos geotectônicos responsáveis pela abertura e estruturação do oceano Atlântico Sul a partir do Cretáceo, lembrando as outras bacias marginais brasileiras.

Com a estruturação tectônica do Atlântico Sul e os sucessivos basculamentos em direção ao mar, acumulou-se, durante o Cenozóico, uma espessa seqüência de sedimentos continentais, transicionais e marinhos (Fig. 4). A análise de dados sísmicos e de perfurações revela que a bacia apresenta depocentros com até 12 km de espessura (Fontana, 1996).

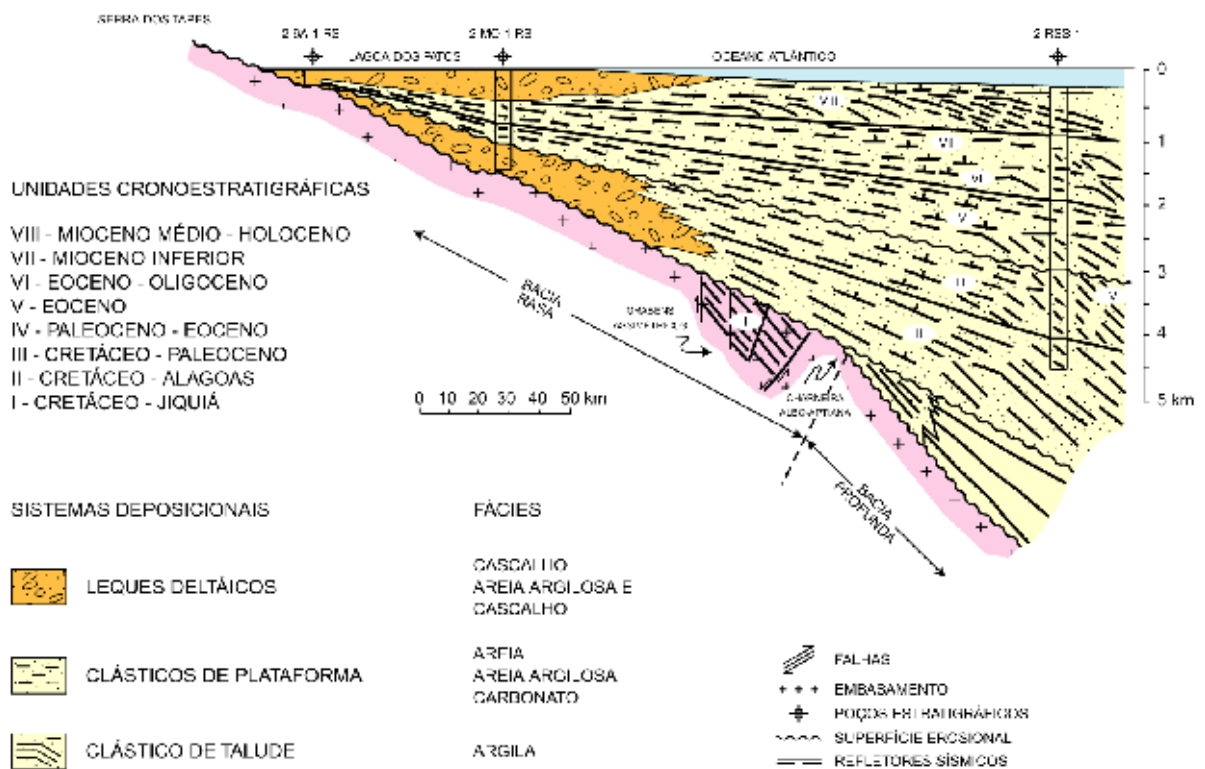


Figura 4. Seção geológica esquemática da Bacia de Pelotas (segundo Villwock, 1984).

Os sedimentos clásticos terrígenos depositados na bacia de Pelotas, têm como área fonte principal as rochas ígneo-metamórficas do Escudo Sul-rio-grandense e Uruguai e as rochas vulcano-sedimentares da bacia do Paraná, situadas a oeste da bacia marginal. A erosão dos terrenos elevados situados à oeste gerou fácies sedimentares predominantemente clásticas terrígenas que se acumularam, durante o Cenozóico, ao longo da Província Costeira do RS,

como produtos dos processos desenvolvidos em diversos ambientes de sedimentação ali instalados (Villwock *et al.*, 1994).

Em consequência da estruturação geológica da região, dois compartimentos geomorfológicos são reconhecidos para a Província Costeira do RS: o compartimento das **terras altas** e o das **terras baixas** (Villwock e Tomazelli, 1995) (Fig. 5).

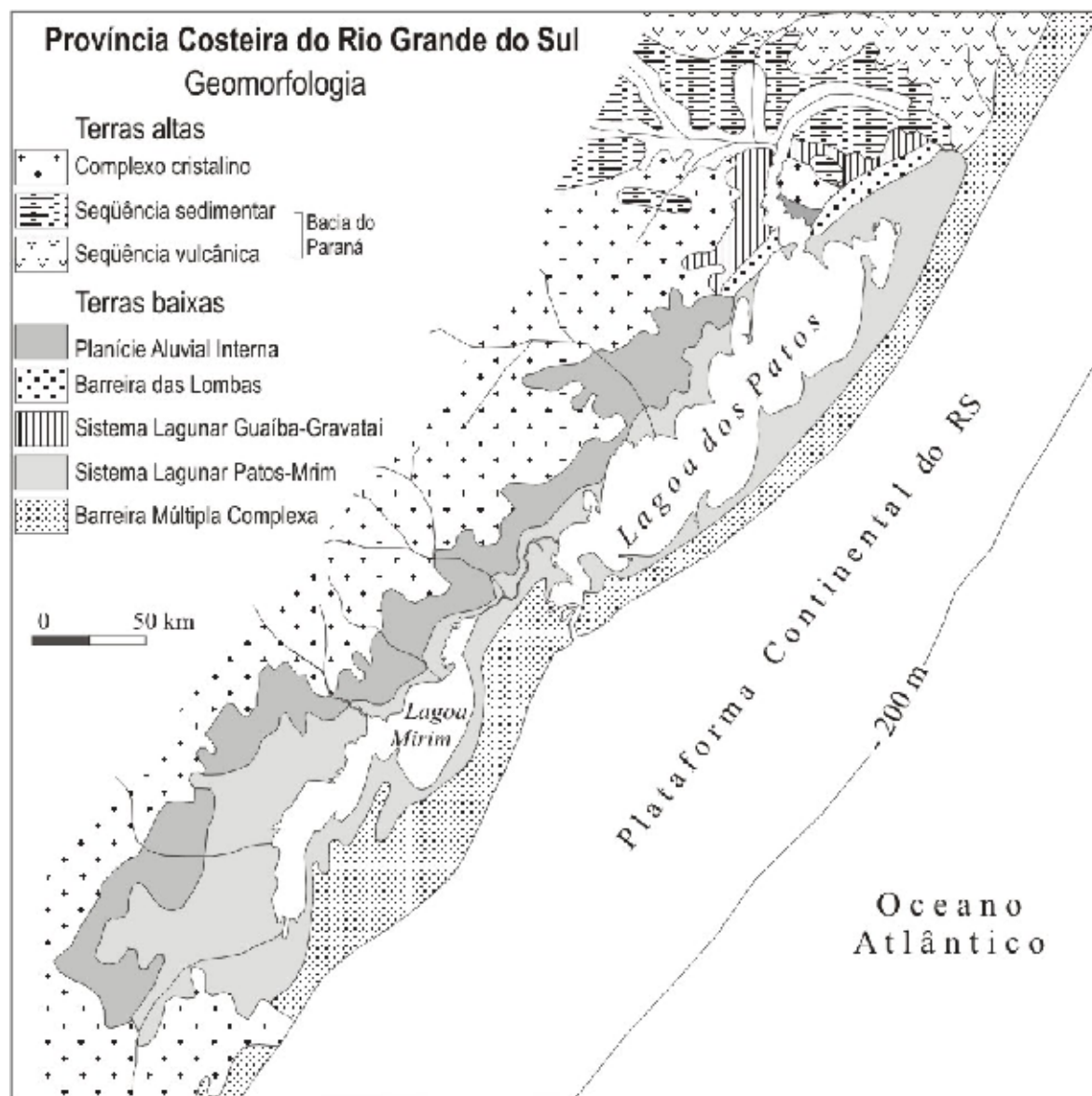


Figura 5. Compartimentação geomorfológica da Província Costeira do Rio Grande do Sul (modificada de Villwock, 1984).

O compartimento das **terras altas** agrupa o Planalto Sul-rio-grandense, a Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias, enquanto o das **terras baixas** fazem parte a planície costeira e plataforma continental adjacente. Sedimentos clásticos terrígenos provenientes da dissecação das terras altas chegam às terras baixas onde, sob a ação dos

processos dinâmicos costeiros, acumulam-se nos diversos tipos de ambientes deposicionais transicionais e marinhos ali existentes.

Planície costeira do Rio Grande do Sul - A planície costeira do RS representa a parte superficial da Província Costeira do RS e da bacia marginal de Pelotas. É uma ampla área plana de terras baixas, alongada na direção SO-NE por uma extensão aproximada de 600 km. Apresenta uma largura média de 60-70 km na sua porção centro-sul e de 15-20 km na sua porção norte. Com área superficial aproximada de 33.000 km², é ocupada em sua maior parte por um enorme sistema de lagos costeiros

A praia oceânica atual da planície costeira é extensa e contínua lateralmente, praticamente retilínea (SO-NE) e localizada em uma região costeira aberta e dominada pela ação das ondas. As feições morfológicas do setor praiial se caracterizam pela relativa homogeneidade e continuidade lateral, em contraste com a marcante modificação antrópica causada ao campo de dunas frontais e planície arenosa adjacente.

Em Torres, no extremo norte do Estado, afloram rochas da seqüência vulcânica e sedimentar da Bacia do Paraná. As falésias ali formadas são marcantes e é um aspecto morfológico destacável na região costeira do estado do RS.

Como resultado do cenário morfogenético a que foi exposta a Província Costeira do RS, Villwock e Tomazelli (1995) apontam que a planície costeira do RS apresenta uma compartimentação geomorfológica que compreende a Planície Aluvial Interna, a Barreira das Lombas, o Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, a Barreira Múltipla Complexa e o Sistema Lagunar Patos-Mirim (Fig. 5).

No Sistema Lagunar Patos-Mirim, a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mirim são os dois principais corpos d'água. Ambos são interligados pelo canal de São Gonçalo, localizado imediatamente ao sul da cidade de Pelotas.

O corpo lagunar da **Lagoa dos Patos** é um dos aspectos mais marcantes na fisiografia do Estado. A lagoa é a bacia de captação da rede de drenagem da Bacia do Sudeste do RS e de Nordeste da República do Uruguai. A extensão superficial total da bacia de captação alcança 180.000 km², cujas águas captadas desembocam diretamente no Oceano Atlântico através do Canal de Rio Grande, localizado no extremo sul da lagoa.

Um estudo detalhado sobre a sedimentação, padrão de ondas e dinâmica sedimentar da Lagoa dos Patos foi apresentado por Toldo (1994). É um corpo d'água costeiro bastante extenso (em torno de 10.000 km²), raso (profundidade média de 6 m), muito pouco influenciado pela maré astronômica (< 45 cm) e abrigado do ambiente dominado por ondas do

oceano adjacente. Uma característica marcante são os esporões arenosos fixados às margens e que se projetam vários quilômetros para o interior da Lagoa dos Patos.

Tendo como base elementos morfológicos e sedimentológicos, Toldo (1994) e Toldo *et al.* (2000) dividem a Lagoa dos Patos em dois setores distintos: o primeiro setor é a margem arenosa da laguna e o segundo é a parte plana e lamosa do seu interior. Profundidades entre 5 e 6 metros separam os dois setores, com o primeiro deles ocupando em torno de 40 % em área. Ainda segundo esses autores, tanto o piso lagunar como as margens são vulneráveis a ação das ondas, cujas alturas significativas podem atingir 1,6 m.

4- SISTEMAS DEPOSICIONAIS COSTEIROS

Devido a dificuldade em empregar subdivisões tendo como base elementos lito- e cronoestratigráficos no mapeamento dos pacotes sedimentares da planície costeira do RS, Villwock (1984) e Villwock *et al.* (1984; 1986) agrupam as unidades da planície costeira em sistemas deposicionais costeiros, diferenciados pelas fácies e associação de fácies sedimentares constituintes (Fig. 6).

A nova sistemática de mapeamento em termos de sistemas deposicionais, a partir dos anos 80, levou praticamente ao abandono da coluna estratigráfica apresentada por Delaney (1965) em seu trabalho intitulado “Fisiografia e Geologia da Superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul”.

Usando o conceito abrangente de “sistema deposicional” (*sensu* Fisher e McGowen, 1967), Villwock e Tomazelli (1995) entendem que as fácies sedimentares da região costeira do RS podem ser agrupadas basicamente dentro do **(a) Sistema de Leques Aluviais** ou do **(b) Sistema do tipo Laguna-Barreira**.

(a) Sistema deposicional de leques aluviais

O Sistema de Leques Aluviais (tipo *fan delta*) marca a passagem entre as terras altas do embasamento da bacia de Pelotas e os 4 sistemas deposicionais tipo laguna-barreira da planície costeira do RS. Na parte proximal são depósitos resultantes de processos predominantemente gravitacionais, gradando para depósitos aluvionares nas porções mais distais dos leques (Tomazelli e Villwock, 2000).

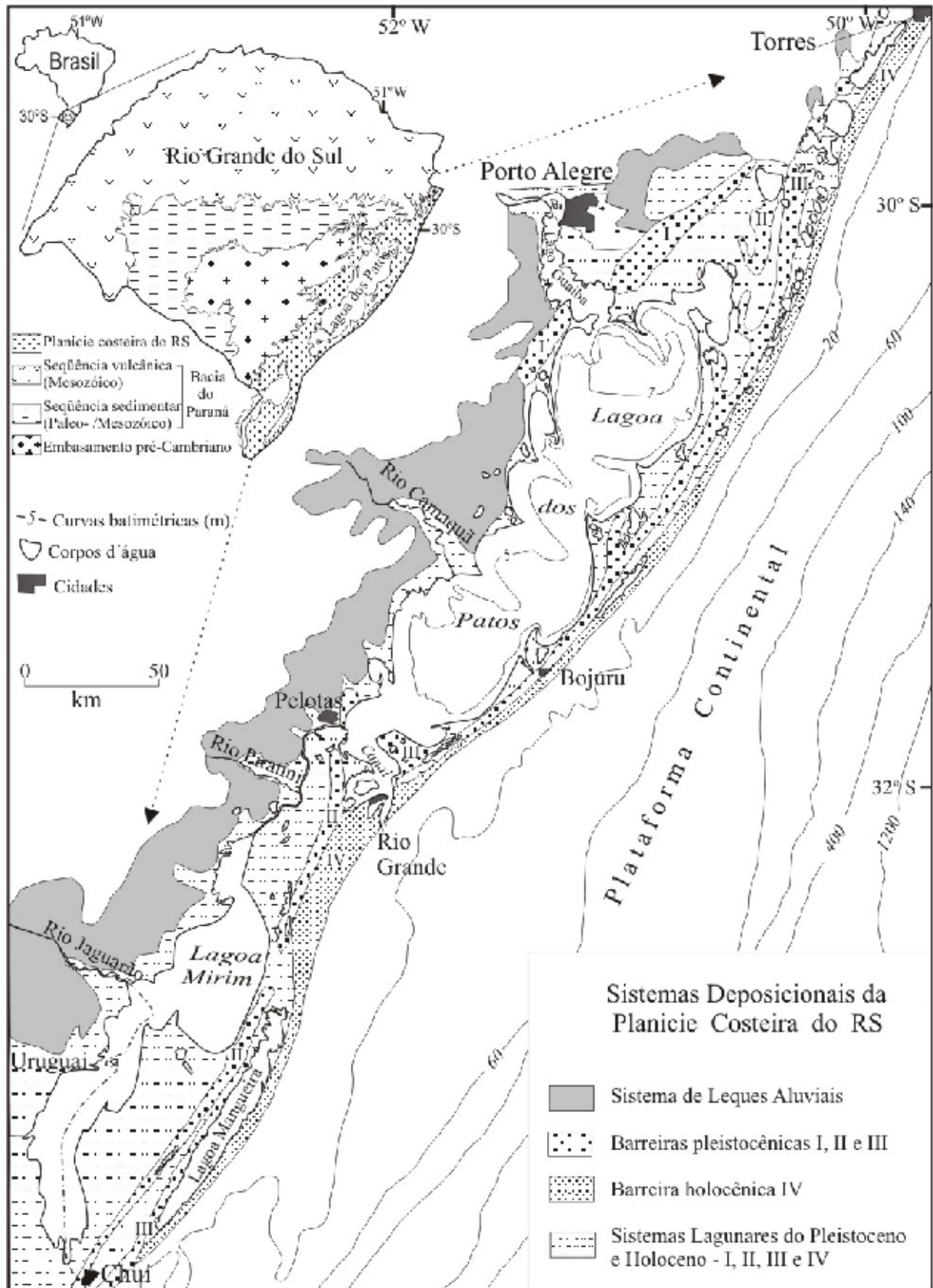


Figura 6. Mapa geológico do Rio Grande do Sul (Villwock, 1984) e mapa geológico simplificado dos sistemas deposicionais reconhecidos na planície costeira do RS (Tomazelli e Villwock, 2000).

Baseado em características composicionais, texturais e estruturais, as quais dependem da natureza da área-fonte, Tomazelli e Villwock (2000) subdividem o sistema de leques aluviais em: (1) **leques alimentados pelo escudo pré-cambriano**; (2) **leques alimentados pelo planalto**. Segundo esses autores, os leques alimentados pelo escudo é o mais importante dos subsistemas, ocorrendo ao longo de toda a margem oeste da planície costeira situada ao sul de Porto Alegre, formados a partir da erosão sobre as rochas ígneas e metamórficas do Escudo Sul-rio-grandense. O segundo subsistema ocorre associado às encostas do Planalto da Serra Geral, na porção norte da planície costeira, tendo como área fonte as rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná.

(b) Sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira”

Quatro sistemas deposicionais denominados do tipo “**laguna-barreira**” vêm sendo amplamente adotados nos estudos geológicos na planície costeira do RS.

O reconhecimento dos sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira” na planície costeira do RS implica, segundo Villwock e Tomazelli (1995), na existência contemporânea e interligada de 3 subsistemas deposicionais geneticamente relacionados, a saber: (1) lagunar; (2) de barreira; (3) canal de ligação.

Levando essa premissa em consideração, foram reconhecidos 4 sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira” na planície costeira do RS, vinculados aos eventos transgressivo-regressivos dos últimos 400 ka (Villwock e Tomazelli, 1995; Tomazelli e Villwock, 2000). De acordo com Villwock e Tomazelli (1995) uma correlação entre os períodos de mar alto, a formação dos quatro sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira” e os principais picos da curvas isotópica de oxigênio pode ser estabelecida.

A seguir serão ressaltados alguns dos aspectos principais dos sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira” reconhecidos na planície costeira do RS. Para uma descrição detalhada desses quatro sistemas deposicionais, incluindo os aspectos morfogenéticos, o leitor pode recorrer, sobretudo, aos trabalhos de Villwock *et al.* (1986; 1994), Villwock e Tomazelli (1995) e Tomazelli e Villwock (2000).

Sistema Laguna-Barreira I – É o sistema deposicional do tipo “laguna-barreira” mais antigo mapeado na planície costeira do RS, resultante de um primeiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico. De acordo com Tomazelli e Villwock (2000) este sistema corresponderia ao estágio 11 da curva isotópica do oxigênio, com idade absoluta em torno de 400 ka (Fig. 7).

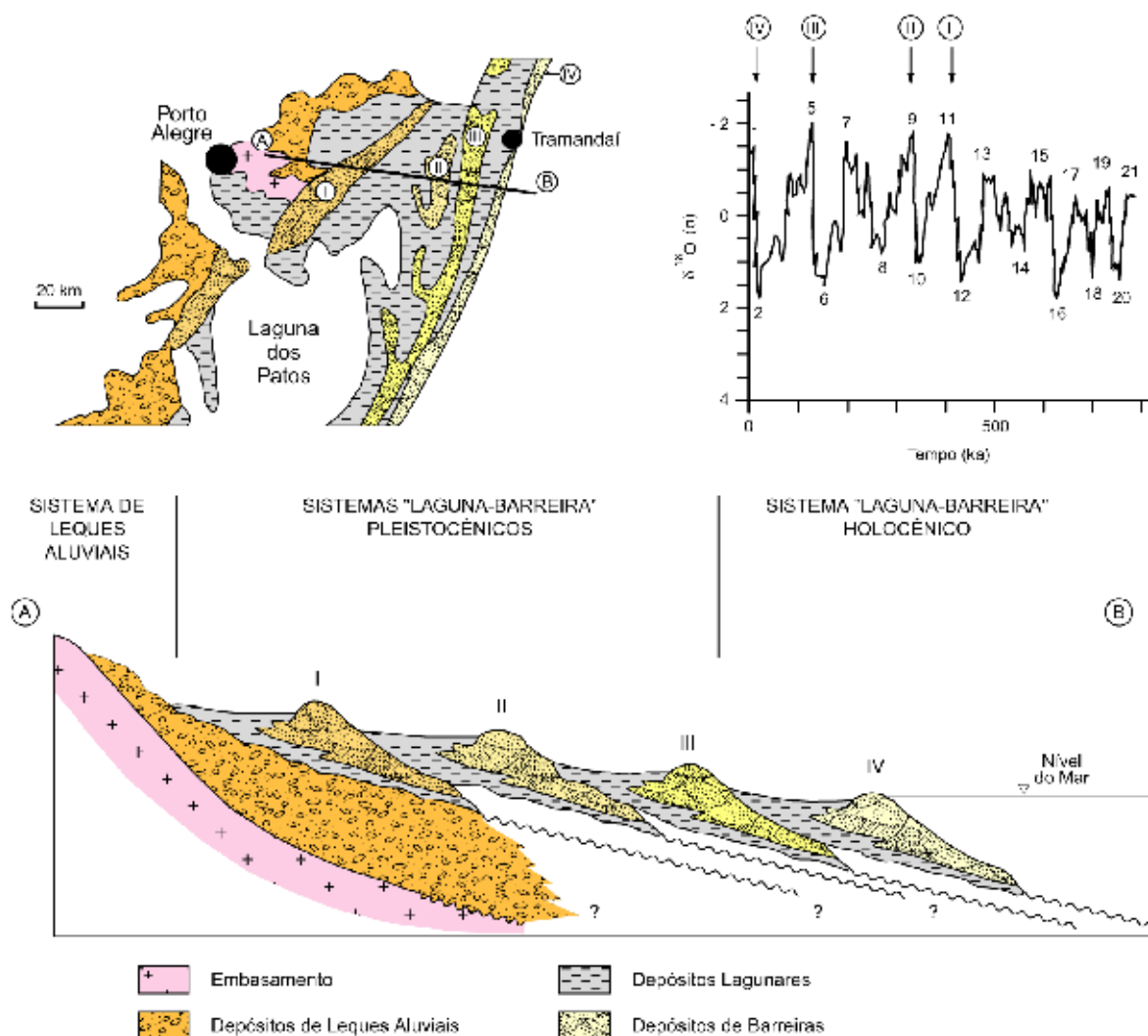


Figura 7. Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira” na latitude de Porto Alegre. As barreiras são correlacionadas aos picos da curva isotópica do oxigênio de Imbrie *et al.* (1984) (modificada de Tomazelli e Villwock, 2000).

A preservação da Barreira I limita-se à porção noroeste da planície costeira, onde sua expressão morfológica é também conhecida como “Barreira das Lombas”. Ali, a Barreira I ocupa uma faixa de orientação NE-SO com extensão aproximada de 250 km e largura média entre 5 e 10 km. As fácies sedimentares da Barreira I são constituídas por areias quartzofeldspáticas avermelhadas finas a médias, muito bem arredondadas, semiconsolidadas e apresentando normalmente um elevado conteúdo em matriz siltico-argilosa. Ainda segundo Tomazelli e Villwock (2000), essa barreira formou-se por acumulação de areias eólicas ancoradas preferencialmente sobre altos do embasamento.

O Sistema Lagunar I se instalou nas terras baixas situadas entre os ressaltos topográficos da Barreira I e dos terrenos mais antigos formados principalmente pela seqüência sedimentar da Bacia do Paraná e pelos altos do embasamento pré-Cambriano da região de

Porto Alegre, Viamão e Guaíba (Tomazelli e Villwock, 2000). Nesta região rebaixada acumularam-se depósitos aluviais, lagunares, lacustres e paludais. Ainda segundo esses autores, a região ocupada pelo Sistema Lagunar I sofreu influência dos eventos transgressivo-regressivos ocorridos durante o Quaternário, ocasionando afogamento e retrabalhamento dos depósitos sedimentares por ocasião de períodos de ingressão marinha.

Sistema Laguna-Barreira II – Formado durante um segundo evento transgressivo-regressivo pleistocênico, cujo pico transgressivo Tomazelli e Villwock (2000) correlacionam ao estágio 9 da curva isotópica do oxigênio correspondendo, portanto, a uma idade absoluta de ~325 ka (Fig. 7). Este sistema deposicional corresponderia ao primeiro estágio na evolução do Complexo de Barreiras Múltiplas (Villwock, 1984), cuja evolução e individualização levou ao isolamento de uma extensa planície hoje ocupada pelo extenso Sistema Lagunar Patos-Mirim (Tomazelli e Villwock, 2000).

De acordo com Tomazelli e Villwock (2000), as fácies praias e eólicas da Barreira II correspondem a areias quartzo-feldspáticas, castanho-amareladas, bem arredondadas, envoltas em matriz argilosa. Os sedimentos acumulados no Sistema Lagunar II são compostos principalmente por areias finas, siltico-argilosas, pobremente selecionadas e de coloração creme, muito semelhantes aos sedimentos depositados no Sistema Lagunar III.

Sistema Laguna-Barreira III – A Barreira III é uma feição morfológica muito bem preservada, estendendo-se praticamente ao longo de toda a planície costeira do RS.

Esse sistema marca um terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico, cujo desenvolvimento, segundo Tomazelli e Villwock (2000), foi responsável pela implantação final do Sistema Lagunar Patos-Mirim. Datações por termoluminescência atribuem uma idade de 120 ka para as areias da Barreira III (Poupeau *et al.*, 1984) correlacionáveis, segundo Tomazelli e Villwock (2000), com o evento de mar alto correspondente ao pico isotópico 5 da curva isotópica do oxigênio (Fig. 7).

A Barreira III é constituída por fácies arenosas de origem praias e marinho raso, recobertas por sedimentos de origem eólica, em uma sucessão vertical indicativa de nível de mar regressivo. As fácies de praia são compostas por areias quartzosas claras, finas, bem selecionadas, apresentando estratificações bem desenvolvidas que são truncadas eventualmente por tubos de ophiomorpha (*Callichirus sp.*). Os sedimentos eólicos apresentam uma coloração mais avermelhada e aspecto maciço, por vezes bioturbados por raízes e intercalados com níveis centimétricos de paleossolos (Tomazelli e Villwock, 2000).

Na região de retrobarreira instalou-se o Sistema Lagunar III, em sua maior parte ocupado por enormes lagos precursores do atual Sistema Lagunar Patos-Mirim. Os sedimentos ali acumulados assemelham-se aos descritos para o Sistema Lagunar II.

Sistema Laguna-Barreira IV – A praia oceânica atual do RS faz parte do Sistema Depositional Laguna-Barreira IV, que configura o sistema deposicional do tipo “laguna-barreira” mais recente da Província Costeira do Rio Grande do Sul, desenvolvido no Holoceno em consequência do último evento transgressivo (estágio isotópico de oxigênio 1) (Fig. 7) (Villwock *et al.*, 1986; Villwock e Tomazelli, 1994; Tomazelli e Villwock, 2000).

No máximo do último evento transgressivo pós-glacial, em torno de 5 ka AP, o nível do mar atingiu em torno de 4 a 5 m acima do nível atual, na costa do RS (Villwock e Tomazelli, 1995). Este evento possibilitou a formação da Barreira IV, transgressiva, que progradou durante a fase regressiva posterior. Um extenso e contínuo terraço de abrasão formou-se no flanco leste da Barreira III, marcando o último máximo transgressivo na região (Tomazelli e Villwock, 2000).

A barreira holocênica é uma área onde são importantes a ação marinha e eólica. A região mais próxima da costa apresenta um campo de dunas bem desenvolvido e extenso, ausente nos locais urbanizados. Os campos de dunas ativas intercalam-se com campos de dunas semi-estabilizadas pela vegetação.

Em função do vento dominante proveniente de NE, as dunas livres migram preferencialmente para SO, transgredindo terrenos mais antigos e colmatando os corpos lacustres adjacentes (Tomazelli, 1990; 1994).

Em períodos de maior pluviosidade, principalmente nos meses de inverno, é comum a presença de “sangradouros” que cortam o campo de dunas frontais e deságuam diretamente no oceano, formando canais temporários nas dunas frontais e no pós-praia. Ressacas de inverno podem, da mesma forma, abrir canais de ligação entre a praia e a planície arenosa adjacente.

As areias da região praial e do campo de dunas frontais da Barreira IV são, em geral, quartzosas e de granulação fina a muito fina (Martins, 1967; Martins *et al.*, 1972; Alvarez *et al.*, 1983; Villwock, 1984). Concentrações de areias e cascalhos biodetríticos ocorrem ao sul do Farol do Albardão, na praia do Cassino, no sul do Estado (Ayup-Zouain, 1991; Calliari e Klein, 1993). Concentrações locais de minerais pesados foram relatadas nos trabalhos de Villwock *et al.* (1979) e Munaro (1994).

O Sistema Lagunar IV ocupa o espaço de retrobarreira, entre a barreira holocênica

e a Barreira III, pleistocênica. Caracteriza-se como uma área plana, homogênea, fracamente dissecada e ocupada por vários lagos costeiros interligados por canais meandranantes.

O espaço retrobarreira foi ocupado por grandes corpos lagunares durante a fase de mar alto, vinculada ao evento transgressivo holocênico. A ingressão marinha estendeu-se pelas regiões mais rebaixadas da planície costeira do Estado, estabelecendo um sistema lagunar ainda mais abrangente do que o atual.

Estudos sobre as características morfológicas e a variabilidade morfodinâmica e sedimentológica nas praias do litoral norte do RS, também setor norte desse sistema deposicional, foram conduzidos por Weschenfelder (1996), Weschenfelder *et al.* (1997) e Weschenfelder e Ayup-Zouain (2002). Esses trabalhos apresentam os dados levantados para 33 diferentes meses de observações abrangendo, então, as possíveis variações sazonais atuantes no sistema dinâmico costeiro do litoral norte do RS.

5- EVOLUÇÃO PALEOGEOGRÁFICA DA REGIÃO COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL

Um esquema de evolução paleogeográfica para a Província Costeira do Rio Grande do Sul, do Plioceno ao recente, é apresentado por Villwock e Tomazelli (1995). Os cenários paleogeográficos apresentados no trabalho desses autores teve como base os dados obtidos durante mapeamento geológico sistemático, realizado pelos pesquisadores do CECO/UFRGS na planície costeira do RS, apresentados a seguir.

Em termos gerais o modelo evolutivo elaborado e apresentado por esses autores concebe um pacote de sedimentos clásticos terrígenos que se acumulou, a partir do final do Terciário, em um sistema de leques aluviais coalescentes desenvolvido ao longo da margem leste dos terrenos topograficamente mais elevados (as Terras Altas da figura 5). As porções mais distais desse sistema de leques aluviais foram retrabalhados por ciclos transgressivos e regressivos do nível do mar, correlacionáveis aos quatro últimos eventos glaciais do final do Cenozóico. A porção superior desses depósitos de leques aflora na porção interna da planície costeira do RS.

O cenário evolutivo do Plioceno ao Pleistoceno Superior, apresentado no trabalho de Villwock e Tomazelli (1995) para a planície costeira do RS, é de uma grande planície costeira construída por um sistema de leques deltáicos coalescentes alimentados por fluxos

torrenciais provenientes dos terrenos mais elevados situados a oeste, sob condições de clima semi-árido (Fig. 8).

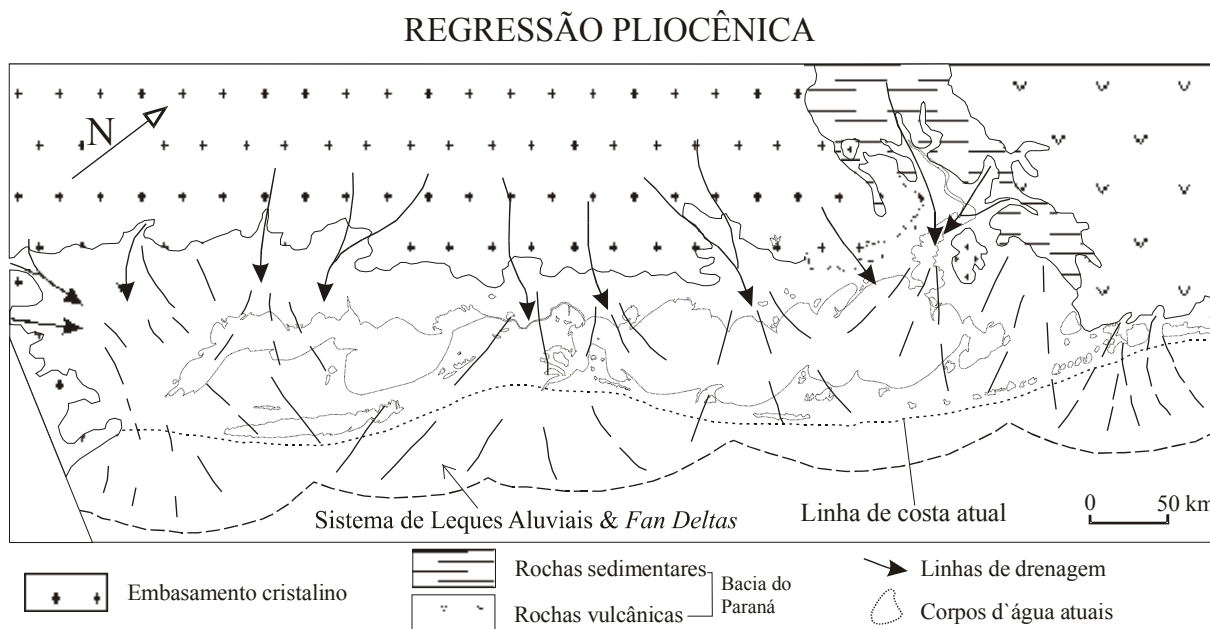


Figura 8. Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo regressivo do Plioceno/Pleistoceno inferior (modificado de Villwock e Tomazelli, 1995).

Esse período marcaria o apogeu do desenvolvimento do sistema de leques aluviais, impulsionado pelo rebaixamento do nível de base durante um evento regressivo forçado. A porção superior dos leques aluviais assenta sobre camadas marinhas do Mioceno da bacia de Pelotas.

O primeiro ciclo transgressivo-regressivo registrado na planície costeira do RS retrabalhou a porção distal do sistema de leques ali depositados e deu origem a um sistema de lagunas e ilhas-barreira (Sistema Laguna-Barreira I; figura 9). Os depósitos remanescentes de uma antiga linha de costa pleistocênica estão preservados no noroeste da planície costeira, correlacionáveis ao estágio 11 da curva isotópica do oxigênio, com idade absoluta ~ 400 ka (Fig. 7). Teve início então a evolução da Barreira das Lombas e o Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí.

O segundo ciclo transgressivo-regressivo foi responsável pelo início da construção da Barreira Múltipla Complexa e do Sistema Lagunar Patos-Mirim (Sistema Laguna-Barreira II; figura 10). A evolução do Complexo de Barreiras Múltiplas levou a individualização e ao isolamento final de uma extensa planície hoje ocupada pelos enormes corpos d'água costeiros da Lagoa dos Patos e da Lagoa Mirim.

TRANSGRESSÃO PLEISTOCÊNICA I - (MÁXIMO TRANSGRESSIVO)
Sistema Laguna-Barreira I / Estágio isotópico de oxigênio 11: ~ 400 ka

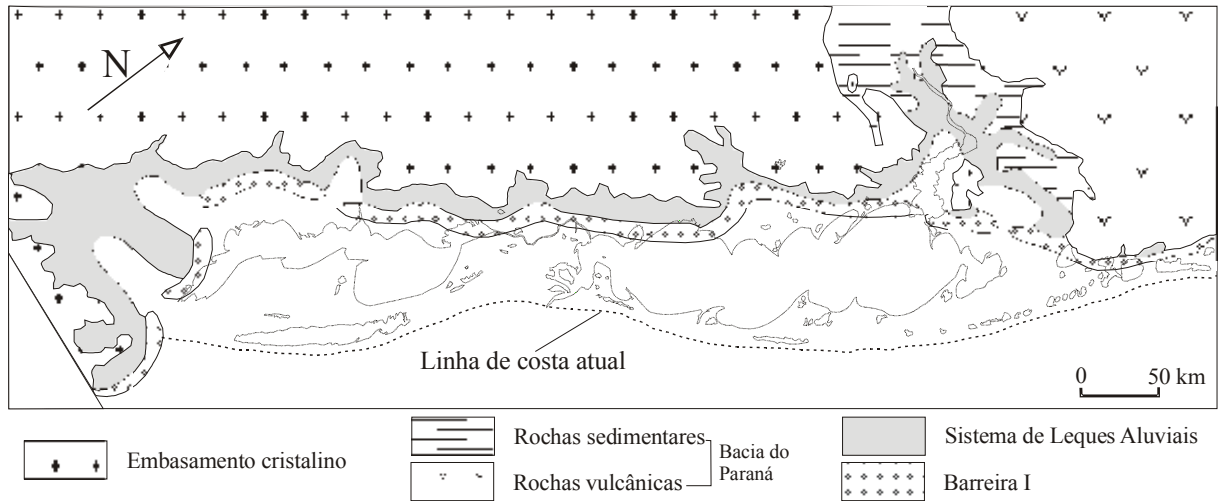


Figura 9. Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo transgressivo pleistocênico (~ 400 ka) responsável pela formação do sistema Laguna-Barreira I (modificado de Villwock e Tomazelli, 1995).

TRANSGRESSÃO PLEISTOCÊNICA II - (MÁXIMO TRANSGRESSIVO)
Sistema Laguna-Barreira II / Estágio isotópico de oxigênio 9: ~ 325 ka

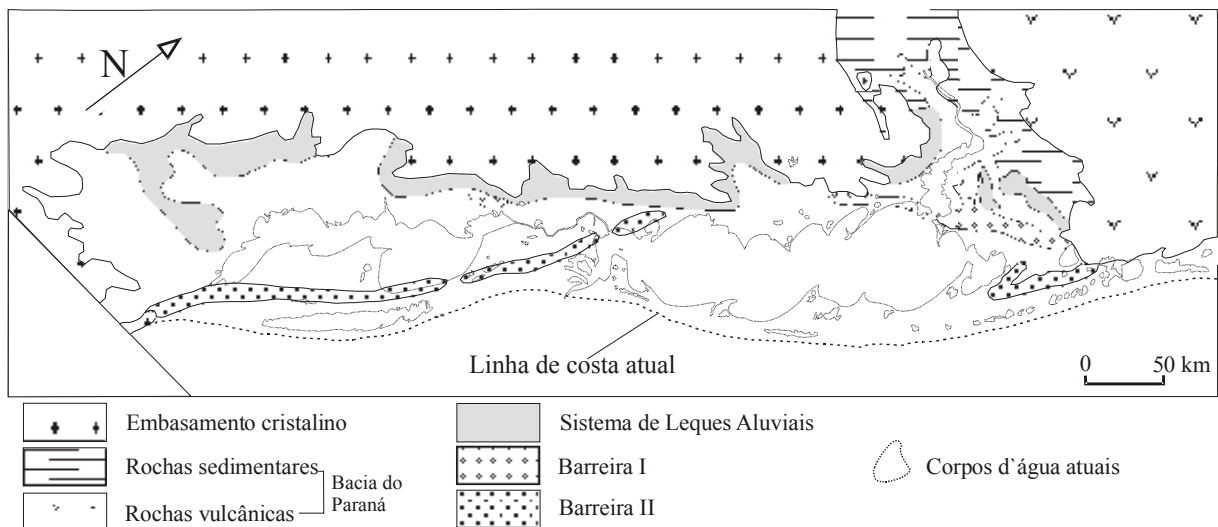


Figura 10. Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo transgressivo pleistocênico (~ 325 ka) responsável pela formação do sistema Laguna-Barreira II (modificado de Villwock e Tomazelli, 1995).

Na parte sul da planície costeira do RS formou-se um sistema de ilhas-barreira separadas por canais de ligação entre a laguna e a plataforma continental adjacente (*inlets*); na parte norte a barreira formou-se como um pontal arenoso recurvado, ancorado na base da encosta do planalto da Serra Geral constituído pelas rochas sedimentares e vulcânicas da bacia do Paraná.

O máximo transgressivo é marcado por uma escarpa erosiva nos leques aluviais da Planície Aluvial Interna e pela formação de alguns pontais arenosos, cujos depósitos marcam uma segunda linha de costa pleistocênica correlacionável ao estágio 9 da curva isotópica do oxigênio, correspondendo idade absoluta de ~325 ka (Fig. 7).

O terceiro ciclo transgressivo-regressivo é responsável pela instalação de mais um sistema de lagunas e ilhas-barreira (Sistema Laguna-Barreira III; figura 11). A progradação da Barreira Múltipla Complexa completa o fechamento da Lagoa dos Patos, preservando o canal de ligação (*inlet*) na parte sul do corpo lagunar.

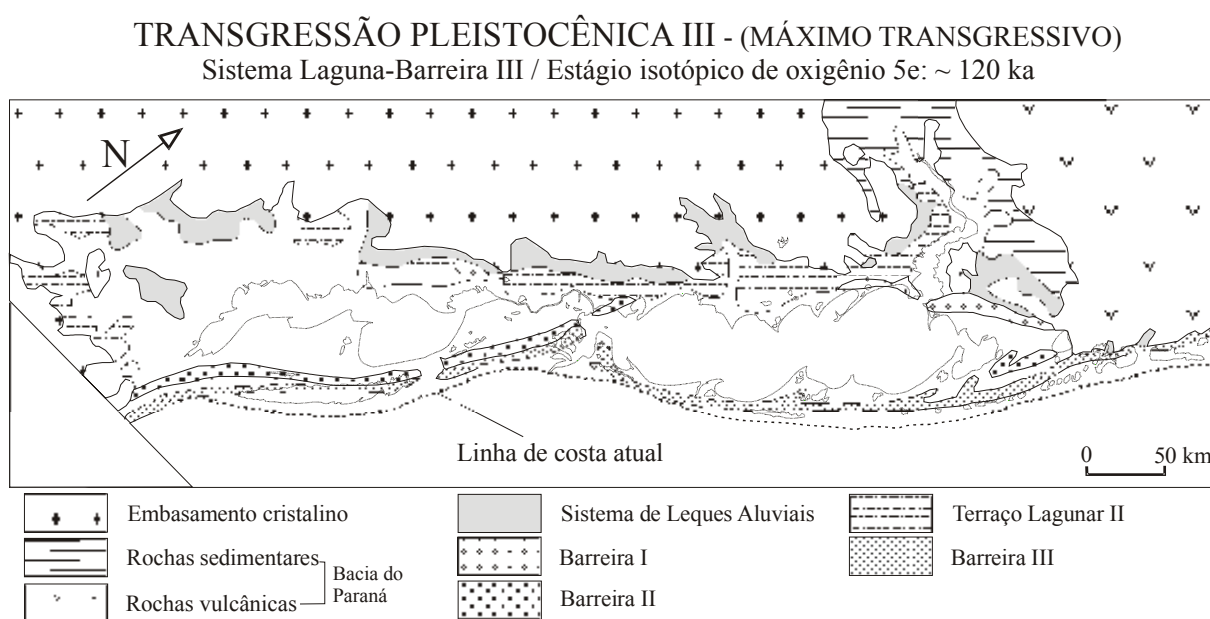


Figura 11. Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo transgressivo do pleistocênico (~ 120 ka) responsável pela formação do sistema Laguna-Barreira III (modificado de Villwock e Tomazelli, 1995).

A barreira deste terceiro ciclo registra uma terceira linha de costa pleistocênica. É uma feição morfológica ainda muito bem preservada ao longo de praticamente toda a planície costeira. Esta terceira linha de costa é também marcada por uma escarpa de erosão em depósitos do Sistema Lagunar Patos-Mirim, cristas de praia e pontais arenosos.

A idade de 120 ka atribuída por termoluminescência para as areias da Barreira III permite uma correspondência ao pico 5 da curva isotópica do oxigênio (Fig. 7). Este episódio pode ser correlacionado com o evento transgressivo Sangamon, na América do Norte, ou ao Eemian, nos países escandinavos (Suguio, 1999).

O rebaixamento do nível do mar que se seguiu atingiu o seu máximo em torno de 17 ka AP. Esta fase regressiva propiciou a instalação de uma ampla planície costeira, dissecada

por uma rede de drenagem que se prolongava até a linha de costa situada em torno de 120 m abaixo do nível do mar atual (Fig. 12).

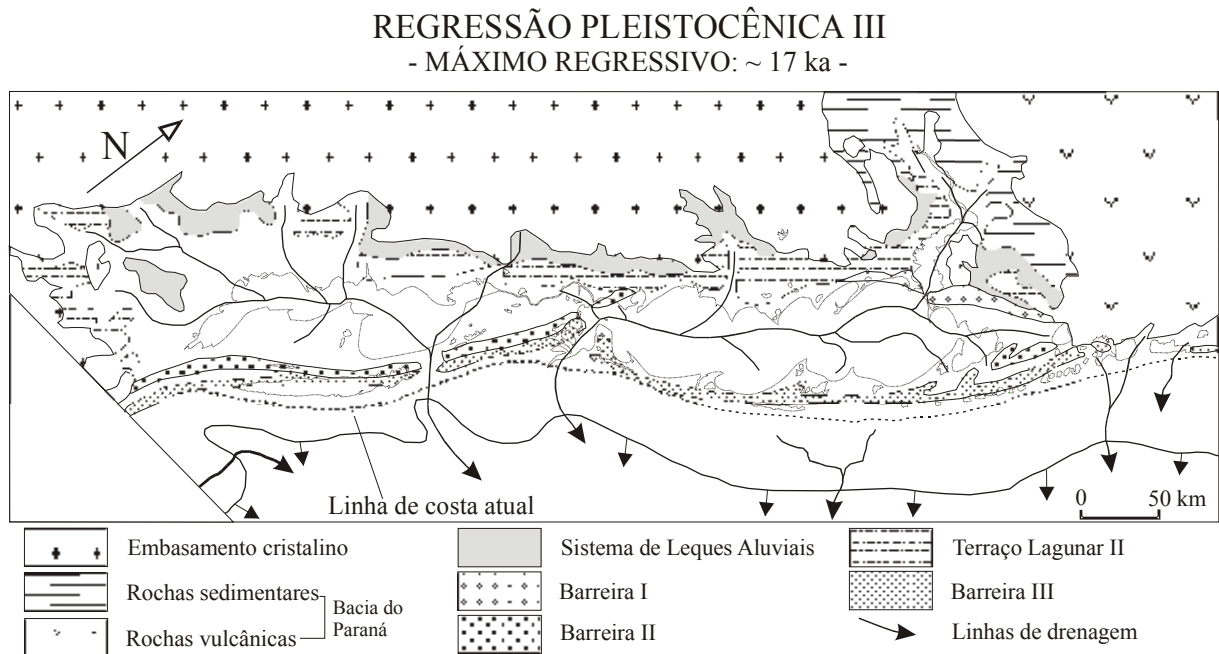


Figura 12. Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo regressivo do final do Pleistoceno (~ 17 ka) (modificado de Villwock e Tomazelli, 1995).

O máximo regressivo desta fase pode ser correlacionado ao pico 2 da curva isotópica do oxigênio, desenvolvido durante o último período glacial (Fig. 7).

Um último evento transgressivo pós-glacial teve início no final do Pleistoceno. O nível do mar subiu rapidamente e avançou sobre a ampla planície costeira formada na fase regressiva anterior, possibilitando a formação de um novo sistema de barreira, transgressiva, que evoluiu para progradante durante a fase posterior regressiva (Sistema Laguna-Barreira IV; figura 13).

No máximo desse último evento transgressivo, há cerca de 5 ka, o nível do mar atingiu em torno de 4 a 5 m acima do atual. Um extenso e contínuo terraço de abrasão formou-se nos depósitos das barreiras arenosas e nos terraços lagunares pleistocênicos, marcando a posição atingida pela linha de costa no último máximo transgressivo registrado para a planície costeira do RS.

O máximo transgressivo do Holoceno pode ser correlacionado ao pico 1 da curva isotópica do oxigênio (Fig. 7). É o episódio conhecido internacionalmente como Transgressão Flandriana ou Pós-glacial.

TRANSGRESSÃO HOLOCÊNICA - (MÁXIMO TRANSGRESSIVO: ~ 5 ka)
Sistema Laguna- Barreira IV

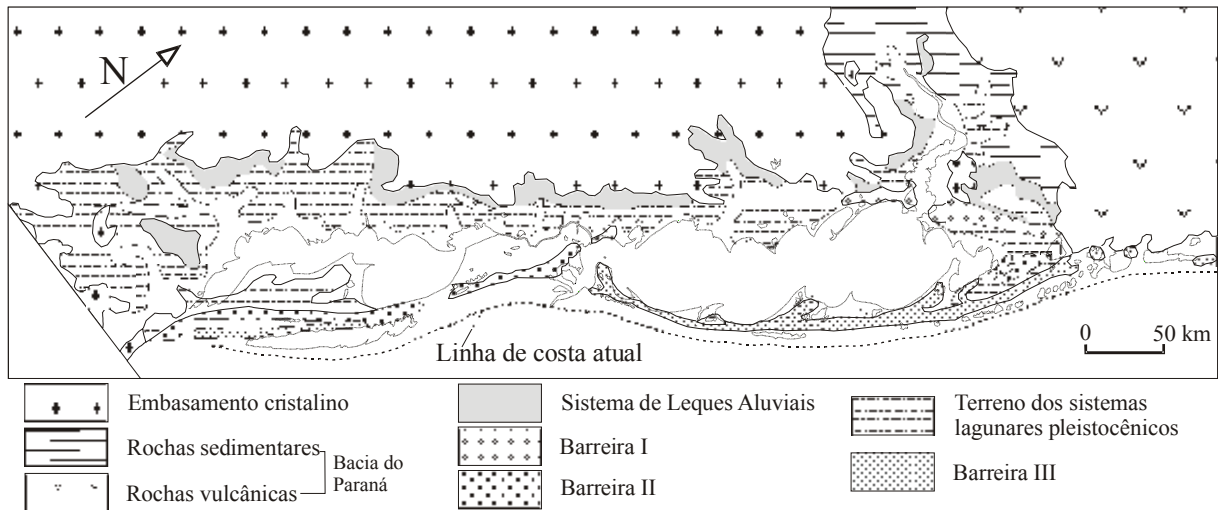


Figura 13. Cenário paleogeográfico da Província Costeira do Rio Grande do Sul durante o máximo transgressivo holocênico (~ 5 ka) responsável pela formação do sistema Laguna-Barreira IV (modificado de Villwock e Tomazelli, 1995).

A fase regressiva que se seguiu ao pico transgressivo holocênico propiciou o alargamento da barreira constituída na última fase de formação dos depósitos da planície costeira. O rebaixamento oscilatório do nível do mar (desde ~5 ka AP) propiciou a formação de uma barreira progradante, desenvolvida em alguns trechos ao longo da linha de costa atual. Os processos sedimentares relacionados ao máximo transgressivo do Holeceno, e subseqüentes, propiciaram a formação da configuração morfológica atual dos sistemas deposicionais costeiros do estado do Rio Grande do Sul (Fig. 6).

6- PLATAFORMA CONTINENTAL DO RIO GRANDE DO SUL

A plataforma continental do estado do Rio Grande do Sul caracteriza-se regionalmente por apresentar uma superfície regular, sem grandes variações topográficas, de gradiente muito suave, com declividade média entre 1,3 e 1,4 m/km e largura média de 125 km. O padrão batimétrico é praticamente paralelo e concordante com a linha de costa atual, não apresentando formas topográficas acrescionais ou erosionais de grande amplitude regional (Zembruski, 1979).

O setor setentrional da plataforma continental do RS caracteriza-se por uma certa homogeneidade morfológica, com isóbatas praticamente paralelas e acompanhando a linha de

costa atual. A plataforma interna apresenta uma largura que oscila entre 44 e 54 km desde a linha de costa até a isóbata 50 m; a profundidade da linha de quebra da plataforma para esta região é em torno da isóbata de 150 m, sendo sua largura média em torno de 80 km (Zembruski, 1979).

O uso de produtos do satélite LANDSAT 5 para a interpretação de feições e morfodinâmica local, por Ayup-Zouain *et al.* (1995), revelou a presença de barras submersas na plataforma interna. Imagens com diferentes tonalidades de azul, desde a linha de costa até as zonas mais profundas, caracterizam a zona de surfe, com a presença de bancos submersos, localizados nas isóbatas de 5, 10, 15 e 20 metros, as quais são definidas por descontinuidades e vórtices. Ainda segundo esse autores, as diferentes tonalidades de cores, que dão a refletividade no corpo d'água, demonstram a alta dinâmica sedimentar, derivada da ação conjunta das ondas e da corrente litorânea.

O comportamento da morfologia e suas variações na distribuição sedimentar para o setor de antepraia na região de Tramandaí foi focado por Gruber (2002).

No setor meridional, até o limite sul do Estado, a plataforma continental é caracterizada por maior irregularidade das linhas batimétricas, que perdem o seu paralelismo e desenham a presença de inúmeras feições, sendo marcante a presença de bancos submersos lineares de direção geral SO-NE (Calliari e Klein, 1993).

A presença dos terraços marinhos têm sido interpretados como registros de períodos de estabilização no nível do mar durante o evento transgressivo holocênico (Kowsmann *et al.*, 1977; Corrêa, 1987).

A cobertura sedimentar da plataforma é predominantemente clástica terrígena, oriunda da dissecação das rochas do Escudo Sul-rio-grandense e Uruguiaio e da bacia do Paraná à oeste. De maneira subordinada ocorrem componentes biotécnicos, especialmente na porção sul da plataforma, com concentrações notáveis em bancos submersos na plataforma interna/média (Corrêa, 1987; 1996a) e na face praial da praia do Cassino, ao sul do Farol de Albardão (Calliari e Klein, 1993), provenientes do retrabalhamento dos primeiros, em função da hidrodinâmica atual. São sedimentos de natureza relíquia ou palimpsética, com a sedimentação moderna restrita e correspondendo a lamas terrígenas depositadas próximo ao canal de desembocadura da Lagoa dos Patos, e lamas provenientes da descarga do rio de La Plata (Martins *et al.*, 1972; 1978; Ayup-Zouain *et al.*, 1994). Fornecimento de areia pela Lagoa dos Patos foi relatado no trabalho de Calliari e Klein (1993).

7- HIDRODINÂMICA DA REGIÃO PRAIAL E PLATAFORMA CONTINENTAL

A configuração morfológica das regiões costeiras é influenciada por uma série de fatores dinâmicos interdependentes, determinantes dos processos erosivo-depositivos na zona de transição entre o ambiente marinho, o continental e a atmosfera.

Em primeiro plano podemos dividir as ondas que atingem a região costeira como aquelas geradas por ventos locais (vagas ou “*sea waves*”), as geradas por ventos distantes, por vezes a centenas de quilômetros da região de dissipação (ondulação, mar de fundo ou “*swell waves*”) e as ondas geradas por tempestades. As correntes de deriva litorânea também são importantes para a região de estudo, condicionantes da deriva litorânea de sedimentos. As correntes oceânicas influem de forma restrita no sistema costeiro do RS. Podemos considerar ainda os processos harmônicos periódicos produzidos pela ação das marés e das correntes derivadas das mesmas.

Correntes oceânicas – A plataforma continental atlântica meridional da América do Sul sofre a influência de duas correntes oceânicas: Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas (Bearman, 1989). Estas correntes atuam na formação da Zona de Convergência Subtropical/Subantártica, a qual é uma vasta área resultante do encontro de Águas Subantárticas que chegam do sul e Águas Subtropicais que vêm do norte. Em superfície, o limite mais setentrional desta zona ocorre no inverno e fica em torno de 30° de Latitude Sul (Boltovskoy, 1981; Martins, 1984).

A Corrente do Brasil transporta águas relativamente quentes e de altas salinidades, sendo considerada o segmento levógiro da Corrente Equatorial Sul, a qual se divide em duas componentes ao encontrar a margem continental Brasileira, a da direita correspondendo a Corrente das Guianas, que segue pela costa da região norte, e a da esquerda correspondendo a Corrente do Brasil que segue direção S-SO (Boltovskoy, 1981).

A Corrente das Malvinas, que transporta Águas Subantárticas, caracteriza-se por apresentar baixas temperaturas e salinidades (Boltovskoy, 1981; Martins, 1984). Com base na distribuição de carapaças de microrganismos (por exemplo: foraminíferos e ostracodes) e invertebrados característicos da Corrente das Malvinas, pode-se inferir a influência da mesma na plataforma continental externa da região sul do Brasil até latitudes em torno de 22° Sul, próximo ao Cabo de São Tomé (Rio de Janeiro) (Boltovskoy, 1959; Madeira-Falcetta, 1977; Boltovskoy, 1981; Forti-Esteves, 1984; Carmo e Sanguinetti, 1995).

Os sistemas de correntes que atuam sobre a plataforma sul-americana oriental podem influir no transporte sedimentar, assim como na modelagem e retrabalhamento das formas de relevo, principalmente nas ondas de areias - “*sandwaves*”, em profundidades maiores do que 40-60 metros. Na Zona de contato entre estas duas correntes forma-se um sistema turbulento e, com o aumento de velocidade de deslocamento, pode proporcionar um maior transporte sedimentar sobre a plataforma. Lateralmente, a mistura e a diminuição de velocidade propiciam a deposição da carga sedimentar fina que é transportada em suspensão e por fluxo turbulento (Ayup-Zouain, 1991).

Alguns trabalhos (Etchichury e Remiro, 1960; Bercowsky, 1978; Ayup-Zouain, 1991) supõem o transporte de sedimentos desde a região patagônica até a Zona de Convergência Subtropical/Subantártica. Urien (1967) descarta a dispersão dos sedimentos oriundos da região patagônica como produzida pela Corrente das Malvinas.

Regime de marés – As marés podem ser importantes agentes na dinâmica costeira, determinando planos oscilatórios (periodicidade das mesmas) nos processos erosivo-deposicionais e influenciando a geomorfologia das regiões costeiras (Hayes, 1975).

As ondas de marés são causadas por fatores astronômicos (atração gravitacional de corpos celestes sobre o corpo d’água) ou meteorológicos (ventos e pressão atmosférica).

Na costa do RS as marés astronômicas são de pequena amplitude e secundárias em relação às variações de amplitude causadas por agentes meteorológicos. A análise da tábua de marés, da Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha do Brasil, revela uma amplitude de maré astronômica inferior a 50 cm (DHN, 1994).

O caráter microtidal (segundo classificação de Davies, 1980) para a região deve-se ao fato da mesma situar-se próximo a um ponto anfidrômico do oceano Atlântico Sul, associado ao fato da configuração retilínea e regular da linha da costa e também a largura da plataforma continental adjacente.

O efeito da maré astronômica é de pouca significância sobre a dinâmica sedimentar da região costeira e na plataforma interna adjacente. Devemos considerar, entretanto, a importância das variações de nível do mar em eventos extraordinários, associados a fenômenos meteorológicos, como a “maré de tempestade” ou “maré de vento”. São eventos significativos nos processos erosivos e de transporte nas regiões costeiras (Komar, 1983; Villwock, 1994).

O regime de ondas – As ondas geradas por ventos locais (vagas, “*sea*”) se caracterizam por um sistema de ondas irregulares, com características complexas, apresentando uma heterogeneidade na direção de propagação, altura, velocidade de

deslocamento, comprimento e período. Estas ondas geralmente encontram-se superpostas as ondas de “*swell*” ou de mar de fundo.

As ondas de “*swell*” são, geralmente, formadas a centenas de quilômetros do local de dissipação e se caracterizam por apresentarem regularidade em altura, comprimento e direção. São de período mais longo, menor esbeltez e crista mais arredondada que as vagas.

O cinturão de baixas pressões nas proximidades dos 60° de latitude sul, localizado entre os anticiclones do Pacífico, do Atlântico semipermanente e o Antártico permanente, é o responsável pelas situações sinópticas onde são geradas as ondas de “*swell*” que atuam na região costeira oeste do Atlântico Sul.

As ondas de tempestade são importantes agentes na morfologia costeira e correspondem às ondas de maior energia que atingem a costa. Ocasionalmente elevam o nível do mar produzida por fortes ventos, a partir de causas meteorológicas associadas a fortes variações na pressão atmosférica (depressões barométricas de grande escala). São situações sinópticas extraordinárias que geram ondas de altura considerável que podem ocasionar um empilhamento de água em direção a costa, caracterizando um importante mecanismo erosivo-deposicional de curta duração (episódico).

Os estudos de Motta (1967), próximos a desembocadura da laguna de Tramandaí, fornecem os parâmetros físicos oceanográficos sobre o regime de ondas atuantes na região de Tramandaí. Os dados desse autor são para o intervalo de 1 ano (1962-1963), na isóbata de 20 m, revelando que: a) a direção mais freqüente das ondas é entre o azimute 70° e 145°; b) a ondulação de maior energia e de menor esbeltez provém do SE (azimute 125°); c) as vagas mais curtas e esbeltas provêm com mais freqüência de E (azimute 95° a 110°); d) o período significativo mais freqüente é de 9 s; a altura significativa mais freqüente é de 1,5 m e a altura significativa de recorrência anual é de cerca de 3,5 m (o “significativo” é a média de 1/3 dos registros com maior valor); e) recorrência com períodos significativos maiores do que 14 s é rara; f) na isóbata de 20 m, ondas de 4 metros de altura ocorrem pelo menos um vez ao ano e com uma altura máxima de 7 m para um período de recorrência de 30 anos.

As correntes litorâneas – As correntes litorâneas são produzidas pela ação das ondas na zona de arrebentação, principalmente quando as mesmas formam ângulos de aproximação oblíquos à costa.

Quando a aproximação do trem de ondas é paralelo à costa pode formar-se um padrão de circulação celular, produzindo principalmente correntes de retorno, perpendiculares a praia. Estas modificam o estilo das ondas da zona de arrebentação, e na morfologia praias é

marcante o aparecimento de cúspides praias que sinalizam um rearranjo do estoque sedimentar (Komar, 1983).

A aproximação oblíqua à costa do trem de ondas gera as correntes litorâneas através de dois efeitos diferenciados: a ação oblíqua das ondas gera o deslocamento da massa de água paralelamente a linha de costa; concomitantemente, a massa de água jogada na direção de avanço das ondas retorna, pela ação da gravidade, à zona de arrebentação seguindo os planos de maior pendente (Komar, 1983).

Na região de Tramandaí, as medições efetuadas por Motta (1967) com correntógrafos posicionados nas isóbatas de 15 e 20 metros, fundeados a 8 e 14 metros sob a superfície, revelaram que as correntes litorâneas são preponderantemente paralelas à linha de costa, e que fluem nos dois sentidos (SO e NE), onde seus valores variam entre 0,10 e 0,20 m/s, raramente atingindo 0,30 m/s. As correntes que fluem em sentido NE são geradas pela ondulação de mar de fundo (“*swell*”) provenientes, preferencialmente, de SE; as correntes que fluem no sentido contrário são ocasionadas pelas vagas geradas pelos ventos NE.

A deriva litorânea dos sedimentos – A corrente litorânea, gerada pela aproximação oblíqua do trem de ondas em relação à linha de costa, arrasta partículas sedimentares em suspensão turbulenta, num padrão “dente de serra”, com um vetor de deslocamento resultante paralelo à linha de costa. Este transporte de sedimentos por tração e suspensão, ao longo da costa, denomina-se deriva litorânea.

Os estudos de Motta (1967) revelam que para a área de estudo, a deriva se processa nos sentidos NE e SO, com predominância final para NE.

A predominância para NE reflete o regime de ondas que incidem sobre a costa do RS. Para a zona de estudo, a causa mais importante da deriva litorânea dos sedimentos é a propagação da ondulação provocada pelas tempestades geradas no cinturão depressivo subpolar, localizado no Atlântico Sul. A ondulação de maior energia e de menor esbelteza proveniente do SE (Motta, 1967), com maior poder de transporte, gera um vetor de deslocamento preferencial para NE. As vagas, de características mais erosionais, segundo o mesmo autor, são provenientes principalmente do quadrante leste, gerando deriva para SO, sendo secundária e de efetividade condicionada ao potencial de vento local.

Indicadores geomorfológicos confirmam a direção preferencial para NE da deriva litorânea de sedimentos ao longo da costa do Rio Grande do Sul; o deslocamento da desembocadura da laguna de Tramandaí no sentido NE pode ser acompanhado em fotografias aéreas anteriores a 1960/1961, precedentes a construção de um guia de correntes ao longo da

margem NE do canal, o qual possibilitou a sua fixação (Tomazelli, 1990; Tomazelli e Villwock, 1992; Villwock e Tomazelli, 1994).

Mesmo as menores vazões neste canal, em torno de 95 m³/s (Motta, 1967), mantêm livre a desembocadura da laguna, evitando um possível fechamento pelos sedimentos de deriva para NE (Tomazelli, 1990; Tomazelli e Villwock, 1992). Uma feição deposicional na forma de delta ocorre frontal à desembocadura do canal, causando uma inflexão nas linhas de arrebentação, sendo a única influência morfológica significativa e atual da descarga lagunar na região submersa adjacente.

A configuração ampla e rasa da plataforma continental adjacente promove forte refração da ondulação proveniente de SE, o que faz com que o ângulo de aproximação com a costa seja muito baixo, na maioria das vezes, o que diminui o processo da deriva litorânea de sedimentos (Motta, 1969; Tomazelli, 1990; Tomazelli e Villwock, 1992; Villwock e Tomazelli, 1994).

8– CLIMA ATUAL NA ÁREA DE ESTUDO

As regiões costeiras são influenciadas por fatores **estáticos** e **dinâmicos** típicos de controle das condições climáticas, os quais interagem para a composição de condições específicas que se expressam na variação termo-pluviométrica vigente (Nimer, 1977). Na planície costeira do Rio Grande do Sul, os fatores estáticos são representados pela posição geográfica (latitude em torno do paralelo 30° S), geomorfologia (região com contraste de altitudes) e maritimidade (região costeira). Os fatores dinâmicos são representados pelo campo energético oceânico, as correntes marinhas e os anticiclones Atlântico e Polar.

A região costeira do RS, localizada na Zona Subtropical Sul, tem o seu clima basicamente controlado por massas de ar de origem tropical marítima e polar marítima. O Anticiclone Subtropical Semipermanente do Atlântico Sul, ou de Santa Helena, é o principal condicionante climático do Atlântico meridional, por ser uma área dispersora de ventos tropicais, de característica semifixa, posicionado em uma faixa de latitudes entre 18° e 35° S, sobre o oceano.

As massas de ar provenientes deste anticiclone semipermanente predominam na região costeira sul do país durante o ano, sendo influenciadas pela inclinação sazonal da

radiação solar e pelo deslocamento de massas de ar frias provenientes do Anticiclone Móvel Polar, posicionado ao sul do continente.

Na primavera e verão, o anticiclone Santa Helena está deslocado mais para sul, e a região costeira do estado do RS recebe influência de sua borda instável; os ventos são predominantemente de nordeste, implicando em condições de tempo estável e dias ensolarados. No outono e inverno a região passa a receber a influência do anticiclone Móvel Polar, quando o anticiclone de Santa Helena está deslocado mais para o norte; o deslocamento destas frentes frias sobre a região geralmente ocasiona a queda brusca da temperatura e a instabilidade após a passagem da frente (Hasenack e Ferraro, 1989).

Dessa maneira, as condições termo-pluviométricas da região são dependentes principalmente do comportamento dinâmico dessas duas massas de ar localizadas a oeste e a sul-sudeste da zona costeira do RS.

Nimer (1977) engloba todo o estado do Rio Grande do Sul dentro da classificação de clima do tipo temperado, mesotérmico, superúmido, sem estação seca definida.

Hasenack e Ferraro (1989) definem o clima da região como do tipo “Cfa” (“clima subtropical úmido sem estação seca e com verão quente”). O trabalho desses autores mostra as características climáticas mais significativas para a região costeira do Estado. A temperatura média anual é em torno dos 20° C, com amplitude térmica anual de 9,4° C (fevereiro é o mês mais quente e junho o mais frio); a umidade relativa do ar varia de 80 a 86%, sendo mais elevada no inverno; a taxa de precipitação pluviométrica é elevada e com grande regularidade ao longo do ano, excedendo a taxa anual de evaporação, não caracterizando período de seca.

**IV– ELEMENTOS ARQUITETURAIS DO
SUBSTRATO DA LAGOA DOS PATOS REVELADOS
POR SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO**

(Artigo submetido à revista **Pesquisas em Geociências**)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
REVISTA PESQUISAS EM GEOCIÊNCIAS
Cx. Postal: 15001 - CEP:91509-900
Porto Alegre - RS – Brasil

Porto Alegre, 01 de abril de 2005.

Ilmo. Sr.
Prof. Jair Weschenfelder
Neste Instituto

Prezado Colega:

Em nome da Comissão Editorial da Revista PESQUISAS EM GEOCIÊNCIAS, confirmo o recebimento do manuscrito de Jair Weschenfelder, Iran C. S. Corrêa e Salvador Aliotta, intitulado -"Elementos arquiteturaís do substrato da Lagoa dos Patos revelados por sísmica de alta resolução". Agradecemos o encaminhamento do mesmo, à revista Pesquisas em Geociências. Manteremos contato tão logo sua avaliação pelo corpo consultivo seja realizada.

Atenciosamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lauro', is written over the typed name of the editor.

Lauro Valentim Stoll Nardi

Editor-Chefe.

IV– ELEMENTOS ARQUITETURAIS DO SUBSTRATO DA LAGOA DOS PATOS REVELADOS POR SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO

Architectural elements of the Patos Lagoon substrate revealed by high-resolution seismics

Jair Weschenfelder¹; Iran C. S. Corrêa¹; Salvador Aliotta²

¹Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
CP 15001, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

²Instituto Argentino de Oceanografía, Complejo CRIBABB,
Camino Carindanga km 7, 8000, Bahía Blanca, Argentina.

1- ABSTRACT

A high-resolution seismic survey was performed on the Lagoa dos Patos, southern Brazil. The survey was conducted aboard the research vessel LARUS of the Fundação Universidade do Rio Grande. The seismic profiles were obtained using a 3.5 kilohertz frequency, which provided a rather good penetration depth and resolution of the records. Results of the seismic records allowed the determination and mapping of seismic facies and seismic sequences, as well as related architectural elements, which were identified basically through the configuration patterns of the seismic reflectors. The analysis of the seismic records allowed the identification of the architectural elements that build up the sedimentary pile accumulated in the coastal prism of the State of Rio Grande do Sul, contributing to a better understanding of the geological evolution of the southern Brazilian coastal plain during the Quaternary period.

2- INTRODUÇÃO

Dados sísmicos obtidos com perfiladores de fundo e subfundo, operando em alta frequência, são amplamente utilizados em estudos interpretativos dos ambientes de sedimentação. Os padrões de resposta acústica servem como base para a interpretação dos processos erosivo-deposicionais ocorridos. Esses equipamentos geralmente são configurados para operarem com frequências de 3,5 a 12 kHz que permitem uma alta resolução (submétrica) dos refletores de subsuperfície, mas com baixa penetração no pacote sedimentar (geralmente inferior a 30 m). A técnica pode ser empregada em levantamentos de fundo e subfundo nos mais diversos ambientes subaquáticos, marinhos ou continentais.

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 (Costa e Figueiredo, 1998; Damuth, 1975; 1980; Damuth e Hayes, 1977; Flood, 1980; Lee, 2002). Na costa atlântica sul-americana podemos citar os levantamentos sísmicos de alta frequência realizados no estuário de Bahia Blanca, Argentina (Aliotta *et al.*, 2002; 2004), em ambientes costeiros mais protegidos como na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (Baptista Neto *et al.*, 1996; Quaresma *et al.*, 2000), e na Plataforma Continental do Amazonas, norte do Brasil (Costa *et al.*, 1998; Figueiredo *et al.*, 1996).

Para a região costeira do estado do Rio Grande do Sul (RS), são poucos os trabalhos publicados que utilizaram dados sísmicos de alta resolução na investigação da pilha sedimentar. Toldo (1994) e Toldo *et al.* (2000) estudaram a sedimentação holocênica na Lagoa dos Patos com o auxílio de ecogramas de 7 kHz. Um refletor de subsuperfície que marcaria o limite Pleistoceno/Holoceno, no interior da lagoa, foi mapeado nesses perfis de alta frequência. Segmentos desses ecogramas também foram utilizados por Ortiz (1995) na identificação do canal fluvial pleistocênico do Rio Camaquã, o qual desemboca na margem oeste da Lagoa dos Patos. Resultados de um levantamento sísmico de alta resolução foram apresentados por Corrêa *et al.* (2003), os quais revelaram a presença de estruturas de barreira no subfundo do canal de acesso à Lagoa dos Patos, em Rio Grande.

O presente trabalho objetiva mostrar os resultados de um levantamento sísmico de alta frequência (3,5 kHz) realizado no interior da Lagoa dos Patos, na planície costeira média do RS, em dezembro de 2002 (Fig. 14). É o conjunto de dados sísmicos de alta resolução mais consistentes, coletados até o momento, para a planície costeira do RS. O estudo dos dados

permitiu o reconhecimento e mapeamento das fácies e seqüências sísmicas, fornecendo novos subsídios aos estudos relacionados à evolução geológica e paleogeográfica da região.

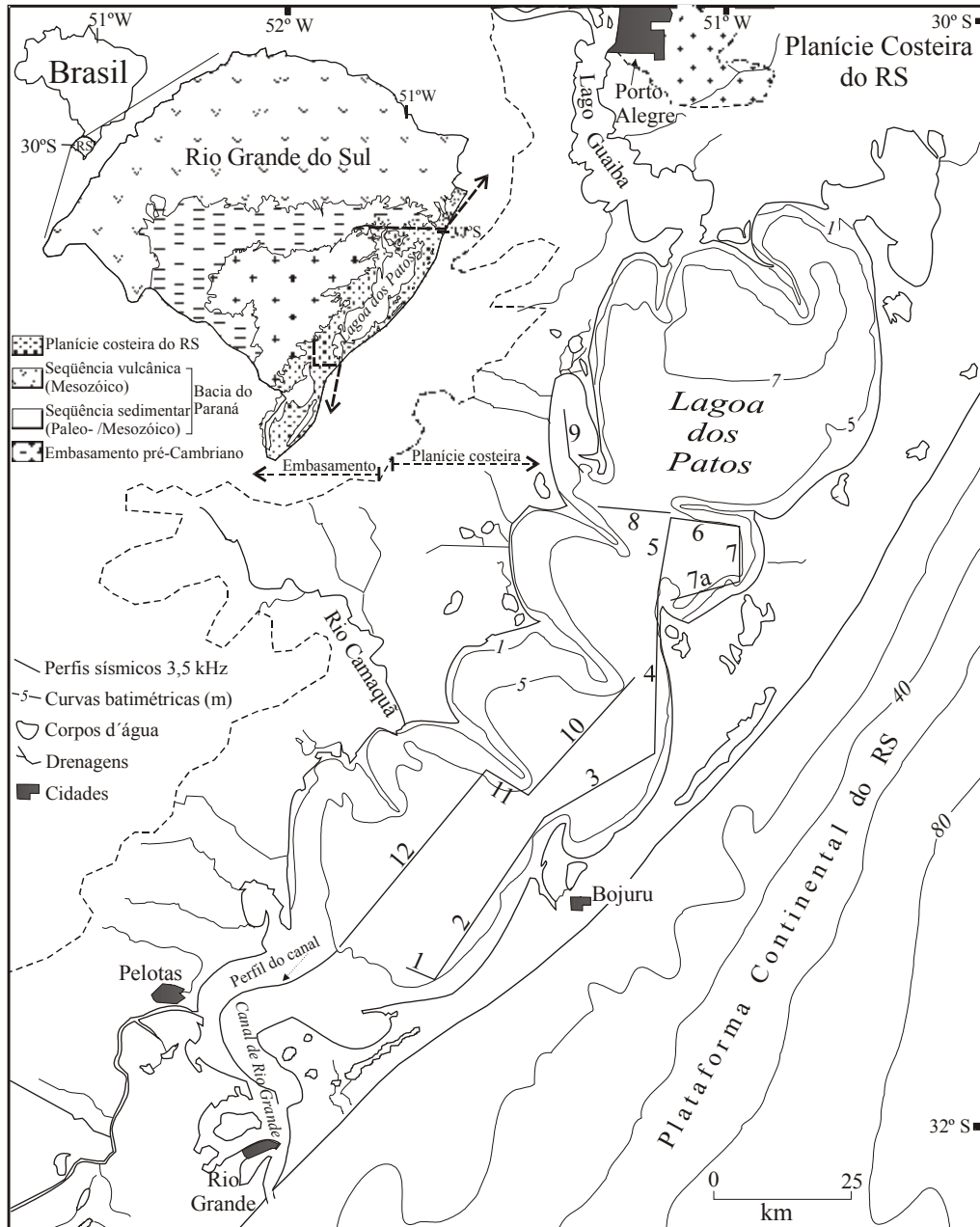


Figura 14. Mapa de localização da área de estudo. Linhas de 1 a 12 são perfis sísmicos de 3,5 kHz levantados na Lagoa dos Patos.

3- CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

A planície costeira do RS é formada por uma extensa e diversificada faixa ambiental alongada na direção SO-NE do estado. É uma ampla área plana de terras baixas,

com aproximadamente 33.000 km², em grande parte ocupada por um enorme sistema de lagos costeiros. Apresenta 600 km de extensão e largura em torno de 60 a 70 km na sua porção centro-sul e de 15 a 20 km na sua porção norte (Fig. 14).

O corpo lagunar da Lagoa dos Patos, com superfície em torno de 10.000 km², é um dos aspectos mais marcantes na fisiografia do estado. A laguna é a bacia de captação da rede de drenagem da Bacia do Sudeste do RS e do Nordeste da República do Uruguai. A extensão superficial total da bacia de captação alcança 180.000 km², cujas águas captadas desembocam diretamente no Oceano Atlântico através do Canal de Rio Grande, no extremo sul da laguna.

As fácies sedimentares da planície costeira do RS têm sido agrupadas dentro do sistema de leques aluviais e do sistema tipo laguna-barreira (Villwock *et al.*, 1986). A parte proximal do sistema de leques aluviais são depósitos resultantes de processos predominantemente gravitacionais, gradando para depósitos aluvionares em sua porção mais distal. O sistema de leques aluviais marca a passagem entre as terras altas do embasamento da bacia de Pelotas e os sistemas deposicionais costeiros (Villwock e Tomazelli, 1995; Tomazelli e Villwock, 2000). Uma correlação entre os períodos de mar alto, a formação de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira e os principais picos da curva isotópica do oxigênio de Imbrie *et al.* (1984) foi estabelecida no trabalho de Villwock e Tomazelli (1995).

Em linhas gerais o modelo evolutivo proposto por Villwock *et al.* (1986), para a região costeira do RS, concebe um pacote de sedimentos clásticos terrígenos que se acumulou, a partir do final do Terciário, em um sistema de leques aluviais coalescentes desenvolvido ao longo da margem leste de terrenos topograficamente mais elevados. As porções mais distais dos leques aluviais foram retrabalhadas por ciclos transgressivos e regressivos do nível do mar, correlacionáveis aos quatro últimos eventos glaciais do final do Cenozóico.

A formação do imenso corpo lagunar da Lagoa dos Patos foi propiciada pelos eventos de variação do nível do mar do final do Pleistoceno e do Holoceno. Os depósitos sedimentares que delimitam a Lagoa dos Patos têm sido relacionados aos quatro últimos eventos transgressivo-regressivos, responsáveis pela formação de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira: os sistemas I (mais antigo), II e III foram formados no Pleistoceno Superior, enquanto o sistema IV está em formação desde o início do Holoceno (Tomazelli e Villwock, 2000).

Estudo detalhado sobre a sedimentação, padrão de ondas e dinâmica sedimentar da Lagoa dos Patos foi apresentado por Toldo (1994). É um corpo d'água costeiro bastante extenso, raso (profundidade média de 6 m), muito pouco influenciado pela maré astronômica (amplitude < 45 cm) e abrigado do ambiente dominado por ondas do oceano adjacente. Uma característica marcante são os esporões arenosos fixados às margens lagunar e que se projetam vários quilômetros para o seu interior. Elementos morfológicos e sedimentológicos levaram Toldo (1994) e Toldo *et al.* (2000) a dividirem a Lagoa dos Patos em dois setores distintos: o primeiro setor é a margem arenosa e o segundo é a parte plana e lamosa do seu interior. Profundidades entre 5 e 6 metros separam os dois setores, com o primeiro deles ocupando em torno de 40 % em área. Ainda segundo esses autores, tanto o piso como as margens da laguna são vulneráveis a ação das ondas, cujas alturas significativas podem atingir até 1,6 m.

4- MATERIAIS E MÉTODOS

4.1- Aquisição dos dados sísmicos

O levantamento dos perfis sísmicos de alta resolução foi realizado na Lagoa dos Patos, em dezembro de 2002, a bordo da Lancha Oceanográfica LARUS da Fundação Universidade do Rio Grande (FURG). Foram levantados em torno de 400 km de perfis sísmicos, distribuídos em vários trechos (Fig. 14). A rota e o posicionamento dos perfis foram definidos por um sistema de posicionamento por satélite (DGPS).

Os dados sísmicos foram obtidos com um equipamento perfilador de subsuperfície *GeoAcoustics*, sistema analógico e digital, que pode operar no intervalo de frequência de 2 a 12 kHz. Esse sistema de aquisição é composto basicamente por transmissor (*Geopulse 5430A*), receptor (*Geopulse 5210A*), transdutor (*Geopulse 132B*) de quatro elementos, impressora (*EPC HSP1086*), unidade de processamento (*GeoPro*) e unidade digital com software de aquisição (*Sonarwiz*). O transdutor foi fixado na lateral da embarcação, servindo ao mesmo tempo como emissor e receptor do sinal acústico. Após testes preliminares para definir alguns dos parâmetros de aquisição em função das condições locais, optou-se pela frequência de 3,5 kHz, potência de 5 kW e intervalo de disparo de 125 ms. Durante o

levantamento os dados sísmicos foram gravados no formato digital SEG-Y e simultaneamente impressos em papel termicamente ativado.

4.2- Reconhecimento e mapeamento de seqüências e fácies sísmicas

O reconhecimento e o mapeamento das seqüências e fácies sísmicas, assim como dos diversos elementos arquiteturais a elas associados, tiveram como base a análise da configuração interna dos refletores, a terminação lateral das superfícies sísmicas e a geometria externa dos pacotes, em concordância com as linhas gerais estabelecidas pela Sismoestratigrafia (Mitchum *et al.*, 1977). A metodologia permite uma interpretação geológica sistemática dos perfis sísmicos, fornecendo informações à cerca dos processos de sedimentação, variações relativas do nível do mar, paleotopografia, entre outras.

Para avaliar a espessura aproximada dos pacotes sedimentares foi utilizada uma velocidade média de deslocamento do sinal acústico de 1 650 m/s.

5- RESULTADOS

A análise conduzida nos dados sísmicos possibilitou o estabelecimento de diversas fácies e seqüências sismo-deposicionais. Discordâncias marcantes, evidenciadas principalmente por superfícies de truncamento dos refletores sísmicos, serviram de base para o estabelecimento de três seqüências sísmicas: seqüências **I**, **II** e **III**, da mais antiga para a mais recente. Definidas as seqüências sísmicas, foi possível estabelecer as diversas fácies sísmicas que as constituem.

O perfil 2 foi levantado praticamente paralelo à margem lagunar leste da Lagoa dos Patos, de sudoeste para nordeste, por uma extensão de 38 km. A profundidade média da lâmina d'água ao longo do perfil é de 6 metros, com exceção da parte inicial e final da linha sísmica onde a profundidade decresce para em torno de 5 metros devido à aproximação da margem lagunar. O perfil 2 será usado para mostrar a relação espacial e temporal entre as seqüências deposicionais I, II e III, assim como de diversas fácies sísmicas constituintes dessas três seqüências (Fig. 15).

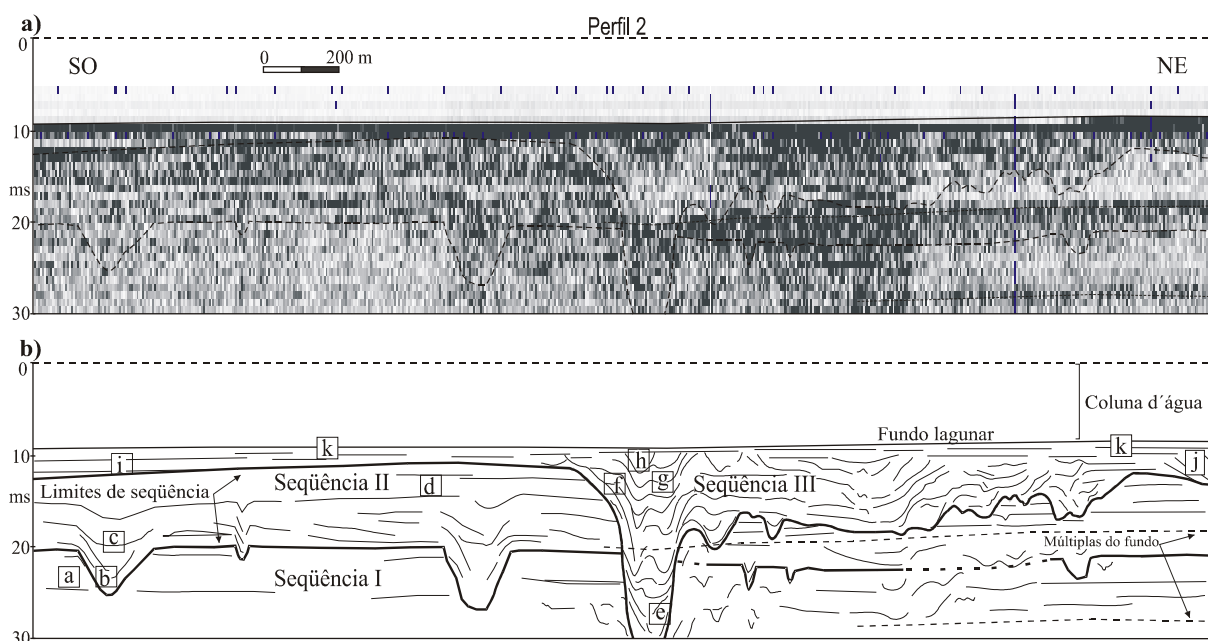


Figura 15. Fácies e seqüências deposicionais identificadas em registros sísmicos da Lagoa dos Patos. Profundidade em tempo de ida e volta, em milissegundos (ms).

5.1- Seqüência I

A seqüência I é a mais profunda das observadas nos registros sísmicos. Não foi possível definir o limite inferior desta unidade, que provavelmente localiza-se em profundidades superiores as que foram registradas pelo levantamento sísmico. O limite superior desta seqüência encontra-se a uma profundidade média em torno de 17 m abaixo da lâmina d'água e é marcado por uma superfície de descontinuidade truncando os refletores sísmicos (Fig. 15b).

Por ser relativamente profunda, a atenuação do sinal acústico e a presença recorrente da reflexão múltipla atribuída ao fundo lagunar dificultou o reconhecimento detalhado dos elementos arquiteturais que compõem a seqüência I. Desta forma, todo o pacote sedimentar constituinte da seqüência I foi designado como fácies sísmica a. A fácies sísmica a se caracteriza basicamente por refletores múltiplos bem marcados, paralelos a sub-paralelos e com boa continuidade lateral. O espaçamento e a intensidade das reflexões são irregulares. Em alguns setores dos registros os refletores são mais fracos, mais irregulares e com pouca continuidade lateral (Fig. 15b e 16).

5.2- Seqüência II

A seqüência **II** se encontra delimitada na base e no topo por superfícies de descontinuidade bem marcantes nos registros sísmicos. Em termos gerais o limite inferior da seqüência **II** é marcado por uma superfície erosiva com boa continuidade lateral, praticamente horizontal, truncando em baixo ângulo os refletores da fácies sísmica **a** sotoposta. Em certos locais este limite inferior é mais irregular, onde truncamentos em alto ângulo dos refletores da fácies **a** marcam a superfície basal de canais escavados no pacote sedimentar da seqüência **I** sotoposta. O limite superior é bastante irregular devido a canais ‘escavados’ nesta seqüência pela sobreposta (**III**). Desta forma, a espessura desta unidade nos registros sísmicos é bastante variável; em alguns locais ela não ocorre (foi erodida), enquanto em outros locais pode atingir até 12 m de espessura. Estima-se uma espessura média de 8 a 10 m para esta unidade (Fig. 15b).

As fácies sísmicas **b**, **c** e **d** constituem a seqüência **II**. As fácies sísmicas **b** e **c** são de preenchimento de canal, cuja morfologia é marcada por fácies sísmicas preenchendo uma feição com relevo notavelmente negativo no pacote sedimentar sotoposto. Um paleocanal mapeado no setor central do perfil 2 é mostrado na figura 16, exibindo as características sísmicas e a relação espaço-temporal entre as 3 fácies da seqüência **II**.

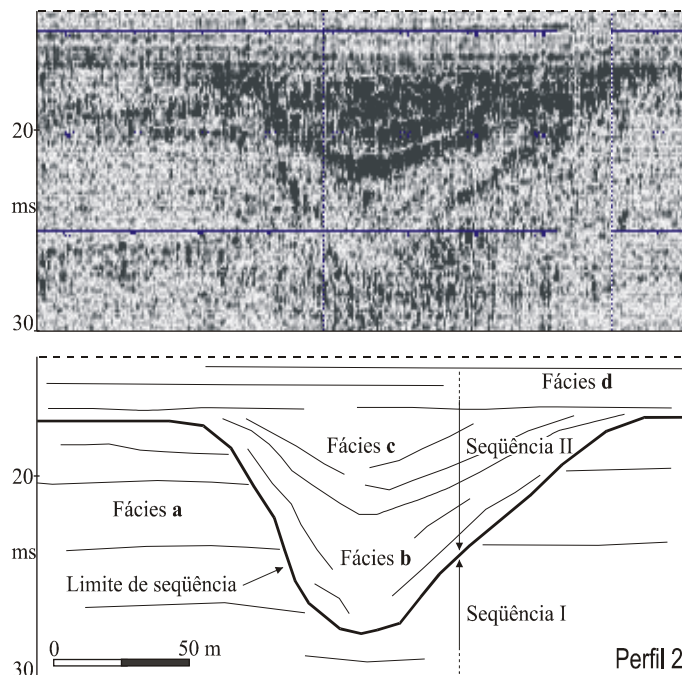


Figura 16. Elementos arquiteturais identificados em registros sísmicos da Lagoa dos Patos: fácies **a**, **b**, **c** e **d**; seqüências **I** e **II**. Profundidade em tempo de ida e volta, em milisegundos (ms).

A fácies **b** é uma unidade sísmica acusticamente laminada a semitransparente, constituída por refletores fracos e com pouca continuidade lateral. As superfícies sísmicas são fortemente inclinadas em direção ao fundo do canal. Lateralmente os refletores terminam em *onlap* sobre o limite da seqüência deposicional. A fácies sísmica **c** é constituída por refletores fortes e com boa continuidade lateral. O aspecto geral desta unidade é mais opaco do que a fácies **b** sotoposta. Os refletores inferiores são levemente inclinados em direção ao fundo do canal e assentam-se lateralmente em *onlap* sobre o limite de seqüência. Os refletores superiores são menos inclinados, tendendo a horizontais. Os de topo são truncados pelos refletores da fácies sísmica **d** sobreposta. A fácies sísmica **d** é constituída, sobretudo, por refletores paralelos a sub-paralelos, com boa continuidade lateral, horizontais a levemente inclinados. Verticalmente o pacote apresenta um padrão variável, intercalando reflexões fortes e contínuas com reflexões fracas, finamente laminadas, a semitransparentes.

5.3- Seqüência III

Os limites da seqüência **III** são definidos por uma superfície de descontinuidade bem marcada na base e no topo pelo refletor do fundo lagunar. A espessura é variável desde alguns poucos metros (~ 2 m), podendo atingir valores superiores a 25 metros no interior de vales e canais. Geralmente o limite inferior de seqüência é marcado por uma superfície relativamente contínua e com forte reflexão do sinal acústico. É uma superfície de truncamento dos estratos sotopostos, posicionada em torno de 8 metros de profundidade perto da margem lagunar, inclinando-se em direção às partes mais internas da laguna, onde atinge profundidade média de 15 a 18 m. Em vários locais, no entanto, a superfície basal da seqüência **III** apresenta uma morfologia bastante irregular, mostrando a presença de inúmeros canais profundamente escavados nos estratos sedimentares das seqüências **II** e, inclusive, **I** sotopostas. A exemplo do relatado na seqüência **II**, a morfologia característica de canal é marcada por fácies sísmicas preenchendo um relevo fortemente rebaixado na topográfica original. A base do canal é marcada pela superfície de truncamento dos refletores, que é a superfície limite da seqüência **III**. Constituem esta seqüência as fácies de **e** até **k** (Fig. 15b).

As fácies sísmicas **e**, **f**, **g** e **h** são de preenchimento de canal. A fácies **e** ocorre na base do canal e caracteriza-se por refletores assentados em *onlap* sobre a superfície de base do canal e fortemente mergulhantes em direção ao centro do mesmo. A configuração sísmica é bastante variável, apresentando desde setores acusticamente semitransparentes até opacos. Os

refletores são descontínuos, fortes e fracos, delineando montículos, superfícies de progradação e outros modelos complexos de preenchimento de canal. A fácies **f** é bem laminada, intercalando refletores com resposta acústica de intensidade média e fraca. Os refletores são contínuos, paralelos, delineando superfícies onduladas, assentando-se em *onlap* sobre refletores da fácies sotoposta **e**. Semelhante à fácies **f**, a fácies **g** apresenta superfícies sísmicas onduladas, paralelas e contínuas. No entanto, o aspecto geral desta unidade é mais opaco, com reflexões fortes intercalando outras mais fracas. Na base, as terminações laterais são em *onlap* de baixo ângulo sobre a fácies sotoposta, passando no topo para uma aparente concordância com as fácies adjacentes. A fácies **h** apresenta aspecto geral opaco, com refletores fortes, semicontínuos, delineando superfícies onduladas paralelas. As superfícies sísmicas passam lateralmente para concordantes com os refletores de fácies adjacentes, sendo recobertas no topo pela fácies sísmica **k**. Em alguns locais os refletores de topo praticamente são interceptados pelo refletor atribuído ao fundo lagunar (Fig. 17).

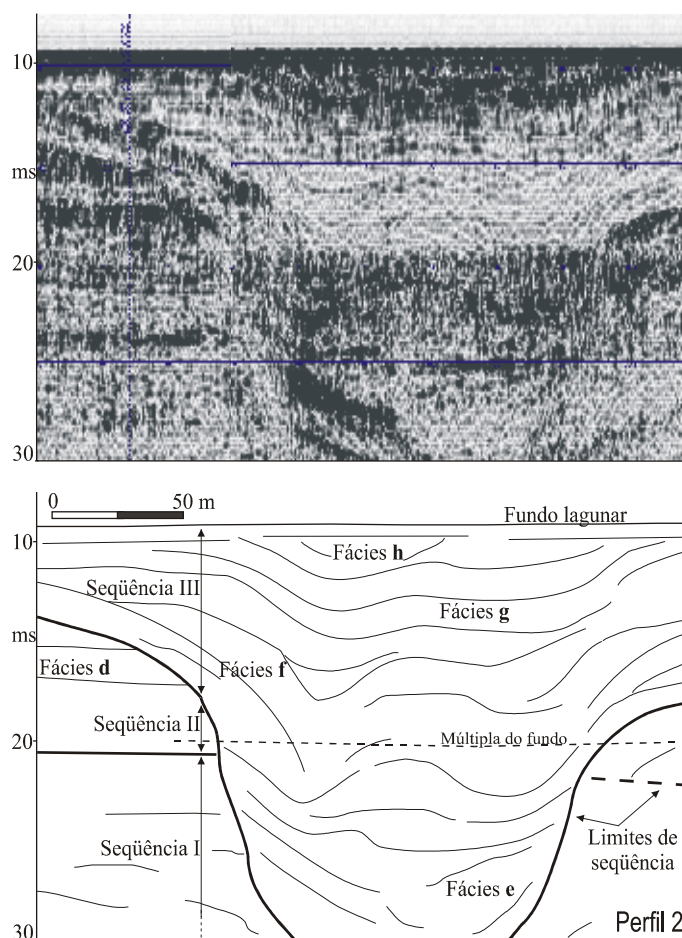


Figura 17. Elementos arquiteturais identificados em registros sísmicos da Lagoa dos Patos: fácies **d**, **e**, **f**, **g** e **h**; seqüências **I**, **II** e **III**. Profundidade em tempo de ida e volta, em milissegundos (ms).

A fácies **i** é acusticamente bem laminada, com refletores fortes e fracos, paralelos a levemente subparalelos e de grande continuidade lateral. Foi reconhecida em praticamente todos os perfis sísmicos, principalmente nas partes mais internas da Lagoa dos Patos. Em direção à margem lagunar os refletores assentam-se em *onlap* de baixo ângulo sobre o forte refletor limite da seqüência deposicional. Os refletores mergulham suavemente em direção as partes mais internas da laguna, onde esta unidade sísmica pode atingir espessuras médias de 8 a 10 m em lâmina d'água com 6 a 7 m de profundidade. A fácies **k** se distribui por toda a área levantada pela sísmica, apresentando uma espessura média de 3 a 5 m. Os refletores são contínuos, horizontais a levemente inclinados, paralelos, de grande extensão lateral e assentam-se concordantes à fácies sotoposta **i**. Esta unidade sísmica acunha-se em direção a margem lagunar, passando para espessuras inferiores a resolução sísmica. Ainda em direção à margem, alguns refletores aparentemente assentam-se em *onlap* diretamente sobre o forte refletor limite de seqüência. As espessuras maiores, de até 6 m, ocorrem nas partes mais internas e profundas da laguna. Quando comparada com a fácies sotoposta **i**, a fácies sísmica **k** apresenta uma resposta acústica não tão clara das superfícies de reflexão, menos distinta e com um aspecto geral mosqueado e irregular (Fig.18).

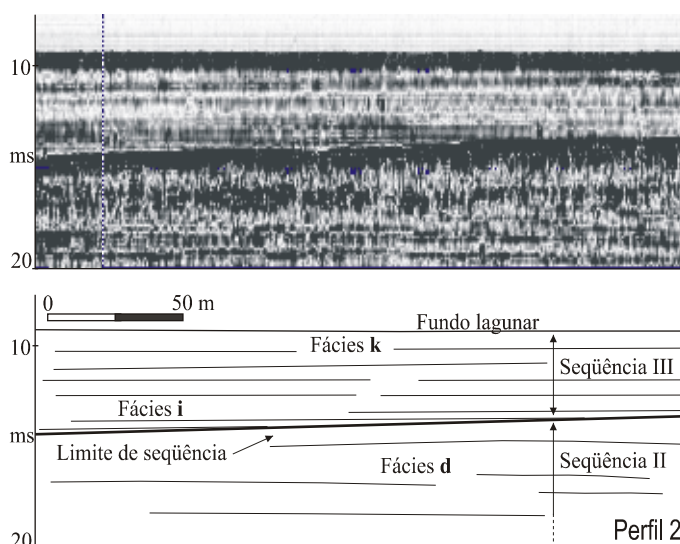


Figura 18. Elementos arquiteturais identificados em registros sísmicos da Lagoa dos Patos: fácies **d**, **i**, e **k**; seqüências **II** e **III**. Profundidade em tempo de ida e volta, em milisegundos (ms).

A fácies sísmica **j** foi reconhecida em áreas próximas aos pontais arenosos da Lagoa dos Patos, sobretudo nos perfis 2, 4, 6 e 11. É uma fácies composta por refletores com morfologia do tipo oblíquo-tangencial, com superfícies sísmicas bem marcadas, fortes e fracas.

As superfícies são, em geral, fortemente mergulhantes no topo do pacote, suavizando em direção a base. Em alguns lugares assenta-se em *downlap* sobre a descontinuidade de limite de seqüência. Alguns refletores praticamente atingem o fundo lagunar, confundindo-se e/ou intercalando-se com àqueles da fácies sísmica **k** sobreposta (Fig. 19).

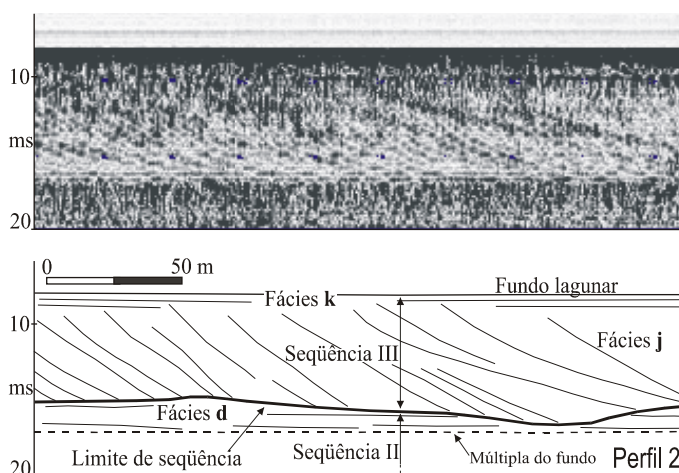


Figura 19. Elementos arquiteturais identificados em registros sísmicos da Lagoa dos Patos: fácies **d**, **j**, e **k**; seqüências **II** e **III**. Profundidade em tempo de ida e volta, em milissegundos (ms).

5.4- A resposta sísmica relacionada ao gás nos sedimentos

Anomalias acústicas ocasionadas pela presença de gás no pacote sedimentar ocorrem nos perfis sísmicos de 3,5 kHz da Lagoa dos Patos. Tendo como base as características dessas configurações sísmicas anômalas foi possível, em um trabalho anterior desenvolvido por Weschenfelder *et al.* (2005b), estabelecer dois tipos de ocorrências de gás no corpo lagunar: **bolsões de gás** (*'pocket gas'*) e **gás disseminado** (*'acoustic turbid zone'*). Dependendo da concentração de gás nos sedimentos, pode ocorrer gradação entre esses dois tipos ou, até mesmo, passarem gradualmente ou abruptamente para setores aparentemente **sem gás** (Fig. 20).

As acumulações de gás nos sedimentos (*'fácies gasosa'*) ocorrem nas 3 seqüências sísmicas estabelecidas neste trabalho, com concentrações maiores nas partes mais internas da Lagoa dos Patos. Na região mais central da laguna, geralmente onde a superfície deposicional original era mais rebaixada, bolsões de gás ocorrem por toda a extensão vertical dos registros sísmicos, atravessando as 3 seqüências deposicionais. Em alguns setores os bolsões de gás aparentemente atingem o fundo lagunar, causando ondulações na forma de montículos achatados no refletor atribuído à interface água-fundo. Uma descrição mais detalhada sobre as

acumulações de gás raso nos sedimentos do substrato da Lagoa dos Patos é apresentada no trabalho já citado de Weschenfelder *et al.* (2005b).

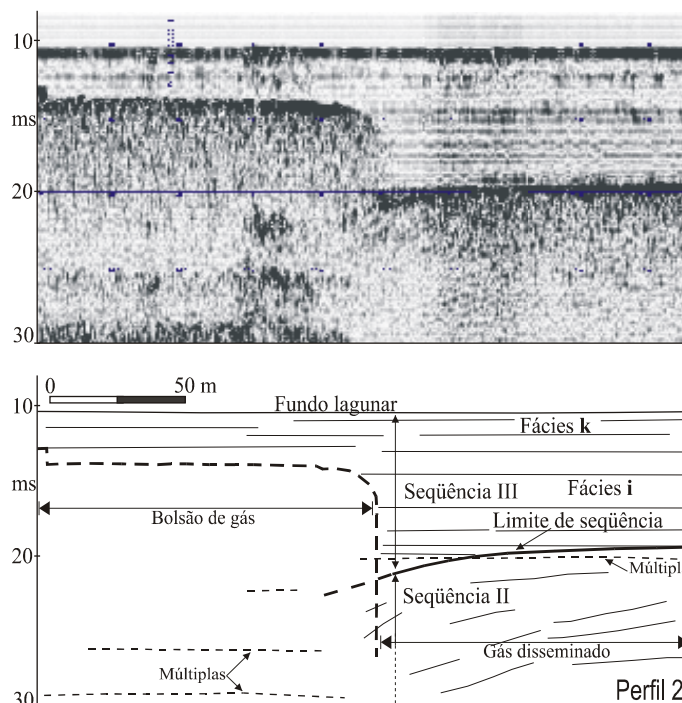


Figura 20. Resposta sísmica anômala devido a presença de gás disseminado no pacote sedimentar. Profundidade em tempo de ida e volta, em milisegundos (ms).

6- ANÁLISE E DISCUSSÃO

O estudo detalhado de registros sísmicos de alta resolução (3,5 kHz) tem contribuído significativamente no reconhecimento e mapeamento dos elementos arquiteturais construtivos dos ambientes deposicionais costeiros. Levando em consideração principalmente a configuração sísmica dos refletores, podem ser estabelecidos os limites de unidades sísmicas, como as seqüências sísmicas e suas fácies sísmicas constituintes. Superfícies de truncamento dos refletores, descontinuidades sísmicas, limites de seqüências entre outros elementos arquiteturais são estabelecidos. O mapeamento de paleovales e paleocanais permite que antigos sistemas de drenagens sejam reconstruídos e, quase sempre, vinculados aos sistemas atuais. O reconhecimento e o mapeamento nos registros sísmicos dos elementos arquiteturais são de

grande valia para o estabelecimento de modelos evolutivos e deposicionais do espesso prisma costeiro acumulado nas vastas planícies costeiras de borda das bacias sedimentares.

Uma classificação para dados sísmicos de alta resolução e frequência (3,5 kHz) foi proposta nos trabalhos de Damuth (1975; 1980) e Damuth e Hayes (1977). A classificação proposta por esses autores em tipos de ecos é puramente descritiva, não fornecendo uma relação direta entre o ecograma e a possível interpretação do ambiente deposicional.

Os dados sísmicos de alta frequência, levantados na Lagoa dos Patos, apresentaram uma boa relação da profundidade para a resolução do sinal acústico. Desta forma, a boa qualidade do conjunto de dados sísmicos possibilitou o reconhecimento e o mapeamento dos elementos arquiteturais do substrato lagunar. Além de descritivo, o estabelecimento de seqüências e fácies sísmicas apresenta também uma conotação genética-interpretativa destas unidades sísmicas com os ambientes de sedimentação. Podemos aqui citar como exemplo uma fácies denominada de 'preenchimento de canal', cuja classificação claramente estabelece elementos descritivos morfológicos da unidade sísmica e sedimentar como também elementos interpretativos e genéticos do ambiente sedimentar.

Em trabalho anterior desenvolvido por Weschenfelder *et al.* (2005), foram identificados, de forma pioneira, importantes sistemas de paleodrenagem que dissecaram a planície costeira média RS no final do Quaternário. Segundo esses autores, são antigos sistemas de drenagem que tiveram um papel importante na arquitetura deposicional, na distribuição das fácies sedimentares e na geração do espaço de acomodação do prisma costeiro depositado na borda oeste da bacia marginal de Pelotas.

As superfícies de dissecação dos sistemas de paleodrenagem estabelecidos por Weschenfelder *et al.* (2005) são as superfícies erosivas que marcam os limites entre as seqüências I, II e III aqui estabelecidas e que foram formadas por processos vinculados aos principais eventos regressivos do nível do mar do final do Quaternário. São, portanto, superfícies com significado cronoestratigráfico, que registram os eventos de regressão forçada ocorridos na região costeira do RS. As superfícies produzidas nesses processos erosivos têm sido tipicamente usadas para dividir o registro geológico em seqüências sedimentares delimitadas por superfícies cronoestratigráficas (Talling, 1998).

Baseados em dados sismológicos, geocronológicos, sedimentológicos e paleontológicos, Weschenfelder *et al.* (2004) estabeleceram vários estágios de desenvolvimento paleoambiental para região de Bojuru, na planície costeira média do RS. As

fácies sedimentares de preenchimento de canal **e**, **f**, **g** e **h** aqui estabelecidas, da seqüência **III**, foram consideradas no trabalho desses pesquisadores. Apresentaram também duas idades absolutas (^{14}C) em sedimentos orgânicos correlacionáveis à fácies de preenchimento de canal da seqüência **III**. Desta forma, os sedimentos basais do canal teriam sido depositados por volta de 9400 anos antes do presente (AP) (~ 23 m de profundidade) e os do meio para o topo em torno de 7350 anos AP (~ 5 m de profundidade). Essas datações foram feitas em amostras testemunhadas no pacote sedimentar de preenchimento do canal da 'Barra Falsa', localizado perto da cidade de Bojuru.

Considerando que os sedimentos de preenchimento dos canais, que marcam a base da seqüência **III**, foram depositados no Holoceno, torna-se possível datar relativamente os demais eventos. Desta forma, a superfície erosiva que marca o limite de seqüência **II-III** pode ser vinculada ao último grande evento regressivo do final do Pleistoceno (~18 ka AP - estágio isotópico 2 Imbrie *et al.*, 1984). O limite entre as seqüências **I** e **II** é marcado por uma superfície erosiva mais antiga e pode ser vinculada, portanto, a um evento regressivo significativo anterior (~130 ka AP - estágio isotópico 6 de Imbrie *et al.*, 1984).

Tomando os dois limites de seqüência como marcadores dos períodos de mar baixo, podemos considerar que as fácies sísmicas de **a** a **k** são relacionadas aos processos sedimentares de períodos de mar relativamente alto (transgressivo-alto-regressivo), dentro dos ciclos regressivo-transgressivos.

A seqüência **I** (fácies **a**) provavelmente vincula-se a um ambiente de barreira arenosa costeira que foi dissecado por vales e canais fluviais durante o evento regressivo do Pleistoceno Médio (?). Este evento regressivo foi o responsável pela formação da superfície erosiva do limite de seqüência **I-II**, superfície esta que trunca os refletores sotopostos. O evento transgressivo posterior afogou os vales e canais da regressão anterior. São depositadas então as fácies, provavelmente fluviais e estuarinas, **b** e **c** da seqüência **II**. O nível do mar ascendente transgride a planície costeira, possibilitando a deposição de sedimentos praias e marinhos rasos sobre extensas áreas (fácies **d**). Durante o rebaixamento do nível do mar que se segue, o sistema fluvial avança em direção à plataforma continental, dissecando a planície costeira e escavando o pacote sedimentar recém depositado. Este período regressivo do final do Pleistoceno é o responsável pela formação da superfície erosiva limite entre a seqüência **II** e **III**. Este limite de seqüência marca a base de grandes vales e canais, como o antigo canal da 'Barra Falsa' apresentado na figura 17 deste trabalho.

O canal atual da ‘Barra Falsa’ é um remanescente geomorfológico de um antigo canal de ligação entre a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico (Toldo *et al.*, 1991). O enorme canal soterrado da figura 17 representa o paleocanal da Barra Falsa. O canal da Barra Falsa e outros similares e contemporâneos foram escavados durante o último grande evento regressivo do final do Pleistoceno, quando o nível do mar recuou para 120 m abaixo da posição atual. No decorrer da última transgressão marinha, os canais foram progressivamente afogados e preenchidos por sedimentos fluviais, estuarinos e marinhos (fácies **e**, **f**, **g** e **h**) (Weschenfelder *et al.*, 2004). Lateralmente aos canais depositavam-se pacotes de sedimentos vinculados ao afogamento da planície costeira, provavelmente marinhos rasos (fácies **i**). As fácies sedimentares de crescimento de pontais arenosos fixados à margem lagunar, assim como do crescimento e migração de barreiras arenosas costeiras, estão representadas provavelmente pela fácies sísmica **j**. A redistribuição do estoque sedimentar durante o período de mar alto e início da fase regressiva do Holoceno, em torno de 5000 anos AP, ocasionou o fechamento dos canais de ligação (*inlets*) entre o corpo lagunar e o mar aberto, restando somente o canal a sul de Rio Grande (Corrêa *et al.*, 2005). A Lagoa dos Patos assume a sua configuração atual, comportando-se como um ambiente de sedimentação lagunar (fácies **k**).

Esse modelo para o desenvolvimento das seqüências deposicionais na região costeira do RS, em resposta às mudanças do nível do mar, se assemelha a diversos outros já apresentados para ambientes transicionais (Blum e Törnqvist, 2000; Shanley e McCabe, 1993, 1994; Summerfield, 1985). Normalmente são modelos que ilustram o conceito de incisão e *bypass* sedimentar durante a queda do nível de base, seguido por preenchimento de vales incisos durante períodos de subida do nível de base, evoluindo para transgressão e afogamento do sistema costeiro em períodos de mar alto. O empilhamento sedimentar dos vales e canais incisos geralmente inicia com depósitos fluviais amalgamados na base, passando para depósitos flúvio-estuarinos influenciados pela maré e finalmente, no topo, depósitos marinhos com pouca influência fluvial ou marinhos francos (Blum e Törnqvist, 2000).

O comportamento geoacústico dos sedimentos do substrato da Lagoa dos Patos foi afetado pela presença de gás no pacote sedimentar. As acumulações de gás são detectadas nos perfis sísmicos através de anomalias acústicas registradas na forma de reflexões anômalas. Ocorrências do tipo ‘bolsão de gás’ e ‘gás disseminado’ são diferenciadas pelas características das configurações anômalas nos registros sísmicos. As acumulações de gás são geralmente

controladas pela distribuição espacial das fácies sedimentares, sua permeabilidade e seu conteúdo original de matéria orgânica.

O gás, tanto na forma de bolsões como disseminado, ocorre principalmente em setores mais interiorizados à Lagoa dos Patos, quase sempre associado às regiões de paleotopografia mais rebaixada e vinculadas provavelmente a antigos canais e vales fluviais. Os sistemas de canais e vales fluviais foram formados durante eventos regressivos do nível mar, posteriormente preenchidos por processos sedimentares relacionados aos eventos transgressivos subsequentes. A origem do gás presente no pacote sedimentar do substrato da Lagoa dos Patos está intimamente ligada aos ambientes de sedimentação e aos processos evolutivos responsáveis pela formação e individualização de um complexo sistema de canais, lagunas e barreiras costeiras durante os múltiplos eventos regressivos e transgressivos do Quaternário (Weschenfelder *et al.*, 2005b).

O estabelecimento de seqüências e fácies sísmicas e o reconhecimento de diversos elementos arquiteturais da pilha sedimentar do substrato da Lagoa dos Patos trazem novos e significativos subsídios para os estudos relacionados à evolução costeira de ambientes transicionais. São elementos que deverão ser incorporados no refinamento dos modelos evolutivos correntemente em uso para a planície costeira do RS. Estudos futuros deverão levar em consideração também as ocorrências de sistemas de paleodrenagem e de grandes acumulações de gás raso no prisma sedimentar costeiro do estado, permitindo a construção de modelos evolutivos que possam ser usados como análogos em sistemas sedimentares similares.

7- CONCLUSÕES

O levantamento sísmico de alta resolução (3,5 kHz) realizado na Lagoa dos Patos permitiu o reconhecimento de importantes elementos arquiteturais que compõem o prisma sedimentar raso acumulado na planície costeira do estado do Rio Grande do Sul.

Através do mapeamento de descontinuidades marcantes, delineadas nos registros sísmicos por superfícies de truncamento de refletores, foram reconhecidas 3 seqüências sísmicas e suas fácies constituintes. Os limites dessas seqüências sísmico-deposicionais são superfícies erosivas formadas por processos vinculados a eventos significativos de

rebaixamentos do nível do mar do final do Quaternário. O limite de seqüência **II-III** foi formado durante o último grande evento regressivo do final do Pleistoceno (~18 ka BP), enquanto o limite entre as seqüências **I** e **II** foi formado por um evento regressivo anterior (~130 ka BP). Os pacotes sedimentares representativos das seqüências **I**, **II** e **III** foram depositados por processos vinculados aos períodos de nível do mar relativamente alto em relação a essas fases regressivas.

O reconhecimento e o mapeamento de seqüências e fácies sísmicas contribui de forma significativa no estudo da evolução paleogeográfica dos sistemas deposicionais costeiros do sul do Brasil. Os resultados trazem informações novas e significativas para o melhor entendimento da evolução geológica dos sistemas de barreiras costeiras reconhecidos para a planície costeira do RS. Os elementos arquiteturais mapeados e aqui apresentados deverão ser incorporados no refinamento dos modelos evolutivos vigentes e naqueles a serem construídos para a região costeira do RS. Esses modelos devem levar em consideração as recentes descobertas de importantes sistemas de paleodrenagem e de grandes acumulações de gás raso na pilha sedimentar da região da Lagoa dos Patos. Os modelos evolutivos gerados poderão ser usados como análogos para estudos de sistemas sedimentares similares, especialmente os ambientes transicionais de borda de bacia sedimentar.

**V– HOLOCENE PALEOENVIRONMENT OF
THE BOJURU REGION, SOUTHERN BRAZIL**

(Artigo submetido à revista **Journal of Coastal Research**)

De: <cfinkl@gate.net>

PARA: <jair.weschenfelder@ufrgs.br>

Assunto: [SPAM] 04-0369 Receipt of New Paper by Journal of Coastal Research

Data: quinta-feira, 30 de dezembro de 2004 02:15

Dear Mr. Weschenfelder,

Thank you for submitting your manuscript entitled "Holocene Paleoenvironment of the Bojuru Region, Southern Brazil" to Journal of Coastal Research (JCR). It has been assigned number 04-0369. Please use that number in any correspondence. You may check on the status of this manuscript by selecting the "Check Manuscript Status" link at the following URL:

<<http://jcr.allentrack.net/cgi-bin/main.plex?el=A1e7Po2A2BIQ5F5A9TAICMdGDe7MgE4dfu3GeQZ>>

(Press/Click on the link above to be automatically sent to the web page.)

Thank you for your contribution to the JCR. I hope I may soon reply favorably on the outcome of the peer review process. Feell free to contact the Associate Editor in charge of the peer review of your paper.

Sincerely,

Dr. Charles W. Finkl, Editor-in-Chief

Journal of Coastal Research

1656 Cypress Row Drive

West Palm Beach, FL 33411, USA

cfinkl@coastalplanning.net

Telephone: 561.753.7556

FAX: 561.753.7558

V- HOLOCENE PALEOENVIRONMENT OF THE BOJURU REGION, SOUTHERN BRAZIL

Jair Weschenfelder¹; Svetlana Medeanic¹; Iran C. S. Corrêa¹; Salvador Aliotta²

¹Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
CP 15001, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

²Instituto Argentino de Oceanografía, Complejo CRIBABB,
Camino Carindanga km 7, 8000, Bahia Blanca, Argentina.

1- Abstract

The Holocene environment evolution of the Bojuru region, Rio Grande do Sul state, southern Brazil, was inferred based on data from seismology, geochronology, sedimentology and paleontology. The absolute ages of two samples, determined by ¹⁴C method are $7,370 \pm 150$ yr BP and $9,400 \pm 140$ yr BP. Based on lithology, palynomorph and diatom data, the six stages on paleoenvironment development of this region were chosen. Layers of muddy sediments characterized by a significant incidence of marine palynomorphs and marine and estuarine diatoms were deposited during the Early and Middle Holocene. Seismic records (3.5 kHz) revealed a prominent buried paleochannel that can be correlated to the present Barra Falsa channel. The main period of the channel incision was related to the last regressive event of the Upper Pleistocene. During the last Holocene transgression, this paleochannel was filled up by fluvial, estuarine and marine sediments. The integrated analysis of data reveals that the Barra Falsa feature resulted from a former channel connecting the Patos lagoon and the Atlantic Ocean. The closure of this inlet channel is attributed to shifts in the sedimentation milieu related to the transgressive maximum and subsequent regression during the Late Holocene.

2- Introduction

The sedimentary systems of the Brazilian marginal basins have been strongly affected by a multitude of transgressive and regressive sea-level oscillations. The present

coastal plain and continental shelf physiography of South Brazil is mainly the result of glacio-eustatic sea level changes during the Quaternary. The geomorphologic and sedimentologic studies suggest that the Quaternary evolution of the Rio Grande do Sul (RS) coastal plain and adjacent continental shelf in the southernmost part of Brazil was mainly controlled by sea level changes (Villwock *et al.*, 1986; Villwock and Tomazelli, 1995; Corrêa, 1996; Tomazelli and Villwock, 2000; Dillenburg *et al.*, 2004).

Several studies show that a vast part of the present Brazilian coastal plain was submerged during the Holocene (Suguio *et al.*, 1985; Villwock *et al.*, 1986; Angulo *et al.*, 1999; Suguio, 1999; 2001; Ybert *et al.*, 2001; Barreto *et al.*, 2002; Bezerra *et al.*, 2003; Martin *et al.*, 2003). The sea-level rise identified along the Brazilian coast during the Middle Holocene is similar to sea level rise records from South Africa (Ramsay and Cooper, 2002). However, these records differ from the meanwhile highest relative sea-level position at the coast of southeastern United States and the Netherlands (Martin *et al.*, 2003).

Based on different indicators from the former relative sea-level position, Martin *et al.* (2003) concluded that the curve of relative sea-level oscillations established in Salvador (NE Brazil) by Suguio *et al.* (1985) might be used for comparison in the central coast of Brazil. The curve in Salvador shows that the last glacio-eustatic sea level rise (transgressive phase) began approximately in 7,800 ¹⁴C yr BP. The maximum of that transgression occurred around 5,600 yr BP, and was characterized by a sea level rise of approximately 5 m above the present position. The following regressive phase led, at last, to the present position of the sea level. Further according to Martin *et al.* (2003), this regressive fall of sea level was interrupted by two distinctive high-frequency oscillations of sea level around 4,300–3,500 yr BP and 2,700–2,100 yr BP. The secondary oscillations of the sea level during the last regressive phase are not confirmed by some authors, who established a smooth decline of the sea level during this phase (Angulo and Lessa, 1997; Angulo *et al.*, 1999).

Coastal deposits and various associated fossil remains are commonly used for reconstructing the sea-level oscillation history. However, as pointed out by Martin *et al.* (2003), several indicators of sea level changes should be used to minimize systematic errors associated with the particular nature of an indicator.

The use of palynomorphs for paleoenvironmental reconstruction of the coastal plains influenced by sea-level oscillation is important. The application of different types of palynomorphs, found in coastal sediments, mainly cysts of marine palynomorphs (acritarchs, dinoflagellates), and microforaminifera, is useful in estimating sea-level oscillations. Usually, an

increase in marine palynomorphs in corresponding sediments resulted from the rise of the sea level and led to an increase in salinity of the coastal aquatic environments (Traverse and Ginsburg, 1967; Sarjeant, 1970; Wall *et al.*, 1977; Dominguez, 1987; Grill and Quatroccio, 1996). Another important group of palynomorphs, used for reconstructing the aquatic paleoenvironment, is that of zygospores and colonies of Chlorophyta fresh-water coccal green algae. Their wide distribution in coastal sediments may be related to the freshening of the aquatic basin during regressive phases, when freshwater influxes into basin of sedimentation increased (Van Geel and Van der Hammen, 1978; Komárek and Jankovská, 2001; Medeanic *et al.*, 2003). The pollen and spores of terrestrial and aquatic vascular plants are excellent indicators for paleoenvironment and climate reconstructions and may be used to infer coastal vegetation changes affected by marine influence. A higher incidence of pollen of halophyllous plants may indicate an expansion of land due to marine influence on the coast. The lower incidence of pollen of terrestrial plants is usually observed in sediments formed during the transgressive stage when land was far from the sedimentation basin (Lorscheitter, 1983; Cordeiro and Lorscheitter, 1994; Ybert *et al.*, 2001).

Other important microfossils for paleoreconstruction are diatoms and silicoflagellates, whose distribution is strongly determined by ecological characteristics of the environment, including salinity, pH, depth, etc. (Moreira Filho and Teixeira, 1963; Moreira, 1975; Baptista, 1977; Priddle and Fryxell, 1985; Abreu *et al.*, 1987; Ricard, 1987; Palmer and Abbot, 1994; Canter-Lund, 1995; Gutiérrez Felluz, 1996). The study of diatoms and their use for reconstructing the Holocene on the RS coastal plain was conducted by Meyer Rosa (1979), and Callegaro and Lobo (1990). The significant incidence of marine and brackish-water diatoms together with the cysts of dinoflagellates, silicoflagellates and acritarchs in the Holocene coastal samples is evidence of a marine transgressive phase (Medeanic *et al.*, 2000a).

The paleoenvironmental and paleoclimatic characteristics of the RS coastal plain during the Holocene, and inferred from palynological data, were reported in several articles (Neves and Lorscheitter, 1991; 1997; Lorscheitter and Dillenburg, 1998; Medeanic *et al.*, 2000; Toigo *et al.*, 2002).

The Bojuru region, located in the eastern-central part of the RS coastal plain, was chosen for the study of the paleoenvironment changes influenced by sea-level oscillations during the Holocene. This area is characterized by a narrow and shallow channel called Barra Falsa (Fig. 21). Toldo *et al.* (1991; 2000) suggested that the present Barra Falsa feature originates from a former inlet connecting the Patos lagoon with the Atlantic Ocean.

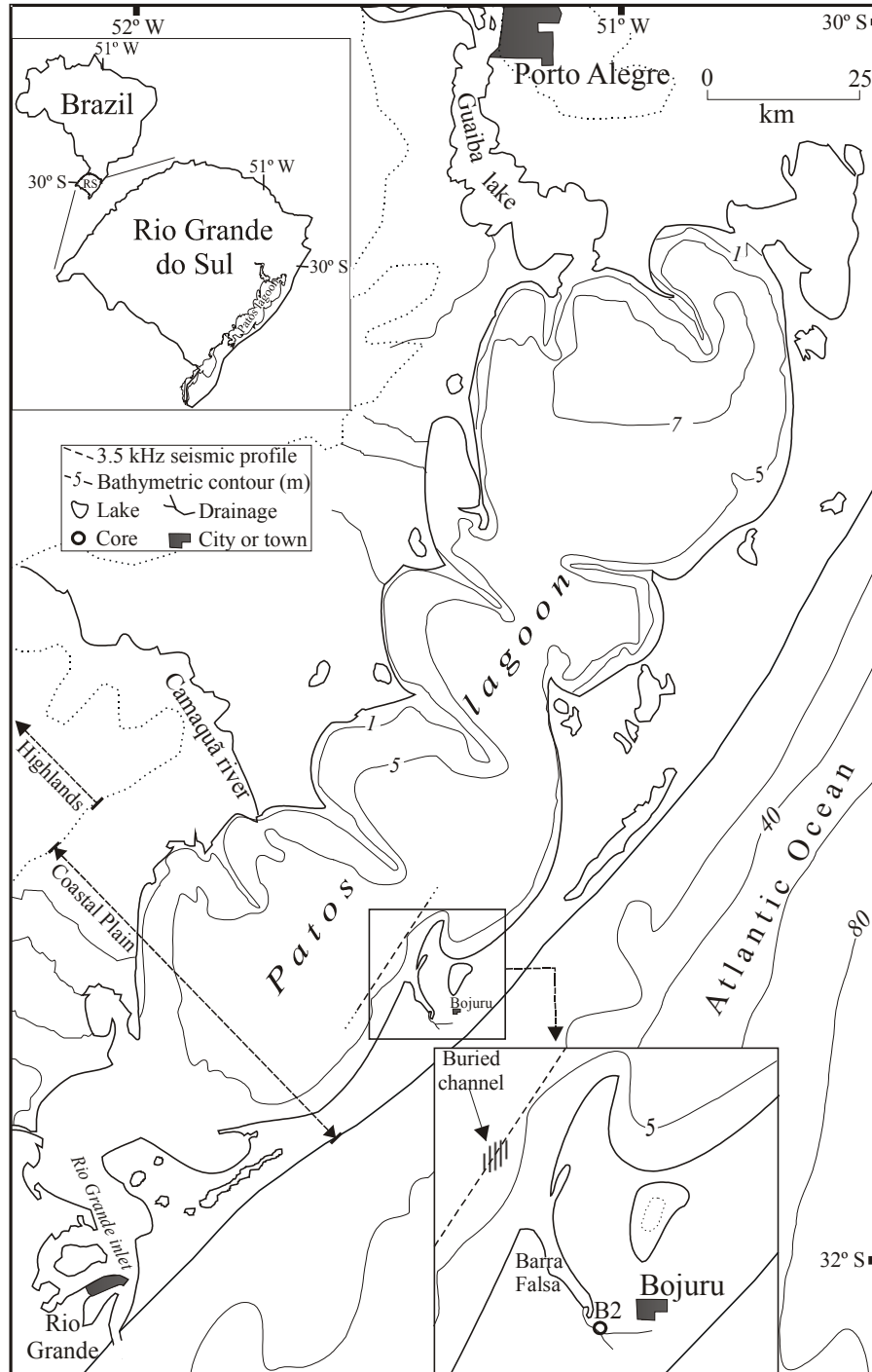


Figure 21. Location of the study area.

The first palynological data on the Holocene paleoenvironment reconstruction in the Bojuru region were published by Medeanic *et al.* (2001). The marine palynomorphs (acritarchs, dinoflagellates, and microforaminifera), silicoflagellates and marine diatoms discovered in the thick silty layer (about 2.5 m) from one core are evidence of sediment deposition during marine transgression. The ^{14}C dating of this layer pointed to its deposition

during the Middle Holocene, which corresponds to the period of maximum marine transgression.

The new multidisciplinary study of Holocene sediments in the Bojuru region take into account paleontological, sedimentological, seismic, and radiocarbon-age data and use them to reconstruct the paleoenvironmental evolution of the area. The history of Barra Falsa channel is reconstructed based on the new data. The last transgressive drowning of the RS coastal plain and the adjacent continental shelf is discussed.

3- COASTAL EVOLUTION OF RIO GRANDE DO SUL

The coastal plain of the state of Rio Grande do Sul (RS) represents the upper part of the Pelotas marginal basin. According to Villwock *et al.* (1986), it comprises the juxtaposition of depositional systems formed by processes related to sea-level oscillations during the Quaternary period.

Four lagoon-barrier type depositional systems related to the Upper Quaternary transgressive and regressive events have been identified in the RS coastal plain (Villwock *et al.*, 1986; Villwock and Tomazelli, 1995; Tomazelli and Villwock, 2000). A correlation between the sea level highstands and major peaks in the oxygen isotope curve of Imbrie *et al.* (1984) was established by Villwock and Tomazelli (1995). This correlation should confirm the idea of close affinity between sea level oscillations and climate changes.

Five marine terraces have been mapped on the continental shelf off the state of Rio Grande do Sul at following depth ranges: 20–25, 32–45, 60–70, 80–90 and 120–130 meters (Corrêa, 1986; 1996; Corrêa *et al.*, 1992). The origins of these terraces are related to the last glacio-eustatic transgressive event, interrupted by several minor regressive events (Corrêa *et al.*, 1992). They suggest a temporary, high-energy depositional environment typical of a sea level stillstand.

According to Corrêa (1986), the last transgressive event began approximately 17,500 yr BP, when the sea level was approximately 120–130 m lower than today. Before this transgression, the present inner shelf surface was subaerial and subject to erosional processes and fluvial incision. Beach ridges consisted predominantly of coarse sands were formed along the ancient coastline, while fine sands were deposited on the inner shelf. The clayey sands and clays were deposited on the outer shelf and the upper continental slope (Corrêa *et al.*, 1992).

From 17,500 to 16,000 yr BP, the sea level rose quickly, stabilizing at 100–110 m below the present level (Corrêa, 1986; 1996; Corrêa *et al.*, 1989). Fine sands deposited on the inner shelf represent the ancient shoreline of that period, interrupted by estuarine and deltaic deposits of medium-grained sands (Corrêa *et al.*, 1996; Martins *et al.*, 1996). The rate of the sea level rise decreased from 16,500 to 11,000 yr BP, resulting in the deposition of muddy sands in the nearshore setting, and erosion from the middle to the outer continental shelf. Two minor regressions occurred within this period, forming terraces at 80–90 m and 60–70 m. Two additional minor regressive events occurred during the long-term transgressive phase (from 11,000 to 5,500 yr BP). They led to terrace forming – the first one at 32–45 m (9,000 yr BP) and the second at 20–25 m (8,000 yr BP). By 5,500 yr BP, the sea level reached ~ 5–6 m above the present position. During this time, the drainage channels were displaced landwards. The fine sediments were deposited in deeper waters while transgressive sands were reworked in the coastal zone. Ancient coastline and sea level stabilization periods are marked by the presence of bioclastic gravels and heavy minerals. From 5,000 yr BP till today, the sea level fell to the present position.

The present RS coastal plain is characterized by wide lowlands covering an area of about 33,000 sq km, bordering on the west with highlands. The Patos lagoon, its main physiographic feature, is 240 km long (NE-SW) and has an average width of 40 km, covering approximately 10,000 sq km. Its average depth is 6 m and the average tidal amplitude is 0.45 m. The lagoonal deposits consist of marginal sands and muddy sediments (up to 6 m thick) at the bottom of the lagoon (Toldo *et al.*, 2000). The lagoon receives fresh water from a huge drainage area and discharges it through the Rio Grande inlet (Fig. 21).

4- MATERIAL AND METHODS

4.1- Core sampling

A core (Bojuru 2 - B2; 31° 38' S, 51° 26' W) 25.2 m long was drilled on the prolongation of the Barra Falsa channel (Fig. 21). Characterization of sediments involved color (nomenclature according to the GSA rock color chart), texture, structure, and organic matter (OM) content. Organic-rich clay and muddy sediments were collected for the study of palynomorphs and diatoms. Two radiocarbon age determinations on bulk sediment samples

were performed by Beta Analytic Inc., Miami, FL, USA, resulting in conventional ^{14}C ages, obtained after applying $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ corrections, and calibrated ages.

4.2- Seismic study

A 3.5 kHz seismic reflection data survey was performed in the Patos lagoon. The cruise was carried out aboard the research vessel *Larus* of the Fundação Universidade de Rio Grande (FURG). The position of the seismic lines was determined by a DGPS system linked to the subbottom profiler system. The seismic equipment used was a GeoAcoustics subbottom profiler, consisting of GeoPulse transmitter (model 5430A), GeoPulse receiver (model 5210A), 132B transducer array (4 mount), graphic recorder EPC GSP 1086, GeoPro processor system, and seismic data acquisition software. The set of data was saved in analogical and digital formats.

The identification of the architectural elements present in the seismic records was based on the general concepts established by the Seismic Stratigraphy (Mitchum *et al.*, 1977). In order to evaluate the thickness of the sediments the distance between horizons was calculated converting travel times into meters based on an assumed sound speed of 1,700 m/s.

4.3- Palynomorph and diatom study

The study of palynomorphs and diatoms was conducted on fourteen samples from core B2.

The chemical treatment of the samples followed Faegri and Iversen (1975). HCl (10 %) and NaOH (5 %) were used. A treatment with HF was avoided in order to preserve siliceous remains, such as diatom valves and silicoflagellate cysts. Separation of inorganic and organic substances was carried out by “heavy liquid”, a solution of ZnCl_2 in water with a density of 2.2 g/cm^3 .

The taxonomic definition of pollen and spores used a palynoteca of recent plants distributed in the state of Rio Grande do Sul. A small concentration of pollen and spores of terrestrial and aquatic plants did not enable us to plot the percentage diagrams of “pollen sum”. The taxonomic composition of all pollen and spores found and their incidence (in absolute figures) can be seen in a table in the page 131.

Zygosporos and colonies of green algae, acritarch and dinoflagellate cysts, and diatoms were identified by Moreira Filho and Teixeira (1963), Moreira (1975), Dale (1976; 1978), Canter-Lund (1995), Van Gell and Van Der Hammen (1978), Meyer Rosa (1979),

Sournia (1986), and others. Microforaminifera were used to estimate salinity changes and their paleoecological value was reported by Thunell and Williams (1983).

A sum of palynomorphs (100 % by definition) was calculated and included arboreal pollen (AP), non-arboreal pollen (NAP), pollen of aquatic plants (NAP aquatic) and spores (Bryophyta and Pteridophyta), Chlorophyta colonies and zygospores, acritarch and dinoflagellate cysts. The diatoms were included in the “palynomorph sum” counting. Further, “algae sum” - diatoms and green coccal algae sum - was conducted according to their tolerance to salinity (marine, brackish-water, freshwater algae). The TILIA Program (Grimm, 1987) was used for plotting the diagrams.

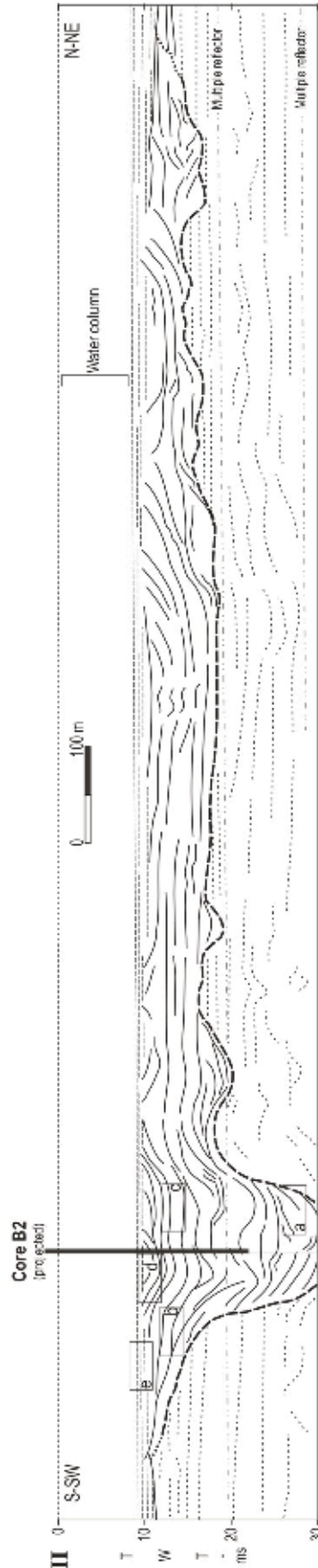
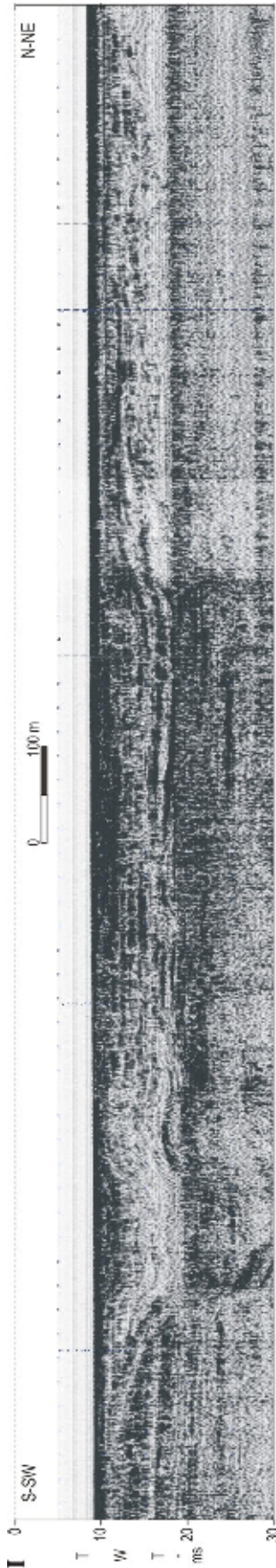
5- Results

5.1- Seismic records

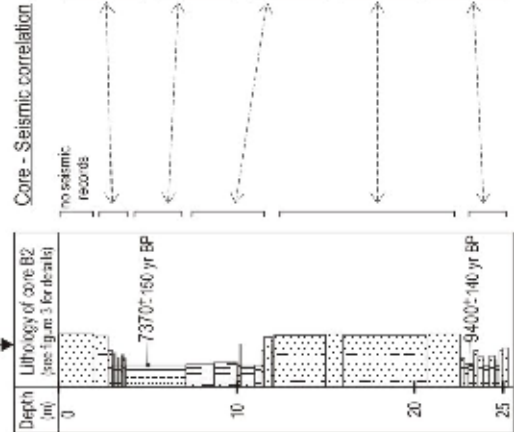
A 3.5 kHz seismic profile was acquired roughly parallel to the eastern border of the Patos lagoon. It runs near the lagoon margin and roughly perpendicular to the longitudinal axis of the Barra Falsa channel (Fig. 21). For the purpose of this study the analysis of the seismic records was focused on the identification of former channels that have dissected the area of study, taking into account the configuration of the seismic reflectors.

Part of the seismic section recorded next to the Barra Falsa channel shows the existence of a large paleochannel feature. The buried channel is about 1.5 km wide and the sedimentary filling is at least 20 m thick (Fig. 22, I). The channel morphology is well marked by fill facies units filling a negative relief in the underlying strata. The underlying reflections are mainly parallel and subparallel, showing erosional truncation along the basal surface of the channel (Fig. 22, II). The fill facies units are related to sedimentary deposits filling up the Barra Falsa channel (Fig. 22, III).

Figure 22. (**próxima página**) - Seismic profile near the Barra Falsa channel (I); interpretation of channel architecture (II); seismic correlation and synthesis of results (III). Location of the seismic line shown in Figure 21. Depths to water surface in two-way traveltime (TWT), in milliseconds (ms).



Inset	1x	Seismic facies	3x	Seismic facies characteristics	Interpreted depositional setting
e				<ul style="list-style-type: none"> - Multiple, continuous to discontinuous, parallel reflectors - Gentle dip to the lagoon interior - Onlapping the underlying reflectors 	<ul style="list-style-type: none"> - Lagoonal environment establishment following sea level highstand - Lagoonal muds and fine sands deposition - Barra Falsa channel closure processes
d				<ul style="list-style-type: none"> - Multiple, continuous to discontinuous, strong and weak wavy reflectors - Divergent fill reflection pattern 	<ul style="list-style-type: none"> - Channel filling by estuarine and marine clays during transgression maximum
c				<ul style="list-style-type: none"> - Multiple, continuous, strong and weak, parallel wavy reflectors - Mounded onlap to divergent fill reflection pattern 	<ul style="list-style-type: none"> - Channel filling by estuarine and marine muds during the transgressive to highstand sea level phase
b				<ul style="list-style-type: none"> - Multiple, continuous, weak to semi-transparent, parallel wavy reflectors - Mounded onlap fill reflection pattern 	<ul style="list-style-type: none"> - Estuarine channel filling - Filling by transgressive sands - Channel drowning and filling during transgression
a				<ul style="list-style-type: none"> - Discontinuous, weak and strong reflectors - Mounded onlap, prograded, and complex fill reflection patterns - Onlap termination at underlying unconformity - Lateral accretion facies 	<ul style="list-style-type: none"> - Fluvial channel complex fill - Lateral accretion fluvial facies - Channel avulsion and incision during regression and lowstand phase



III

The lowermost channel fill seismic facies is basically composed of lateral accreting facies, present along the entire channel. Discontinuous, weak and strong reflectors delineate mounded onlap, prograded, and complex fill reflection patterns onlapping the underlying unconformity. This facies is interpreted as fluvial (Fig. 22, inset a).

Laminated to acoustically transparent channel fill seismic facies delineates a mounded onlap fill reflection pattern (Fig. 22, inset b). This facies is interpreted as estuarine transgressive sands.

Seismic facies of the inset c and inset d of figure 22 are similar. However, the upper unit presents more undulating, stronger to opaque, reflection. It is correlated to finer sediments (clayey) than the underlying unit, composed of coarser sediments represented by muds and a few fine sands. These sediments are estuarine and marine in origin, deposited during sea level rise.

The final episode of sedimentation is marked by acoustically laminated deposits onlapping at very low angle the underlying unit (Fig. 22, inset e). The reflectors are continuous and parallel, dipping gentle to the lagoon interior. This facies is interpreted as lagoonal.

Acoustic anomalies due to gassy sediments are present in some part of the seismic records, somewhere masking the reflectors. Fortunately, this acoustic phenomenon has not hindered the analysis conducted on the seismic data.

5.2- Lithostratigraphy of core B2

Only a few of all studied samples contained relatively abundant palynomorphs. In many samples, pollen and spores of terrestrial and aquatic vascular plants were rare or poorly preserved. Zygosporangia and colonies of green coccal algae (Chlorophyta) were found in all samples. Acritarchs and dinoflagellates cysts were not abundant. On the other hand, various marine and estuarine diatoms were found in all studied samples. Microforaminifera were present in some samples.

Based on the lithologic characteristics of core B2 five horizons were identified (Fig. 23), and their description follows from the bottom to the top of the core.

Horizon A (22.5–25.0 m) is represented by silty clay, sandy clay and sandy mud layers. Grayish colors are dominant in this horizon. Some lenses of black clay (N1) and yellowish gray (5Y7/2) to dark greenish gray (5GY4/1) and fine-grained sands occur. The finer sediments are rich in organic matter (up to 24 %) where plant fragments occur. Small shell fragments are dispersed throughout the horizon. Contact with the upper horizon B is abrupt.

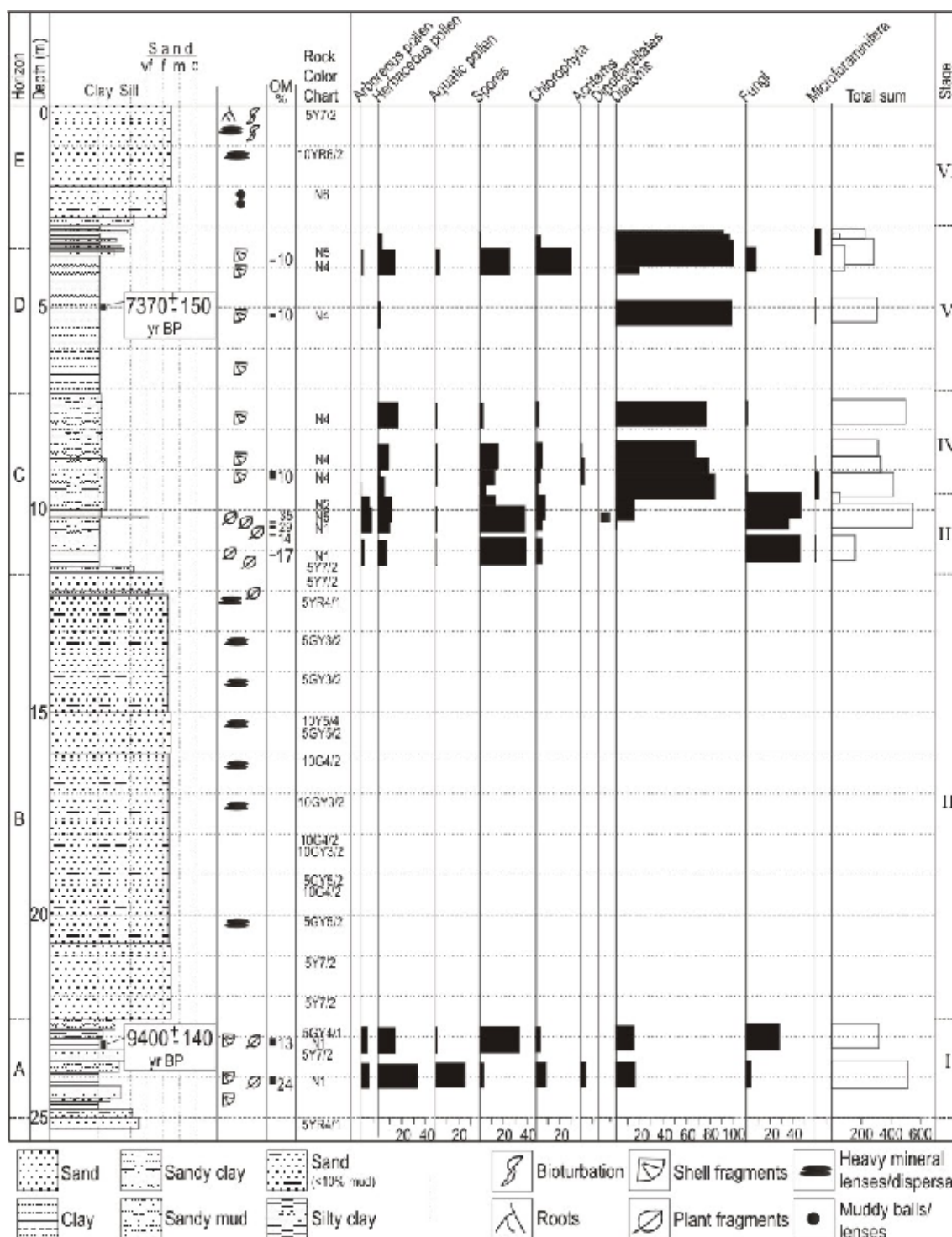


Figure 23. Lithology of core Bojuru 2 (B2) and microfossil distribution in the samples. OM - organic matter content.

Palynomorphs, found in two samples, are represented by pollen and spores of terrestrial and aquatic plants, zygospores of coccal algae Chlorophyta, rare acritarchs, and spores of fungi (Fig. 23). The pollen of herbaceous plants (NAP) predominates. The most frequent pollen is that of Poaceae, Asteraceae, Chenopodiaceae and Cyperaceae. Pollen of

halophylous plants, such as Juncaginaceae (cf. *Triglochin*), *Azolla filiculoides* is present. Arboreous pollen is represented by Palmae, Mimosaceae, Moraceae-Urticaceae, and others (Table). The distinctive feature of this horizon is the incidence of various and frequent spores and hyphae of fungi. Diatoms are represented by *Terpsinoë* cf. *muzica* and *Paralia sulcata* (predominant). Rare marine diatoms also occur, as for example *Coscinodiscus* sp.

The absolute age of one sample collected at 23.2 m is about $9,400 \pm 140$ yr BP.

Horizon B (11.6–22.5 m) is represented by fine-grained sands. Heavy minerals occur dispersed or in lenses throughout this horizon. In the basal part of this horizon there is a 2 m thick interval of yellowish gray (5Y7/2) sand. Above this interval, a package of sands with minor quantities (<10 %) of dispersed mud is found. In this interval, shades of green (dusky yellow green - 5GY5/2; grayish olive - 5GY3/2; dusky yellowish green - 10GY3/2; grayish green - 10G4/2; light olive - 10Y5/4) predominate. Brownish gray (5YR4/1) to yellowish gray (5Y7/2) sands occur to the top of horizon B. The incidence of lenses and layers of organic mud with some plant fragments to the top of the horizon B indicates a gradual contact with the upper horizon C.

Palynomorphs and diatoms are lacking.

Horizon C (7.2–11.6 m) is represented by silty clay, sandy clay and sandy mud. The colors vary from black (N1) to medium-gray (N5). Some lenses of fine muddy sand are also present. The lower part of this horizon is richer in organic matter (up to 35 %) than the upper part (up to 10 %). Black plant fragments are abundant in the basal interval. Small shell fragments are common at the top of the horizon.

In the lower part of this horizon (9.5–11.6 m), spores of ferns and spores and hyphae of fungi predominate (Fig. 23; Table). *Debarya*, *Mougeotia* zygospores and *Spirogyra* freshwater algae are also reported. Marine palynomorphs (acritarchs, dinoflagellates and microforaminifera) are found. The incidence of brackish-water diatoms - *Paralia sulcata*, increases (Fig. 24). In the upper part of this horizon (7.2–9.5 m), pollen and spores of aquatic and terrestrial plants are rare and poorly preserved. Zygospores of freshwater algae are less frequent. Marine palynomorphs are represented by acritarchs and microforaminifera. A major increase in diatoms and, especially, in marine diatoms - *Actinoptychus* sp., *Coscinodiscus* sp., *C. oculus-iridus*, *C. radiatus*, and *Triceratium favus*, is observed.

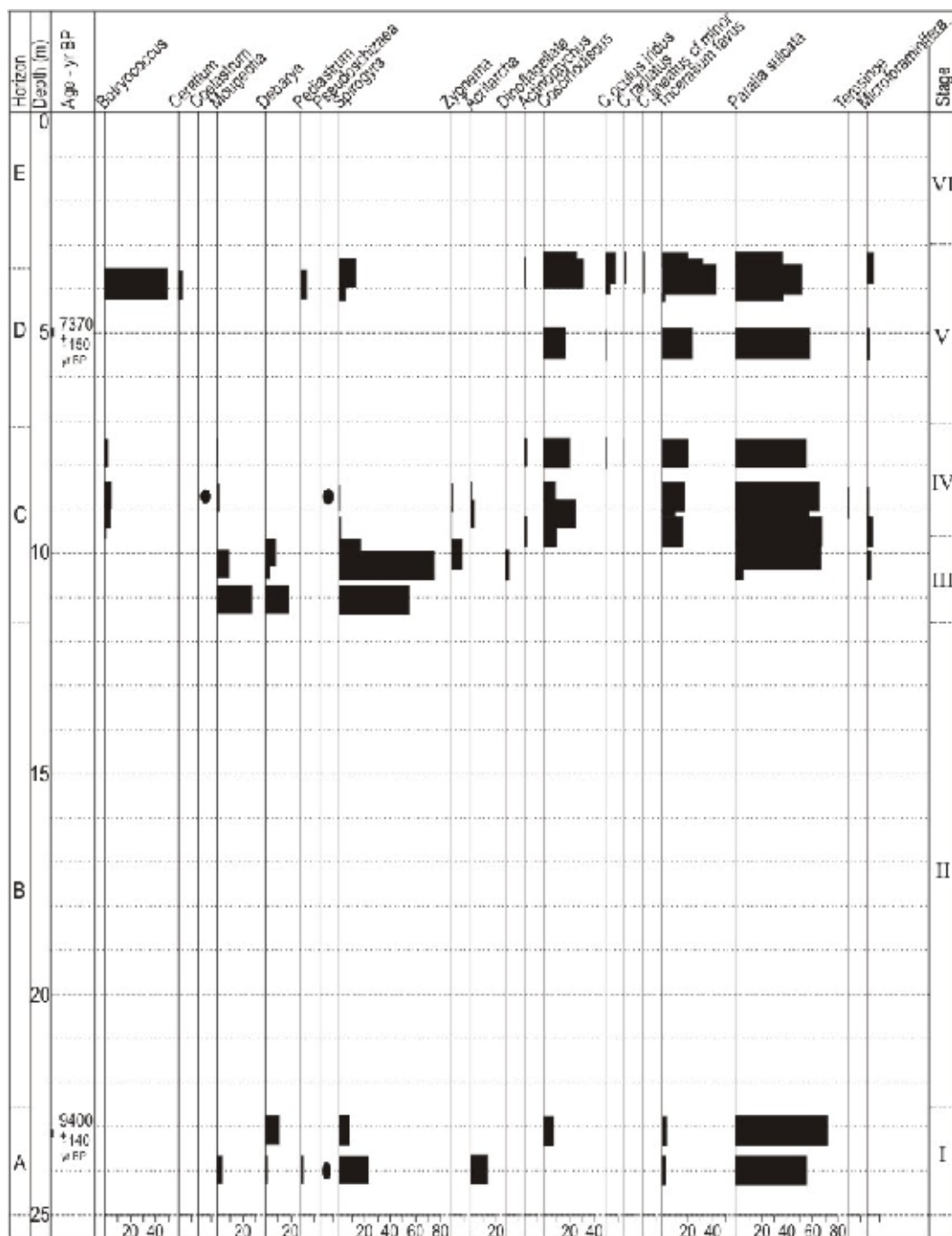


Figure 24. Diagram of algae distribution in the core B2.

Horizon D (3.5–7.2 m) is represented by medium-dark gray (N4) clay. Some lenses of silty clay are dispersed. To the top of the horizon, slightly coarser sediments are observed. The organic matter content reaches 10 %. Small shell fragments are scattered within this horizon. The contact with the upper horizon is gradual. It is characterized by the predominance of marine and brackish-water diatoms. The taxonomic diversity of marine diatoms increases (*Coscinodiscus*, *C. oculus-iridis*, *C. radiatus*, *C. lineatus cf. minor*) (Fig. 24). The incidence of marine palynomorphs increases, however, pollen and spores of terrestrial

plants decreases considerably. Zygosporae and colonies of freshwater algae are found sporadically and are represented mainly by *Botryococcus*, *Pediastrum* and *Spirogyra*.

The absolute age established for one sample recovered from a depth of 5.0 m is about 7370 ± 150 yr BP.

Horizon E (0.0–3.5 m) is represented by pale yellowish brown (10Y6/2) to yellowish gray (5Y7/2) fine sand. Lenses of mud and muddy balls are dispersed in the basal part. Dispersed heavy minerals occur predominantly in the upper part of the horizon. Sometimes, they are concentrated in lenses. Bioturbation structures and roots are common at the top of the horizon.

Palynomorphs and diatoms are lacking.

6- Analysis and discussion

Based on the lithologic characteristics of the sedimentary horizons, data on palynomorph and diatoms distribution, six stages of environment development were detected in the Bojuru region. They are related to sea-level changes, climatic oscillations and coastal barrier and inlet development.

Stage I – corresponds to horizon A. Palynological data indicate that sedimentation occurred under conditions of high salinity of marine influence. It was probably a shallow basin influenced by both ocean and freshwater influxes. The relatively abundant pollen and spores of terrestrial plants are indicative of vegetation spreading in this region, distributed not far from the core site. The spreading of brackish-water and salt marshes in the studied region is confirmed by relatively frequent spores of *Azolla filiculoides*, and pollen of xerophyllous and halophyllous plants (Chenopodiaceae, Cyperaceae, Juncaginaceae, etc.). These plants are well distributed in present salt marshes of the RS coastal plain (Cordazzo and Seeliger, 1998). The dune spreading is confirmed by relatively abundant pollen of Poaceae, Chenopodiaceae and Asteraceae. A great number of spores and hyphae of fungi, and diverse arboreal pollen may have been carried from the adjacent land by freshwater influxes, provided the relatively abundant pollen of terrestrial plants, spores and hyphae of fungi, and zygosporae of freshwater algae. The “pure” freshwater algae represented by *Debarya*, *Pediastrum*, *Pseudoschizaea* and *Mougeotia*, may have been carried by freshwater influxes, too. The diverse fungal spores and hyphae, and especially *Rhizophagites* soil fungi, may justify some periods of drying out of this

shallow basin. In that stage, the marine influence was occasional and had an oscillatory character. The rare marine *Coscinodiscus* diatoms and acritarchs (*Micrhystridium*) are an evidence of marine influence.

Stage II – a sand package in horizon B represents this stage. The presence of this unit overlying estuarine sediments indicates a period of deposition of transgressive sands in the course of sea level rise.

Stage III – corresponds to the lower part of horizon C. The influence by palynomorph and diatom records was weak. The relatively abundant incidence of pollen and spores of terrestrial plants is evidence of wetland spreading with diverse and abundant ferns and mesophyllous grasses. The increase in humidity of the subtropical climate caused the expansion of forests whose pollen may have been carried into the sedimentation basin by freshwater influxes.

Stage IV – corresponds to the upper part of horizon C. The significant increase in brackish-water (*Paralia sulcata* and *Terpsinoë*) and marine (*Actinoptychus*, *Coscinodiscus*, *Triceratium favus*) diatoms is indicative of a major sea-level rise. The decrease in pollen and spores incidence may be related to an increase in amplitude of the sea-level rise and a distant position of the coastal land from the sedimentation basin. The poor preservation of many pollen and spores may be a result of their redeposition during the marine transgression.

Stage V – corresponds to horizon D. The predominance of marine diatoms and their taxonomic variety may be related to the maximum of marine transgression. Dunes and intertidal marshes spread on the neighboring lands.

Stage VI – corresponds to horizon E, composed of fine sands. These sands were deposited in the RS coastal plain after the maximum transgressive of the Holocene.

These six identified stages delineate the general environmental conditions operating in the Bojuru region during the Holocene. Stages I to III are related to a depositional setting influenced by both ocean and freshwater influxes. The occasional and oscillatory marine influence may be indicative of an estuarine channel. In stage IV, the influence of marine water increased, indicating a significant sea-level rise and drowning of the estuarine channel. The predominance of marine diatoms and their taxonomic variety in horizon D are indicative of sea level highstand. Stage V represents the maximum transgression. Stage VI corresponds to a subsequent regression phase when the inlet channel was closed.

The hypothesis of the existence of a paleoinlet between the Patos lagoon and the Atlantic Ocean in the Bojuru region was proposed by Toldo *et al.* (1991; 2000). According to

these authors, the present geomorphologic configuration of the Barra Falsa was inherited from a Holocene inlet. The inlet closure occurred about 2,000 yr BP due to coastal processes related to the development of a coastal barrier (Toldo *et al.*, 1991). This Holocene sandy barrier corresponds to the lagoon-barrier system IV of Villwock *et al.* (1986).

When extending the longitudinal axis of the Barra Falsa channel into inside the Patos lagoon it intercepts the seismic line right at the point of the prominent paleochannel in figure 22. Therefore, we consider that the paleochannel of the seismic record of figure 22 corresponds to the former Barra Falsa channel. This seismic record shows that the Barra Falsa feature represents not only a reminiscent morphological feature of a Holocene inlet but also an older (Pleistocene) channel that connected the “paleolagoon” to the open ocean.

Core B2 was drilled on the prolongation of the present Barra Falsa channel. Taking into account that the present Barra Falsa feature was inherited from a former inlet, the lithostratigraphy of core B2 reflects the channel infilling sequence throughout the last transgressive-regressive event. The six stages that delineate the Barra Falsa channel infilling sequence might be valid to other past coastal channels incised in the RS coastal plain during the last regressive event of the end of the Pleistocene.

A correlation between seismic data and stratigraphic log relates the seismic and depositional facies filling up the former Barra Falsa channel. The basal unit corresponds to the early stage of the sedimentary infilling of the channel by fluvial deposits. The middle units correspond to estuarine and marine deposits related to a transgressive sea level. The upper unit corresponds to marine sediments related to the maximum of transgression. The seismic record is topped by a unit related to lagoonal deposition of the subsequent regressive phase since the present Patos lagoon configuration was established. Fine sands of the upper B2 core are related to the modern depositional setting prevailing in the RS coastal plain since the maximum sea level highstand of the Middle Holocene (Fig. 22, III).

In general terms, the sea level fall during the last regressive event of the Late Pleistocene excavated the deep and wide ‘Barra Falsa incision’. There is reason to believe that in this period other coastal channels dissected the former RS coastal plain. During this forced regression event (Wisconsin, last glaciation), the channels probably represented an important river-shelf bypassing system, linking the drainage basin to the west with the depositional settings of the Pelotas marginal basin to the east. Before the subsequent transgressive event, the present inner shelf surface was subaerial and subject to erosion and fluvial incision (Corrêa *et al.*, 1992).

The Holocene transgressive event in the area of study began about 17,500 yr BP, when the sea level was about 120 m lower than nowadays (Corrêa, 1986). The transgression flooded the wide Pleistocene coastal plain, forming the main features of the present continental shelf off the state of Rio Grande do Sul (Suguio and Martin, 1987).

Throughout the transgression, the fluvial channels were drowned by the rising sea waters. The widespread channel incision was progressively inhibited and then reversed. The slowdown of the competence of the streams led to channel infilling by fluvial and paralic sediments. Previous existing rivers were transformed into estuaries. Fine sediments were deposited in deeper waters and transgressive sands on the coastal zone.

In the last transgressive highstand (approximately 5,500 yr BP) the sea level reached around 5–6 m above present level, drowning a huge area of the RS coastal plain (Corrêa, 1996). The coastal and lagoonal dynamic was radically changed. The sediment loading from the fluvial discharges was mainly trapped in intralagoonal deltas. The position of former inlet and confining sandy margins was submerged where deposition of finer sediments occurred. When the sea level started to regress, the former inlet morphology had changed. The past Barra Falsa inlet was no longer the main way to the lagoonal discharge. New ways connecting the Patos lagoon to the open ocean were then formed. Presently, the lagoon captures an enormous river discharge and leads it to the ocean through a unique huge inlet near the city of Rio Grande, located about 90 km south from Bojuru.

7- Conclusions

The data on the environmental development of the Bojuru region during the Holocene, based on core and seismic records, have a methodological character and show the implication of different analyses integrated for the purposes of paleoreconstructions on coastal zones.

Newly acquired data and analyses of seismic records allow us to conclude that the geomorphologic feature Barra Falsa represents a former inlet channel connecting the Patos lagoon to the Atlantic Ocean in the past. Its evolution was mainly controlled by sea level oscillations. The Barra Falsa channel was incised during the last regressive event of the Late Pleistocene, when the sea level fell 120 m below the present position. During the last marine transgression, the Barra Falsa channel was drowned and infilled by fluvial, estuarine and marine

sediments. The paleochannel Barra Falsa was closed after a transgressive peak during the regressive phase.

The sedimentary package from core B2 drilled in the Bojuru region was analyzed under the light of a multidisciplinary study, revealing that the deposition of these sediments was closely connected to sea level oscillations, climatic changes and evolution of the coastal depositional systems taking place during the Holocene.

The five lithologic horizons identified correspond to six stages of environment development in the course of the last transgression (stage I to V) and the subsequent regression during the Holocene (stage VI). The deposition of the lowest lithological horizon A (stage I) was related to the drowning of the drainage system of the Bojuru region by a rising sea level around 9,400 yr BP. The connection between the sedimentation basin and the ocean was established through a paleochannel. The high salinity is marked by marine palynomorphs (acritarchs, dinoflagellates) and some marine and brackish-water diatoms. The relatively high incidence of terrestrial palynomorphs may indicate the proximity of land, occupied by brackish-water and salt marshes, and dunes. The climate was subtropical and relatively dry. Horizon B represents the deposition of transgressive sands in a rising sea level scenario (stage II), which in turn was overlaid by deeper water sediments of horizon C (stage III and IV). The horizon corresponding to stage IV was formed during a major sea-level rise. The deposition of muds was attributed to the deepening of the water column. The clay horizon (stage V), characterized by the absolute predominance of marine diatoms and the presence of microforaminifera and dinoflagellates, was deposited in an estuarine to marine setting around the sea level highstand. The low incidence of pollen and spores of terrestrial and aquatic plants was probably related to a farther distance of shore land from the sedimentation basin. The climate during this stage was warmer and more humid than the previous stage IV. The sand horizon (stage VI), which closes the depositional sequence in the Bojuru region, was deposited during the subsequent marine regression.

**VI- PALEOCHANNELS RELATED TO LATE
QUATERNARY SEA LEVEL CHANGES IN
SOUTHERN BRAZIL**

(Artigo submetido à revista **Marine Geology**)

De: "Marine Geology" <margo-ee@elsevier.com>

PARA: <jair.weschenfelder@ufrgs.br>

Assunto: MARGO2849 - Notice of manuscript number

Data: quarta-feira, 2 de fevereiro de 2005 09:40

Dear Mr Weschenfelder,

Your submission entitled "Paleochannels related to late Quaternary sea level changes in southern Brazil" has been assigned the following manuscript number: MARGO2849.

You will be able to check on the progress of your paper by logging on <http://ees.elsevier.com/margo/> as Author.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Denise Woon A Tai, Journal Editor Assistant

Marine Geology

VI- PALEOCHANNELS RELATED TO LATE QUATERNARY SEA LEVEL CHANGES IN SOUTHERN BRAZIL

Jair Weschenfelder¹; Iran C. S. Corrêa¹; Salvador Aliotta²

¹Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
CP 15001, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

²Instituto Argentino de Oceanografía, Complejo CRIBABB,
Camino Carindanga km 7, 8000, Bahía Blanca, Argentina.

1- Abstract

The geological evolution within the continental shelf and the coastal zone of the state of Rio Grande do Sul, southern Brazil, during the Quaternary period is addressed herein. High-resolution seismic profiles (3.5 and 7 kHz) obtained at the Patos Lagoon reveal the presence of innumerable channels that deeply dissected the coastal zone before the installation of the actual, low-relief, monotonous and gently undulating coastal plain. Based mainly on seismic records and radiocarbon age, two periods of channel incision were inferred. The paleodrainage paths mapped from the seismic profiles were connected with those recognized by previous studies in the adjacent continental shelf and slope. Upstream, the drainage incised mainly into the coastal prism deposited during previous sea level highstand events. The paleodrainage network recognized on the coastal plain and continental shelf represents a river-shelf system, linking the drainage basin to the depositional settings on the marginal basin, bypassing the continental shelf exposed during a forced regression event. The drainage incised into the continental shelf and coastal plain of Rio Grande do Sul may have played an important role on the basin-margin architecture, facies distribution and accommodation during the Quaternary sea level up and down events.

2- Introduction

The decisive influence of sea level variations on the geological evolution of the worldwide marginal basins has long been recognized. The present basin margin morphologies and architectures are mainly the result of a series of glacial-interglacial cycles (Meijer, 2002).

The sedimentary systems situated along the southern Brazilian marginal basins have been strongly affected by sea level rise and down cycles. The present physiography of the coastal plain and continental shelf is mainly the result of Quaternary high-frequency, glacio-eustatic, sea level changes.

Several studies suggest that the Quaternary evolution of the coastal plain and adjacent continental shelf of Rio Grande do Sul (RS) is mainly controlled by the sea level (Corrêa, 1986, 1995, 1996; Corrêa and Villwock, 1996; Dillenburg et al., 2004; Martins et al., 1985, 1996; Tomazelli and Villwock, 2000; Villwock and Tomazelli, 1995; Villwock et al., 1986).

During an event of relative fall in the sea level the channels or valleys formed by fluvial systems extend their limits basinward, advancing the exposed shelf and eroding into underlying strata. The exposed shelf (the “newly formed coastal plain”), usually composed by unconsolidated sediments, is incised by valleys linking the drainage basin on land to the depositional settings on the marginal basin. The coastal prism deposited during a previous sea level highstand event is usually deeply dissected.

Tracking the spatial distribution of the paleodrainage network and the unconformities produced by such erosional process during a sea level fall event is useful to improve the current models of sequence stratigraphy proposed for margin-shelf settings.

In this paper the paleodrainage systems are mapped in the coastal plain and continental shelf of RS (Fig. 25). The former drainage systems are reconstructed mainly from the paleoincisions observed in high-resolution seismic data. Timing of the incision of the paleodrainage networks is discussed. The geological evolution of the coastal plain and continental shelf of RS during the Quaternary is also addressed.

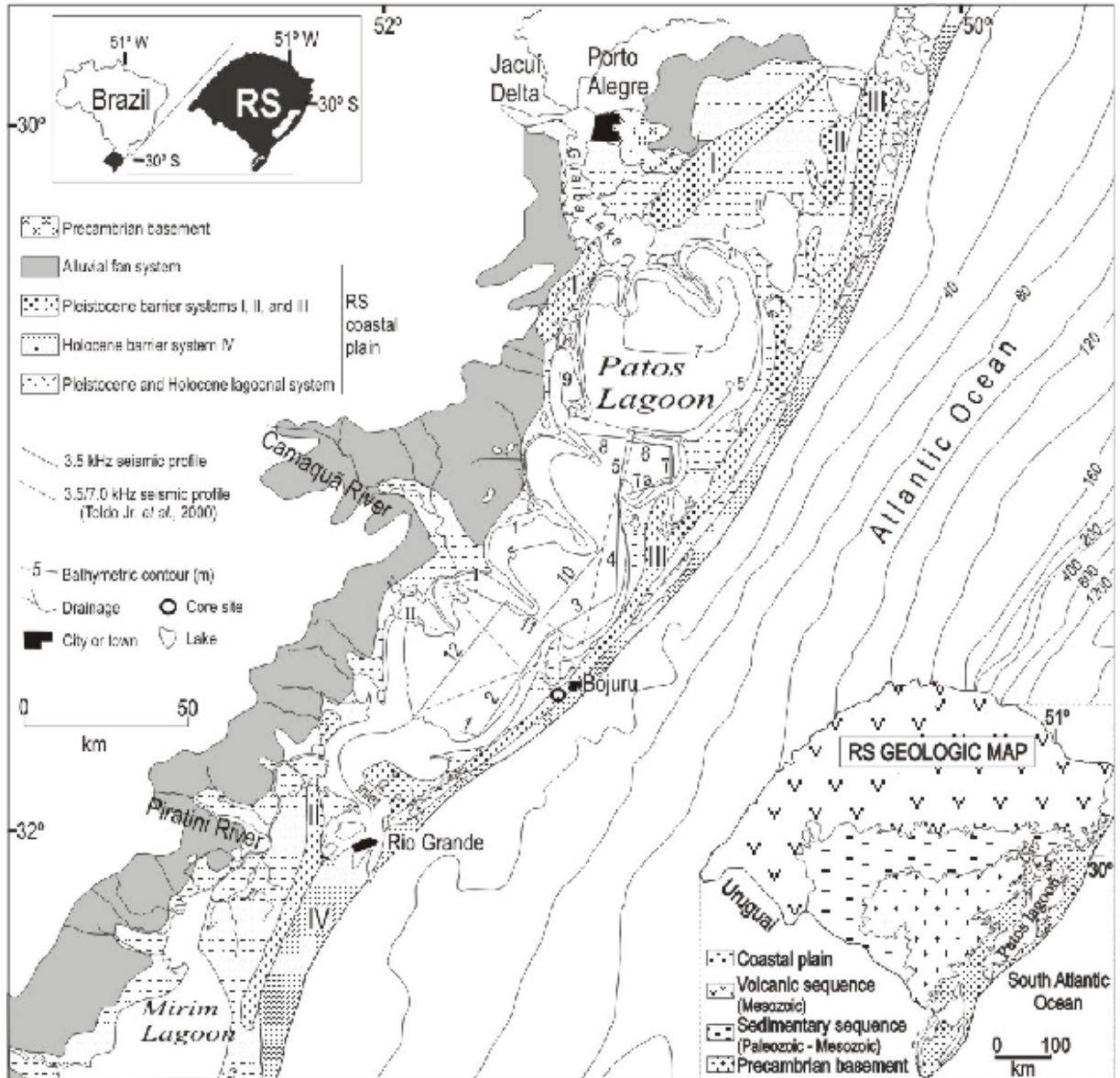


Figure 25. Location map of the study area, showing the seismic profiles analyzed. RS geological map modified from Villwock et al. (1986). Coastal plain geology modified from Tomazelli and Villwock (2000). Bathymetric contours from Corrêa (1996) and Toldo et al. (2000).

3- GEOLOGICAL OUTLINE

The coastal plain of RS represents the upper part of the Pelotas basin. Four lagoon-barrier type depositional systems have been recognized at the RS coastal plain, which are related to transgressive-regressive events of the Upper Quaternary period (Tomazelli and Villwock, 1992, 2000; Villwock, 1984; Villwock and Tomazelli, 1995; Villwock et al., 1986). A correlation between the sea level highstands and major peaks of the oxygen isotope curve was established by Villwock and Tomazelli (1995). Seismic data of the upper slope of the Pelotas basin indicate a sedimentary package more than 10 km thick (Fontana, 1990).

The eight evolutionary stages described hereafter were proposed by Suguio and Martin (1987) for the coastal plains of southeastern and southern Brazil.

Stage I– Maximum Pliocene regression - the sea was at least 100 m below the present level. A great part of the adjacent shelf was probably covered by continental deltaic sediments deposited under semiarid conditions.

Stage II– Transgressions and regressions of the Lower Pleistocene - represented on the RS coastal plain by only a sand strip overlying an elevation of the crystalline basement.

Stage III– Transgressions and regressions of the Middle Pleistocene - responsible for the formation of the barrier island that isolates the Mirim Lagoon from the coast, and of a spit which began isolating the Patos Lagoon from the ocean. Sand and marine gravel at approximately 13 m above the present sea level, as well as linear “dead” cliffs, may be related to this event.

Stage IV– Transgressions and regressions of the Upper Pleistocene - sandy marine terraces, up to 10 m high and corresponding to this phase, are very well preserved throughout the coast.

Stage V– The Holocene transgression - the Holocene transgression flooded the wide Pleistocene coastal plain and formed the main features found on the present shelf.

Stage VI– Maximum of the Holocene transgression - sea level rise during the last transgression drowned previously existing rivers, transforming them into estuaries, flooded the margins of the lagoons, eroded old marine terraces and formed barrier islands which isolated several lagoon systems along the coast.

Stage VII– Buildup of intra-lagoonal deltas - deltas were formed in the lagoons of the previous transgression.

Stage VIII– Buildup of Holocene marine terraces – a slow sea level lowering after the transgressive maximum at around 5 ky BP led to the formation of marine terraces, based on the original barrier island. It resulted in coastline progradation, usually in the form of regressive beach ridges.

Although several transgressive and regressive events left their distinct topographic, depositional, erosional and sedimentary imprint, the present morphology of the RS continental shelf is in general homogeneous (Corrêa and Villwock, 1996). It is characterized by a smooth morphology with a very gentle gradient (1.3–1.4 m/km) and an average width of 125 km. The northern section is narrow and homogeneous, while the southern section is wider and gentle dissected. The usually smooth shelf morphology is interrupted, mainly in the south portion, by

sand bodies such as sand waves. Associated with these sand bodies are elongated biotrital deposits which have been interpreted as paleoshoreline indicators (Corrêa, 1996; Corrêa and Villwock, 1996). The presence of marine terraces with considerably steeper slopes throughout the shelf has been interpreted as a record of periods of stabilization in the sea level during the last transgressive event (Corrêa and Villwock, 1996).

Five marine terraces have been mapped at following depths: 20–25, 32–45, 60–70, 80–90, and 120–130 m (Corrêa, 1986, 1996; Corrêa et al., 1989). It is believed that these terraces originated in the Holocene transgression, which was interrupted by several minor regressive events (Urien and Martins, 1979). They suggest a temporary, high-energy depositional environment typical of a sea level stillstand.

The Holocene transgression began approximately 17.5 ky BP, when the sea was 120 m lower than the present level (Corrêa, 1986). Before this event, the present inner shelf surface was subaerial and subject to erosion and to fluvial incision. Beach ridges consisting of coarse sands were formed along the paleocoastline, fine sands were deposited on the inner shelf, while clays and clayey sands dominated the outer shelf and the upper slope (Urien and Martins, 1979). Around 5 ky BP, the sea was 5-6 m above the present level. During this phase, the drainage channels were displaced landwards, depositing fine sediments in deeper waters while reworking transgressive sands in the coastal zone. Paleocoastline stabilization is marked by bioclastic gravels and heavy mineral concentrations.

Nowadays the coastal plain of RS is characterized by wide lowlands covering an area around 33,000 sq km, bordering with highlands to the west. The Patos Lagoon, with its 240 km, runs from NE to SW. On average it is 40 km wide and 6 m deep, and shows tidal amplitude of 0.45 m. It covers approximately 10,000 sq km. The lagoonal deposits consist of marginal sands and muddy sediments (up to 6 m thick) at the bottom of the lagoon (Toldo et al., 2000). The lagoon receives an enormous river discharge and leads it to the Atlantic Ocean through a single inlet near the city of Rio Grande.

4- Methods

This work is primarily based on the analysis of continuous seismic reflection profiles obtained at the Patos Lagoon. The study focuses on the identification and mapping of the former drainage network that has dissected the area of study. The geological framework

established up to now for the coastal and marine geology of southern Brazil helps to achieve some goals set in this study.

A 3.5 kHz seismic-reflection data survey was performed in the Patos Lagoon (Fig. 25; seismic sections 1 to 12) in December, 2002. The cruise was carried out aboard the research vessel *LARUS* of the Fundação Universidade do Rio Grande (FURG). The positioning of the seismic lines was determined by a DGPS system (WGS 84) linked to the subbottom profiler system. The seismic equipment used was a GeoAcoustics subbottom profiler, consisting of a GeoPulse transmitter (model 5430A), a GeoPulse receiver (model 5210A), a 132B transducer array (4 mount), a graphic recorder EPC-GSP-1086, a GeoPro processor system, and seismic data 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 side. The set of data was saved in analogical and digital formats.

Further, seismic sections (3.5 and 7 kHz) obtained at the Patos Lagoon during a research cruise sponsored by OSNLR/COMEMIR program (Toldo et al., 2000) were analyzed (Fig. 25; dashed line seismic sections). The data survey was performed using a shallow seismic system RTT 1000, from Raytheon, consisting of a 719 C RTT recorder, a 3.5/7 kHz transducer, and a PTR 106 C transceiver.

The interpretation of the seismic data was based on the configuration of the reflectors, according to the general concepts established by the Seismic Stratigraphy (Mitchum et al., 1977). We assumed an assumed sound speed of 1,650 m/s to evaluate the thickness of the sedimentary packages by converting travel times into meters.

To improve our considerations we took into account geochronological, sedimentological and paleontological data from a 25.2 m long core, drilled near the town of Bojuru (Fig. 25). This data comprise radiocarbon ages and results from the study of palynomorphs and diatoms. These data were considered by our research team in a study about the Holocene paleoenvironment of the Bojuru region (Weschenfelder et al., 2004).

The Morphostructural Synthesis Map of the continental shelf of RS (Corrêa, 1996) is useful in the morphological analysis. According to Corrêa (1996), the map was prepared by using cartographic techniques applied to morphostructural interpretation whose methodology highlights any kind of geological phenomenon. It is a complement to the morphological analysis of areas where the geophysical information is sparse.

5- Results

The analysis of the seismic profiles reveals the architectural elements that make up the sedimentary pile deposited in the Patos Lagoon during the Upper Quaternary. These elements are identified basically through the configurations of the reflectors, namely external geometry, lateral termination, and internal configuration.

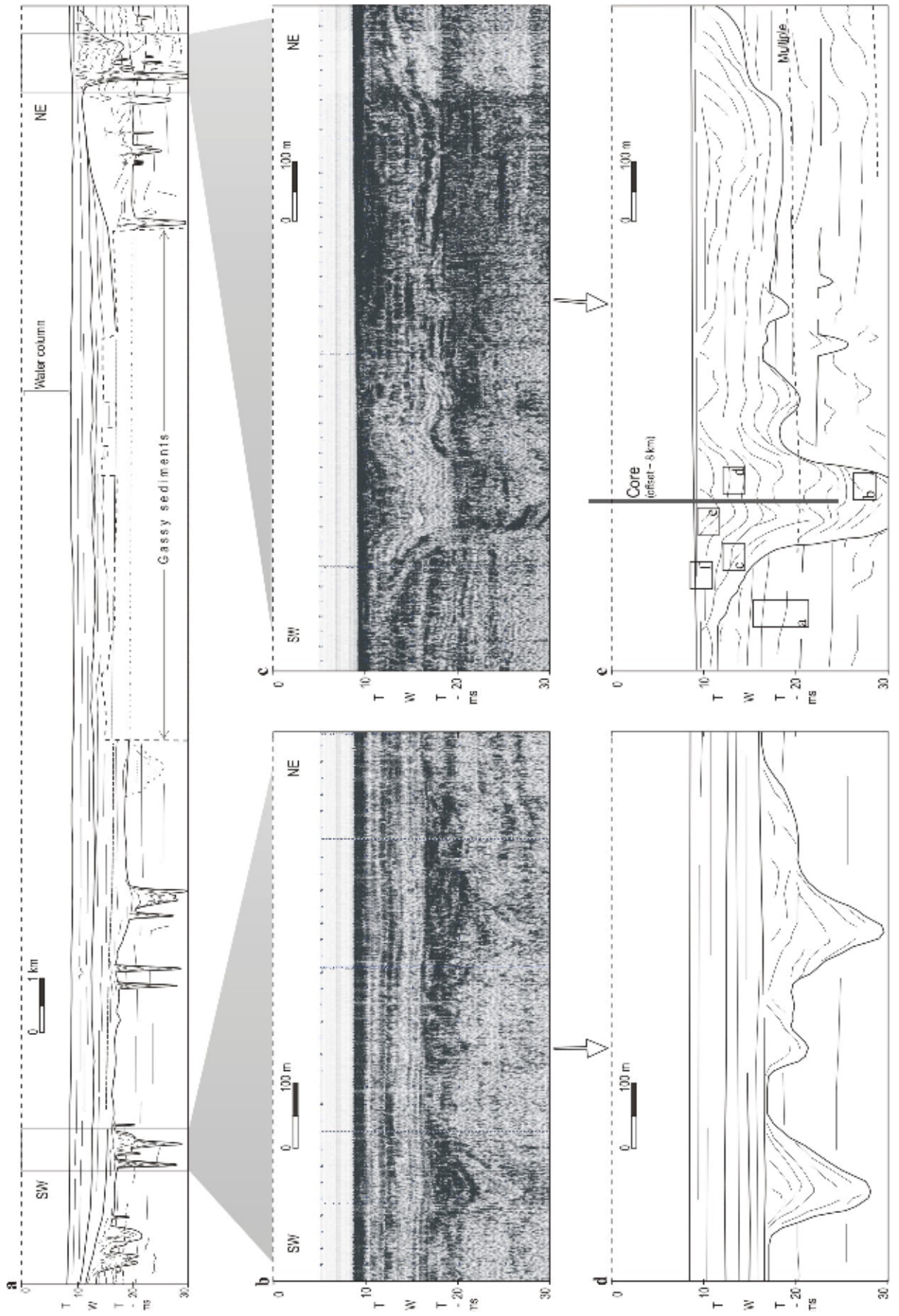
Well delineated paleochannels or others features indicating their occurrence were identified in almost all the seismic profiles analyzed. However, the records of the 3.5 kHz seismic profiles 1 to 12 (Fig. 25) provided a better resolution and deeper penetration than the 3.5 and 7 kHz sections obtained previously (dashed line seismic section in figure 25).

Systematic mapping of the seismic surfaces makes clear the presence of two distinct, well-marked paleochannel systems. One paleochannel system (“the first system”) is buried by a sedimentary unit up to 8 m thick (Fig. 26b, d), whereas the other paleochannel system (“the second system”) is blanked by only a centimeter-thin layer of sediments (Fig. 26c, e; Fig. 27). The seismic reflectors of this so-called first channel system are cut by the reflectors of the second system, indicating the relative timing of incision, i.e., the channel incision of the first system is older (Fig. 26a). The uppermost reflectors of the fill seismic facies of the younger channel system are truncated by reflectors attributed to the lagoon bottom (Fig. 26).

Profile 2 is about 38 km long and was obtained roughly parallel to the eastern border of the Patos Lagoon, in a southwest-to-northeast direction. The water depths along the profile are around 6 m, except at the southwest and northeast ends of the profile where the water depths decrease to around 5 m due to the proximity of the lagoonal margin.

Various buried channels of the older system are present throughout profile 2 (Fig. 26a). They are some hundred meters wide and the sedimentary filling reaches up to 15 m thickness. The channel morphology is marked by seismic facies units filling a negative relief in the underlying strata. The underlying reflections are mainly parallel to subparallel, continuous to discontinuous, showing truncation along the basal surface of the channels. The upper reflectors of the seismic facies filling up these paleochannels are truncated by a well-marked, strong and continuous reflector of the overlying strata. The overlying strata are composed by continuous, parallel to subparallel, gently dipping reflectors (Fig. 26b, d).

Figure 26. (**Próxima página**) Main seismic reflectors mapped from profile 2 (a). Selected section from profile 2 (b and c), showing main seismic reflectors (d and e). Insets a to f indicate sectors mentioned in the text. Depths to water surface in two-way traveltime (twt), in milliseconds (ms).



The largest paleochannel occurring in profile 2 is about 1.5 km wide and the sedimentary filling is at least 20 m thick (Fig. 26c, e). This large channel is included in the younger group of channels. The channel morphology is characterized by seismic facies filling a negative relief. The underlying strata are mainly composed by seismic facies with parallel and subparallel, continuous to discontinuous reflectors (Fig. 26e, inset a). Truncation of the seismic reflectors marks the basal surface of the channel. The lowermost channel fill seismic facies presents dipping reflectors throughout the entire channel. Discontinuous, weak and strong reflectors delineate mounded onlap, prograded, and complex fill patterns onlapping the underlying unconformity (Fig. 26e, inset b). A laminated to acoustically transparent seismic facies delineates a mounded onlap pattern (Fig. 26e, inset c). The seismic facies of the inset d and e are similar. However, the upper fill seismic facies unit presents more undulating, stronger to opaque, reflection (Fig. 26e, insets d and e). The uppermost seismic facies unit is marked by acoustically laminated deposits onlapping the underlying unit at a very low angle. The reflectors are continuous, parallel to semiparallel, dipping gently to the lagoon interior. In some places the upper reflectors are truncated by the lagoon bottom reflector (Fig. 26e, inset f). As indicated by the aforementioned radiocarbon dating, the main period of sedimentary filling of this channel is Holocene.

Profile 7 (N-S) reaches over 10 km long. It was obtained along the eastern lagoon margin, in a north-to-south direction. The water along the profile is around 5 m deep except to the south end of the profile, where the ship crossed over a lagoon terrace located around 2 m water deep. Innumerable paleochannels were mapped in this seismic line. The base of the channels is delineated by a strong reflector truncating the reflectors of the underlying strata (Fig. 27a, b).

The most prominent paleochannel is more than 2 km wide and the sedimentary filling is at least 20 m thick (Fig. 27a, b). This large paleochannel is adjacent to another one of the same magnitude, located at the south end of the profile. Further, various paleochannels with widths ranging from a few meters to hundreds of meters and with depths from approximately 1 to 4 m are present throughout the profile (Fig. 27b). In some places the uppermost reflectors are truncated by reflectors attributed to the lagoon bottom, similarly as found in a previously mentioned paleochannel of profile 2.

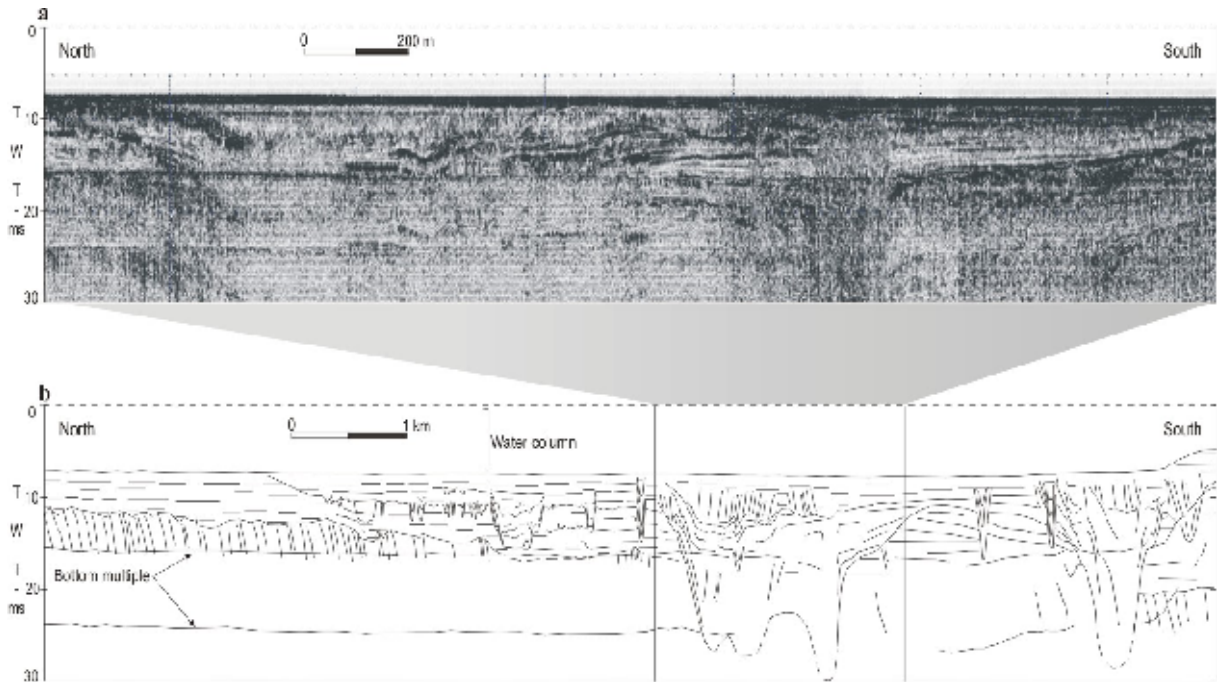


Figure 27. Representative sector of profile 7 (a) and the main seismic reflectors mapped out from the records (b). Depths to water surface in two-way traveltime (tw), in milliseconds (ms).

Profile I was obtained through the active intralagoonal delta of the Camaquã River, in a southwest-to-northeast direction. Water depths range from about 2 m at the southwest and northeast ends of the profile to up to 4 m in front of the present mouth of the Camaquã River. The southwest end of the profile reveals the presence of a wide buried channel of more than 1 km wide and up to 7 m deep. The profile showed a larger buried channel in its middle, but the presence of gassy sediments has hindered its exact delineation (Fig. 28).

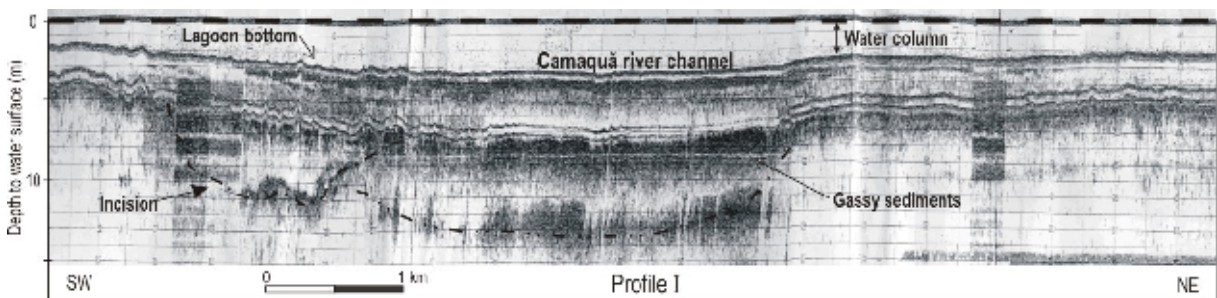


Figure 28. Profile I (7 kHz) through the Camaquã intralagoonal delta, showing the former and present course of the river. Distances to water surface in meters (m).

Profile II was also recorded on the western border of the lagoon, in a southeast-to-northwest direction. It is located about 15 km south of the present mouth of the Camaquã River. Water depths range from about 3 m at the northwest end of the profile, close to the lagoon margin, to 5 m at the southeast end of the profile. The records show a wide (up to 2

km) and deep (around 10 m) buried channel flanked by a strong, irregular and undulating, well-marked reflector. The buried channel is overlaid in the middle reaches by a thick sedimentary unit, which presents no clear evidences of channel cutting (e.g., Camaquã channel) (Fig. 29).

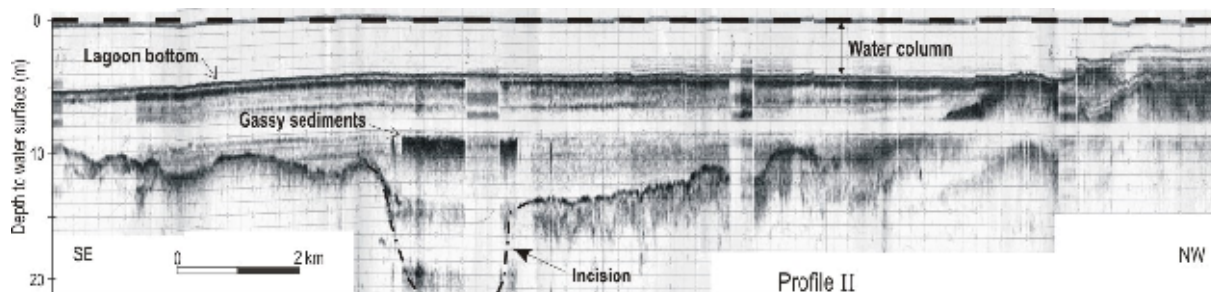


Figure 29. Profile II (7 kHz) obtained near the mouth of the Camaquã River. A wide buried channel is shown. Distances to water surface in meters (m).

It is worthwhile to mention that acoustic anomalies due to gassy sediments are present in some sectors of the seismic profiles. The gas trapped appears as a strong reflection, somewhat masking the underlying reflectors. The profiles far from the lagoon border are especially strongly affected by this acoustic phenomenon (e.g., profiles 8, 10 and 12), contrasting with those situated near the border (e.g., profiles 2, 7 and 11). Moreover, the low depths of the water column contributed to low signal penetration in some sectors, associated with the recurrent multiple reflector of the lagoon bottom.

In addition to the seismic data survey, a 25.2 m-long core was drilled at the lagoon margin near the town of Bojuru (see figure 25 for location of drilling site). Its approximate position in relation to the seismic profile 2 is shown in figure 26e, with offset of about 8 km. The absolute radiocarbon age of bulk sediments as established for a sample collected at 23.2 m deep is $9,400 \pm 140$ yr BP, and for a sample collected at 5.0 m deep is $7,370 \pm 150$ yr BP. Based on the lithology and on palynomorph and diatom data from this core, six stages on the Holocene environment development were established for the Bojuru region in a previous study conducted by our research team (Weschenfelder et al., 2004).

6- Discussion

The coastal morphology prior to a transgression event plays a decisive role on the coastal evolution and hence on the actual coastal configuration (Belknap and Kraft, 1985). The present continental shelf of RS shows a homogeneous and smooth morphology with a very

gentle gradient, broadly reflecting the regional former coastal plain topography prior to the last postglacial marine transgression (Dillenburg et al., 2000).

The preservation potential of the sedimentary records of the Holocene depositional system along the north and central coast of RS was addressed by Dillenburg (1996). The study shows to the north coast that the pre-existing morphology (i.e., Pleistocene) was deeply dissected by fluvial valleys before the last marine transgression, contrasting with evidences of a smooth and dissection-free morphology in the central coast near the town of Bojuru. The study also indicates that the shoreface depth erosion ranges from 3 to 10 m for the present RS northern coast. This value was estimated assuming a transgressing sea in a shoreface retreatment model (Reinson, 1992).

Our seismic results indicate that the central part of the Rio Grande do Sul coastal plain was deeply dissected by fluvial channels prior to transgressive events. Two paleochannel systems can be established in the area of study. One system is rather deeply buried by a sedimentary package up to around 8 m thick (e.g., fig. 26b, d). A second channel system practically crops out from the bottom of the Patos Lagoon (e.g., fig. 26c, e; fig. 27a, b). The channel filling of the younger drainage system is Holocene, as indicated by radiocarbon dating (Weschenfelder et al., 2004). The channel incisions are thus related to the last regressive event of the Late Pleistocene, when the sea level fell 120 m below the present position. Therefore, the older channel system formation and filling would be related to a previous regressive-transgressive event of the Pleistocene.

The two paleodrainage systems just mentioned (Pleistocene; Upper Pleistocene/Holocene) were mapped from the seismic records. The drainage lines were extended through the continental shelf to the shelf edge by means of morphostructural data (Corrêa, 1990, 1994; Martins et al., 1996). Landwards, the paleodrainage lines were linked with the present main river courses (Figure 30).

The Camaquã River is the main drainage mouthing on the midwestern part of the Patos Lagoon. The middle and upper courses of the main rivers reaching the coastal plain of RS (e.g., the Piratini River, the Camaquã River, and the Jacuí River) have maintained a relatively fixed position during the Quaternary. They drain a stable Precambrian basement and, from Porto Alegre northwards, Paleozoic to Mesozoic volcano-sedimentary sequences of the Paraná basin. However, the lower courses of these rivers have drained an unconsolidated sedimentary coastal plain (Fig. 25 - RS geologic map).

According to Ortiz (1995), the lower course of the Camaquã River has cut mainly into alluvial fans of the Pliocene and Pleistocene. The valley incision onset was probably during the Early Pleistocene. It was dominantly excavated since the Middle Pleistocene and especially during the 130 m sea level fall occurred during the forced regression related to the maximum of the Wisconsin Glaciation. Ortiz (1995) further established that during the transgressive episodes following the glaciations, the Camaquã incised valley was a depositional setting of sediments from coastal and continental environments, deposited in a multitude of sedimentation cycles.

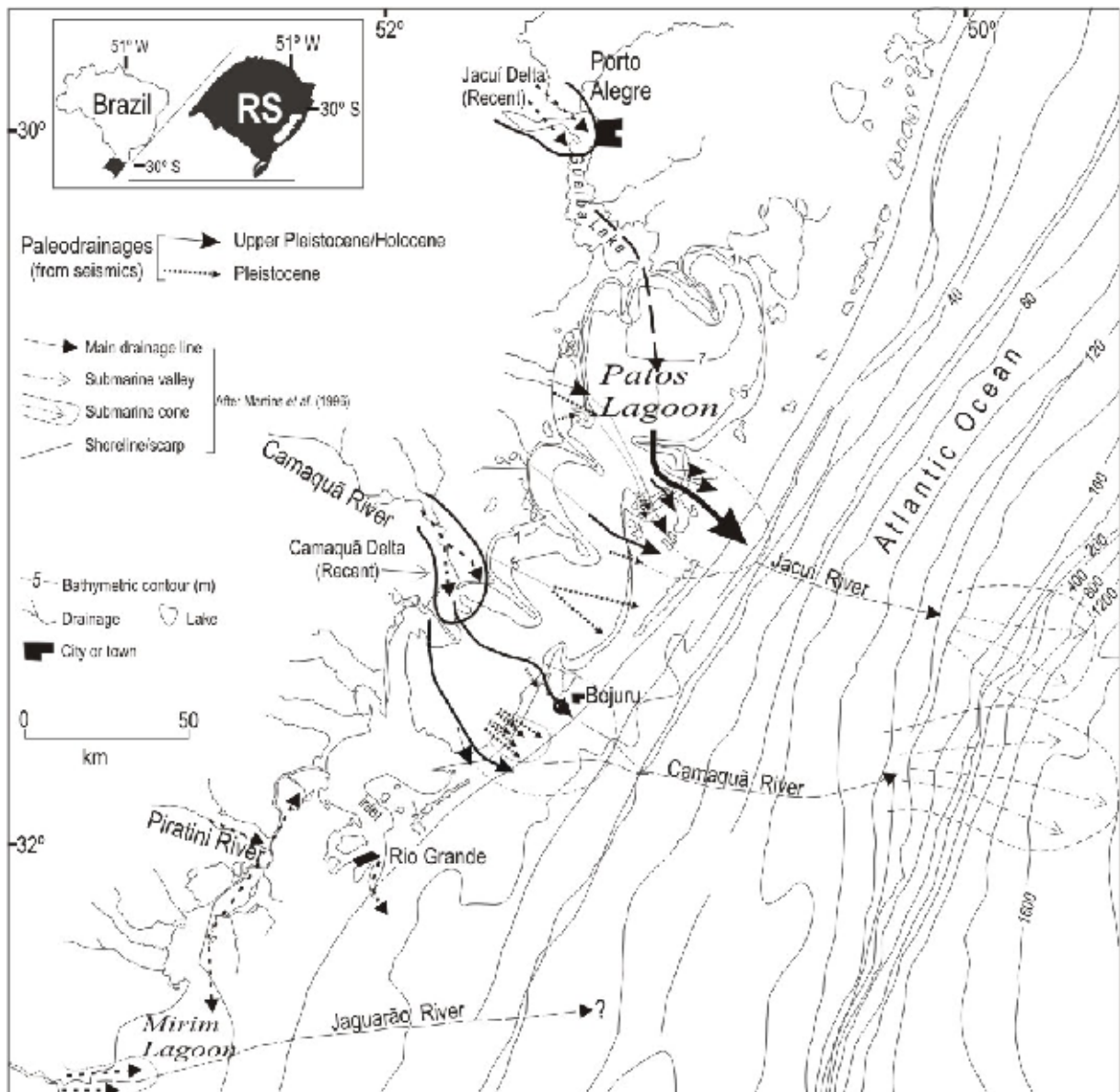


Figure 30. Paleodrainage network mapped out from the seismic records. Shelf and slope features modified from Corrêa (1990) and Martin et al. (1996).

A paleochannel inlet between the Patos Lagoon and the Atlantic Ocean was hypothesized by Toldo et al. (1991, 2000). According to this hypothesis, the narrow and shallow reentrance on the lagoon coast near Bojuru is a morphological inheritance from a Holocene inlet. Extending the axis of this reentrance into the lagoon it will intercept profile 2 just where a prominent paleoincision occurs (Fig. 26c, e). Hence, the lagoon reentrance near Bojuru most probably represents a morphological feature left from a former large channel connecting the Patos Lagoon to Atlantic Ocean. The Holocene channel filling sequence was controlled by sea level changes, climatic oscillations and to coastal barrier-inlet development (Weschenfelder et al., 2004).

Two placer deposits located backshore occur in the area of study (Munaro, 1994). The placer located between the marine coastline and the town of Bojuru, known as the Bojuru placer, has been related to ancient deltaic sediments of the Camaquã River, which were reworked by coastal processes during sea level oscillations (Dillenburg et al., 2004; Munaro, 1994). The second placer is located approximately at the same latitude where profile 1 intercepts profile 2, showing similar characteristics to the Bojuru placer.

Therefore, we have envisaged two Upper Pleistocene/Holocene paths related to the former Camaquã River. They were delineated by linking the present river course with the incisions mapped out from the seismic records and, continuing basinward, through the adjacent continental shelf (Fig. 30).

The paleochannels mapped out from profile 7 probably corresponds to the former course of the Jacuí River (Fig. 27). In profile 7 the main channels cut the entire recorded sedimentary pile, similarly to what happens with the Camaquã paleochannel in profile 2 (Fig. 26c, e). The smaller incisions occurring in profile 2 and 7, usually cutting only the uppermost strata, could be tributaries of the main river courses or independent smaller drainage courses.

The Camaquã River and de Jacuí River excavated deep and wide incisions in the coastal plain triggered by the last forced regression event (Wisconsin Glaciation). These valleys probably represented an important river-shelf bypassing system, linking the drainage basin to the west with the depositional settings to the east.

In general terms, the coastal plain of RS and the adjacent exposed continental shelf were deeply dissected before the transgressive events. The paleovalleys of the rivers that dissected the shelf before the transgressive events can be linked through the coastal plain to the present river network inland. The paleodrainage map of figure 30 represents former river-shelf

systems, linking the drainage basin inland to the depositional settings on the Pelotas marginal basin.

The bypassing discharge of the younger drainage system (Upper Pleistocene/Holocene in figure 30) fed a complex of delta systems installed on the shelf edge of RS during the sea level lowstand that lasted until the end of the last glaciation at around 17.5 ka (Angulo and Lessa, 1997; Corrêa, 1990; Dillenburg et al., 2004). The last transgressive post-glacial event drowned the Pleistocene incised valleys, infilling it and, finally, closing the inlets formerly existing between the Patos Lagoon and the Atlantic Ocean. The contours of the Patos Lagoon are established and there remains a single inlet to the south. Presently, the lagoon captures an enormous river discharge and conducts it to the ocean through a huge inlet near the city of Rio Grande.

Acoustic anomalies in some profiles reveal the presence of gas trapped in the sedimentary package. The phenomenon of acoustic turbidity occurs in some profiles, where the gas trapped leads to a strong reflection that, in some parts, masks the underlying reflectors. This phenomenon is caused by the diffusion of the acoustic energy in the gas bubbles trapped in the sediment (Hart and Hamilton, 1993). Gas brightening is another kind anomaly of the acoustic signal observed in the seismic profiles, caused by the increasing contrast between zones with and without gas (Hart and Hamilton, 1993). Acoustic blanking anomalies, where the reflections under gas horizons are weak or absent (Judd and Hovland, 1992), were also observed in some profiles. The intensity of the seismic signal reflection can be related to the concentration of gas bubbles in the sediment (Aliotta et al., 2002). An abrupt and lateral discontinuity of some gas horizons may either indicate an absence of organic matter or of trapping strata (Costa and Figueiredo, 1998; Figueiredo et al. 1996).

7- Conclusions

The continuous seismic-reflection profiles, obtained at the Patos Lagoon, allow recognizing the shallow architectural elements that build up the sedimentary pile accumulated on the Rio Grande do Sul coastal plain.

Incision networks deeply dissected the coastal plain and the continental shelf before installation of the subsequent post-glacial transgressive events. The paleodrainage networks represented river-shelf systems, linking the drainage basin inland and the depositional

setting on the Pelotas marginal basin, bypassing the continental shelf exposed by forced regression events.

The two drainage systems identified through the seismic records were formed during two distinct periods. The sedimentary filling of the most recent system is Holocene, as indicated by the absolute radiocarbon dating. Its incision is related to the last forced regression of the end of the Pleistocene period. The incision and the filling of the older channel system are most probably related to a previous transgression-regression event of the Middle/Upper Pleistocene.

The drainage network incised into the Rio Grande do Sul coastal plain and adjacent continental shelf played an important role in the basin-margin architecture, the facies distribution and the accommodation space during the Quaternary.

**VII- SHALLOW GAS ACCUMULATIONS IN
THE SEDIMENTS OF THE PATOS LAGOON AREA,
SOUTHERN BRAZIL**

(Artigo submetido aos Anais da Academia Brasileira de Ciências)

De: "Isa Maioli" <imaioli@abc.org.br>

PARA: <Jair.Weschenfelder@ufrgs.br>

Assunto: Ms No ANA-040/05

Data: segunda-feira, 4 de abril de 2005 13:35

Shallow Gas Accumulations in the Sediments of the patos Lagoon Area, Southern Brazil.

Prezado Dr. Weschenfelder

Comunico o recebimento do Manuscrito em referência. Outras informações serão dadas oportunamente.

Atenciosamente,

I.P. Maioli

Editorial Assistant

Anais da Academia Brasileira de Ciências

e-mail: imaioli@abc.org.br

<http://www.abc.org.br>

Fax: (55) 21-3212-2404

VII– SHALLOW GAS ACCUMULATIONS IN THE SEDIMENTS OF THE PATOS LAGOON AREA, SOUTHERN BRAZIL

Jair Weschenfelder¹, Iran C. S. Corrêa¹, Salvador Aliotta², Carla M. Pereira¹, Vinicius E. B. de Vasconcellos¹

¹Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
CP 15001, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

²Instituto Argentino de Oceanografía, Complejo CRIBABB,
Camino Carindanga km 7, 8000, Bahia Blanca, Argentina.

1- ABSTRACT

Seismic survey was conducted in the Patos Lagoon, southern Brazil, aboard of the research vessel LARUS of the Fundação Universidade do Rio Grande. Around 400 km of 3.5 kHz seismic profiles were collected, which provided a rather good penetration depth and resolution of the acoustic signal. Acoustic anomalies detected in the form of anomalous seismic responses reveal that gas-charged sediments are common in several areas of the lagoon. The gas within the sediments leads to a widespread acoustic masking in some sectors of the records, hiding the sedimentary structure below the gassy horizons. In the zones where the gas does not appear to be present, acoustic windows allow a good resolution of the records. ‘Acoustic turbidity’ is a common anomaly, associated with other acoustic phenomena like ‘gas brightening’ and ‘acoustic blanking’. Based on the characteristic of the acoustic anomalies it was possible to recognize sectors with ‘pocket gas’ and sectors with ‘acoustic turbid zones’. The main gas accumulations occur in areas of former topographic lows. These topographic lows are related to fluvial courses that dissected the southern Brazil coastal plain during the regressive events of the Quaternary period, been filled on the course of the subsequent related transgressive event.

2- INTRODUCTION

High-frequency seismic prospecting conducted during the last decades has allowed locating gas concentrations in shallow sedimentary sequences in sub-aquatic settings. The presence of gas in bottom sediments is evidenced in the seismic data records by the anomalous acoustic response produced by gas disseminated in the sedimentary package.

Gas in the sedimentary package has been detected in several coastal environments around the world (Garcia-Garcia et al. 1999; Kariiddaiah et al. 1992; Manley and Flood 1989; Papatheodorou et al. 1993; Park et al. 1991; Taylor et al. 2000). In the South American Atlantic coast, and particularly in Argentina, gassy sediments have been reported in the Rio de La Plata estuary (Parker and Paterlini 1990), in the inner section of the San Matias Gulf (Aliotta et al. 2000) and in the Bahía Blanca estuary (Aliotta et al. 2002). In Brazil, the presence of gas in sediments has been detected mainly by acoustic anomalies identified in seismic data records. Gas occurrences have been reported in deep marine regions, such as the Amazonas Continental Shelf (Costa et al. 1998; Figueiredo et al. 1996) as well as in protected coastal settings, such as the Guanabara Bay in the state of Rio de Janeiro, southeast Brazil (Baptista Neto et al. 1996; Quaresma et al. 2000).

The detection through high-resolution (3.5 kHz) seismic profiles of abundant shallow gas in quaternary sediments in the Patos Lagoon area is unprecedented. The main purpose of this study is to identify and show these gas occurrences, providing new elements to studies on the geological evolution of the coastal plain of the state of Rio Grande do Sul (RS), southern Brazil, as well as of analog environments elsewhere.

3- AREA OF STUDY

The area of this study is located in the central part of the coastal zone of the state of Rio Grande do Sul (RS), in south Brazil. The coastal plain of RS represents the upper part of the Pelotas marginal basin and is characterized by wide lowlands covering an area of around 33,000 sq km, bordering with highlands to the west and with the Atlantic Ocean to the east. It is one of the widest coastal plains of the world (Fig. 1).

The coastal plain of RS comprises the juxtaposition of depositional systems formed by processes related to sea-level up and down events. Four lagoon-barrier type depositional

systems have been recognized in this coastal plain, which are related to transgressive-regressive events of the Upper Quaternary period (Villwock et al. 1986).

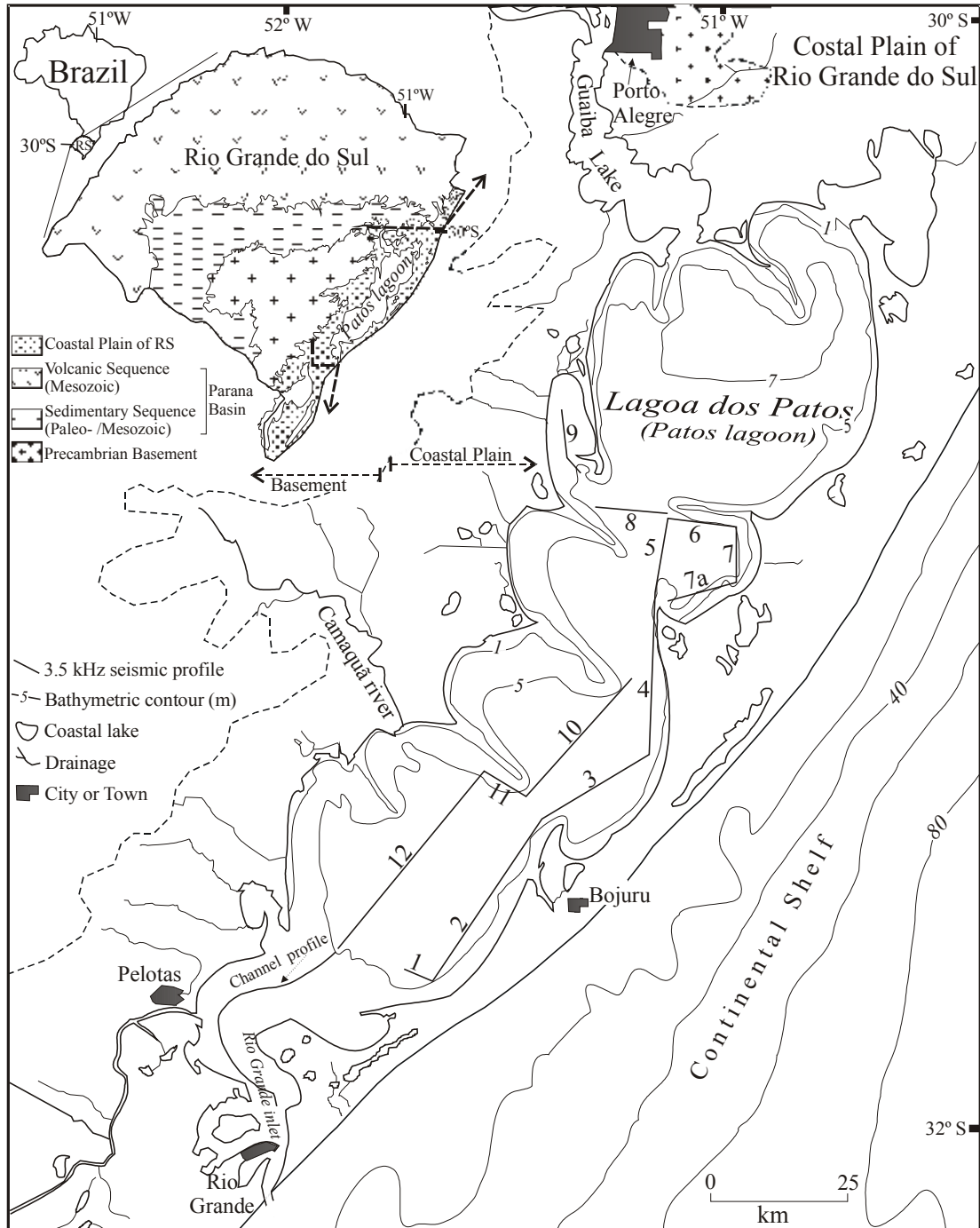


Figure 31. Location map of the area of study and position of the 3.5 kHz seismic profiles mapped in the Patos Lagoon.

The Patos lagoon, with its approximately 10,000 sq km, is one of the most marked features in the physiography of the coastal plain of RS. The lagoon is 240 km long (NE-SW) and has an average width of 40 km. The lagoon receives an enormous river discharge from a

huge drainage area and leads it to the Atlantic Ocean through a single inlet - the Rio Grande Channel - located near the city of Rio Grande, at the southernmost part of the lagoon.

A study on sedimentation, wave pattern and dynamics in the Patos Lagoon was presented by Toldo (1994) and Toldo et al. (2000). According to these two works, the lagoon is a large and shallow (average depth 6 m) coastal water body, not much influenced by the astronomic tides (< 45 cm) and protected from an environment dominated by waves of the nearby ocean. A marked characteristic are sandy spits fixed to the lagoonal margin protruding several kilometers into the lagoon. Moreover, Toldo (1994) and Toldo et al. (2000) based on several morphological and sedimentological criteria established two distinct areas to the Patos Lagoon: the first area is formed by the sandy margins of the lagoon, while the second consists of flat and muddy area of lagoon interior. Depths ranging between 5 and 6 m separate both areas. The muddy area takes up approximately 40% of the lagoon. The bottom and margins of the lagoon are subject to the influence of the waves, which may reach up to 1.6 m high.

Sedimentary processes related to Upper Quaternary sea level up and downs are amongst the main formation and individuation agents of the vast Patos Lagoon. The sedimentary deposits delimiting the Patos Lagoon have been related to the lagoon-barrier type depositional systems recognized in the area.

4- METHODOLOGY OF SEISMIC DATA ACQUISITION

Approximately 400 km of high-resolution (3.5 kHz) seismic profiles were recorded inside the Patos Lagoon (Fig. 1), a task performed on board of the LARUS, the research vessel of the Fundação Universidade de Rio Grande (FURG). The positioning of the ship route and of the seismic profiles was determined by a DGPS system.

The seismic data were obtained with a *GeoAcoustics* subbottom profiler system, operating at 3.5 kHz frequency, and consisting of a *Geopulse* 5430A transmitter, a *Geopulse* 5210A receiver, a *Geopulse* 132B 4-mount transducer array, an EPC GSP 1086 graphic recorder, a *GeoPro* processor system, and a *Sonarwiz* seismic data acquisition software. The transducer was mounted on the outer side of the hull of the LARUS and it served simultaneously as sender and receiver of the acoustic signal. The seismic dataset was saved in analogical and SEG-Y digital formats. The profiles are presented with depths to water surface

in two-way traveltime, in milliseconds (ms). An average presumed acoustic velocity of 1650 m/s was used to calculate the thickness of the sedimentary packages.

5- RESULTS

The presence of gas in the sedimentary sequence produces anomalous acoustic responses in the seismic data records, and it allowed the identification and mapping of shallow gas accumulations in the Patos Lagoon area. Acoustic anomalies caused by gas-charged sediments are usual in the 3.5 kHz continuous seismic reflection profiles considered in this study.

5.1- Types of gas occurrences

The characteristics of the anomalous seismic configurations allowed the identification of two types of gas occurrences in the Lagoa dos Patos area: **pocket gas** and **acoustic turbid zone**. Depending on the gas concentration in the sediments, there may be some gradation between both types or even a gradual or sudden change to sections apparently **without gas**.

Pocket gas – type of gas accumulation easily identified in seismic records through a typical morphology of ‘gas curtains’, usually beneath a high-amplitude, well-marked, top reflector (Fig. 2b). The high-amplitude reflectors that occur at the top of pocket gas package are phase reversed in relation to the reflectors attributed to the lagoon bottom, due to the change of acoustic impedance - from positive to negative - between the denser medium without gas and the less dense medium with gas. The acoustic response below the strong top reflector is usually chaotic, masking the sedimentary structures underlying the top of the pocket gas occurrence due to dispersion or the acoustic signal traveling through the gassy medium. Sideways, the strong top reflector is sometimes interrupted rather suddenly due to the presence of sections with very little gas or no gas at all, allowing the penetration of the acoustic signal, thus forming ‘acoustic windows’. When several acoustic windows are present in the seismic records one can establish the lateral continuity of the seismic reflectors, as well as the internal structure of the sedimentary units (Fig. 2, b and c).

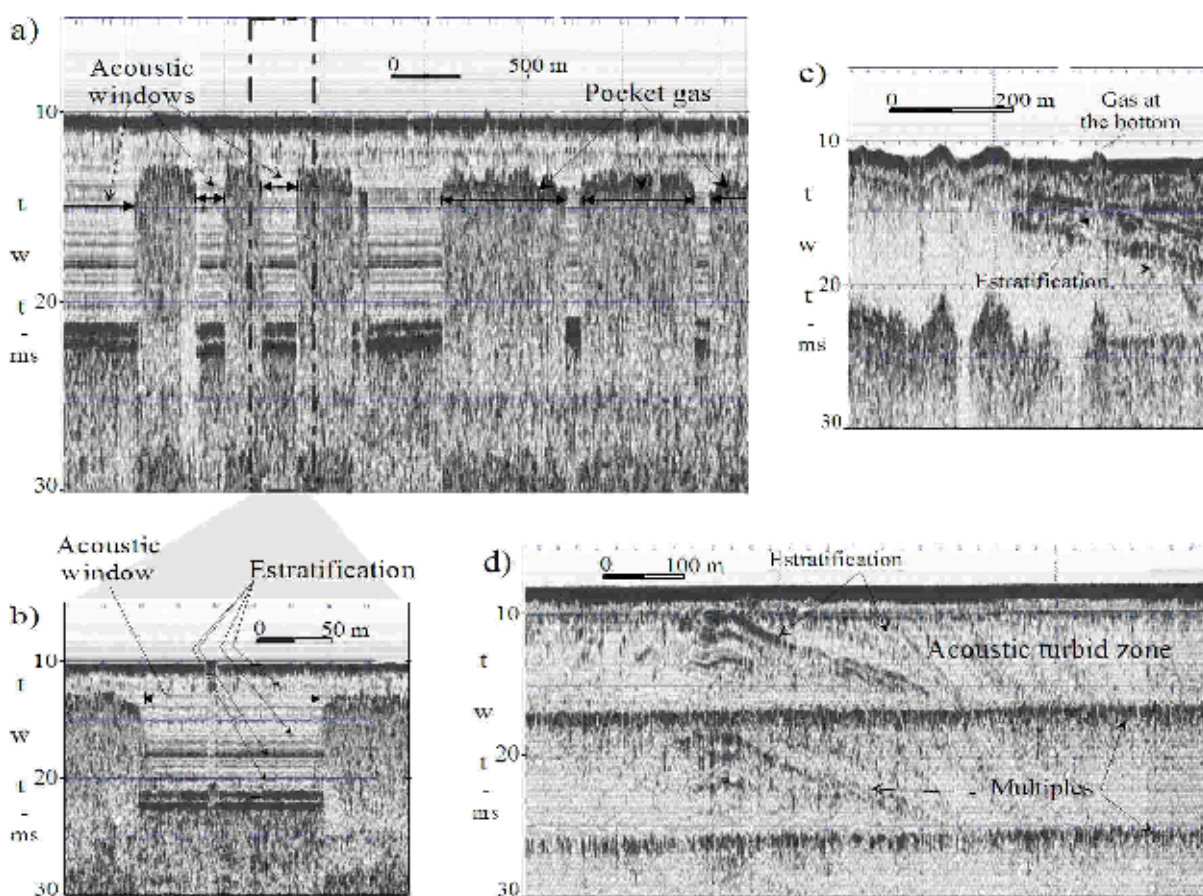


Figure 32. Types and characteristics of the acoustic anomalies present in the seismic records. Depths to water surface in two-way traveltime, in milliseconds (ms).

Pocket gas accumulations may reach from a few meters to several kilometers laterally. These accumulations usually show a well defined morphology, in the form of ‘boxes’ of anomalous seismic reflection with an upper surface well marked by a strong, relatively continuous, horizontal or gently dipping top reflector (Figs. 2; a, b and 3). The gas pockets are usually interspersed with acoustic windows of various sizes, ranging, sideways, from a few meters to several kilometers.

Acoustic turbid zone – type of gas accumulation in which the acoustic anomaly is characterized by a more irregular and less marked top reflector than in zones with pocket gas. The acoustic signal gradually weakens while progressing, thus allowing higher penetration and diffusion of the energy. It forms therefore zones of acoustic turbid responses in seismic data records (Fig. 2, a). The seismic reflectors underlying the top of the gas accumulation are not entirely hidden, allowing the identification and mapping of the sedimentary structures occurring beneath top reflector (Fig. 2, d and e).

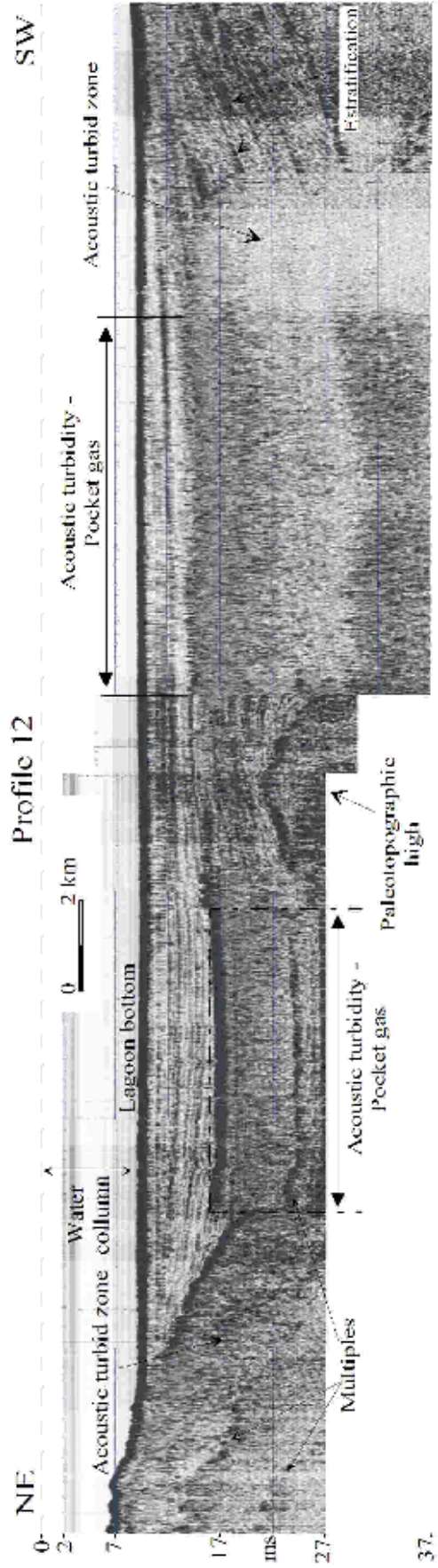


Figure 33. Linkage of the gas occurrences to areas of paleotopographic lows in profile 12. Depths to water surface in two-way traveltime, in milliseconds (ms).

Similarly to pocket gas, acoustic turbid zones can also range from a few meters to several kilometers sideways. The upper surfaces of these gas accumulations are diffuse, sometimes reaching the bottom of the lagoon (Fig. 2d). The gradual transition from this kind of accumulation to another, to pocket gas or to zones without gas, can be observed in some sections of the seismic records (Fig. 3).

5.2- Distribution of shallow gas in the Patos Lagoon

Acoustic anomalies caused by the presence of gas have been identified in all seismic profiles of the Patos Lagoon. In general, the seismic zones more inwards the lagoon show more sections with anomalous reflections (*e.g.*, profiles 3, 5, 10 and 12), in contrast with those located near the lagoonal margin (*e.g.*, profiles 1, 2, 6 and 7). The identification and mapping of the architectural elements of the substrate of the Patos Lagoon can be performed in those sections of the seismic records not affected by the presence of gas, in areas where the presence of gas does not entirely hide the subbottom sedimentary structures, as well as in the many and wide acoustic windows usually occurring interspersed with pocket gas and/or turbid zone accumulations types.

Pocket gas occurs mainly more inwards the lagoonal body, usually where the configuration of the seismic reflectors indicates topographic depressions, channels and/or valleys in the original deposition setting. The two big gas accumulations seen in profile 12 occur into two paleovalleys, which are separated by a paleotopographic high delineated by strong seismic reflectors (Fig. 3). The pocket gas located near the northeastern tip of profile 12, in front of the present mouth of the Camaquã River, is well-defined, has the morphology of a big, continuous and sideways about 10 km wide ‘gas box’. A strong and slightly gentle inclined reflector, dipping to the lagoon interior, marks the upper surface of this pocket gas accumulation.

Acoustic turbid zones occur in several of the seismic profiles mapped. It is a gas accumulation usual at the border of pocket gas, at marginal sections of the lagoon and sometimes in sedimentary filling packages of fluvial paleochannels. Acoustic turbid zones occur throughout profiles 2 and 7, but mainly in the sedimentary filling packages of former river channels and valleys of former coastal drainage systems.

6- DISCUSSION

High-frequency (3.5 kHz) seismic profiles mapped inside the Patos Lagoon show anomalous acoustic configurations. These anomalies are mentioned in several studies as being typical for sediments loaded with gas. The presence of the gas has a controlling effect on the appearance of seismic sections in some places of the lagoon.

The presence of gas in the sediments is detected especially by high-resolution seismic profiling due to the change of speed of the acoustic wave between mediums with and without gas. The higher the speed gradient between the mediums the stronger the echo response generated by the variation of acoustic impedance between them. The intensity of the reflected acoustic signal, and recorded as seismic profiles, can be related to the concentration of gas bubbles in the sediments (Aliotta et al. 2002).

The 'acoustic turbidity' phenomenon occurs where the presence of gas causes a strong reflection in the top of the gassy package, usually masking the deeper reflectors. This phenomenon is caused by the diffusion of the acoustic energy in gas bubbles trapped in the sediments (Hart and Hamilton 1993). The increasing contrast of the acoustic speed between zones with and without gas causes the phenomenon known as 'gas brightening' (Hart and Hamilton 1993), observed in some segments of the seismic profiles. 'Acoustic blanking' anomalies were also observed in some segments of the seismic records. In this acoustic phenomenon the seismic reflections below the gas horizon are very weak or absent due the attenuation of the acoustic signal (Judd and Hovland 1992).

The seismic responses observed in the gas accumulations are related to the gas concentration in the sedimentary package. Sections with pocket gas correspond to higher gas concentrations, resulting in a big disparity of the acoustic impedance in relation to close associated gas free sediments. As a result, we can have the strong reflection and dispersion of the seismic wave, hiding possible reflectors underlying the strong top reflector of a gas-charged layer. In acoustic turbid zones, the concentrations are smaller, allowing a certain degree of penetration of the seismic energy. The seismic reflectors underlying the top of the package with less quantities of gas are only partially hidden, still allowing the identification of some architectural elements of sedimentary package.

As main sources of gas in marine sediments, Kaplan (1974) reports: marine volcanic activity or geothermal processes, thermo-catalytic molecular breakdown with ascending migration and biogenic degradation of organic matter in sediments. The gas

accumulations mapped in the Patos Lagoon are shallow and occur in a sedimentary package deposited during the Quaternary period, with abundant presence of fine sediments. This suggests that the gas concentrations originate from the decomposition of organic matter deposited in the paleoenvironments developed there. Thus, the source of the gas is intimately linked to the sedimentary environments and to the evolutionary processes responsible for the formation and individuation of the vast coastal water body of the Patos Lagoon.

The sedimentary deposits around the Patos Lagoon are related to regressive and transgressive events of the late Quaternary. These events were responsible for the formation of four 'lagoon-barrier' depositional systems identified in the coastal plain of RS by Villwock et al. (1986), which alternate basically sandy, coastal-barrier type packages with packages of fine-grained sediments (silt and clay) of the dominantly lagoonal environment. The sandy packages may form aquifers and/or gas reservoirs, while the finer, mainly muddy sediments may form aquitards and/or sealing layers.

The sections of the seismic records representing areas of paleovalleys and paleochannels of fluvial systems and areas of former deltaic environments are those places that show the highest gas accumulations in the sedimentary package. Some of these paleotopographic lows can be linked to former river courses (*e.g.*, the Camaquã River) that dissected the coastal plain of RS when the sea level was much lower than today. The sedimentary filling of the incised channels and valleys, related to former fluvial systems, is linked to sedimentary processes of the subsequent transgressive events (Weschenfelder et al. 2004; 2005).

Acoustic windows occur due to sudden lateral discontinuities in some seismic horizons linked to the gas, and they may suggest either an absence of organic matter for generating gas or the lack of a trapping layer (Costa and Figueiredo 1998; Figueiredo et al. 1996).

By characterizing and mapping the gas accumulations in sediments of the Patos Lagoon, the present study contributes with new elements to the geological studies being conducted on the coastal prism deposited in the coastal zone of RS. The better understanding of the characteristics, of the distribution and of the genesis of gas accumulations in coastal depositional settings contributes to refining the models of geological evolution proposed for these environments.

New studies may be conducted in order to identify the degree of control exerted by the distribution of the sedimentary facies, by the permeability of the sedimentary layers and by

the original amount of organic matter in the types, the spatial distribution and the vertical variations of the shallow gas accumulations present in the sediments in the Patos Lagoon.

7- CONCLUSIONS

The presence of shallow gas in the sediments of the Patos Lagoon area has a significant effect on the geoacoustic behavior of the sedimentary package. The gas accumulations can be clearly identified in the high-resolution (3.5 kHz) seismic records through acoustic anomalies detected as anomalous seismic reflections. In some sections, curtains of acoustic anomalies intersperse with acoustic windows, and represent packages with gas alternating with packages without gas, respectively. Sectors with 'pocket gas' and 'acoustic turbid zones' can also be differentiated through anomalous configurations features in the seismic data records.

The gas accumulations in the Patos Lagoon are controlled by the spatial distribution of the sedimentary facies, by their permeability and by the original amount of organic matter. Either in 'pockets' or in 'acoustic turbid zones', the gas occurs mainly in the more internal zones of the lagoonal body, almost always associated with areas of a lower paleotopography and possibly linked to former fluvial channels and valleys. The drainage systems of fluvial channels and valleys were formed during regressive events of the sea level. The incisions were subsequently drowned by a rising sea level and filled out by the sedimentation processes related to the transgression.

The source of the gas in the sedimentary package of the Patos Lagoon substrate is intimately linked to sedimentation environments and to evolutionary processes responsible for the formation and individuation of a complex system of coastal channels, lagoons and barriers during the multitude of regressive and transgressive events of the Quaternary period.

VIII– CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

VIII- CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O estudo aqui desenvolvido foi embasado no estabelecimento dos diversos elementos arquiteturais construtivos do substrato sedimentar da região da Lagoa dos Patos, reconhecidos em registros sísmicos de alta frequência (3,5 e 7 kHz) e alta resolução (métrica a submétrica). À sísmica, associaram-se também dados litológicos, paleontológicos e geocronológicos.

Para o estabelecimento dos elementos arquiteturais analisou-se, sobretudo, a configuração interna dos refletores, a terminação lateral das superfícies sísmicas e a geometria externa dos pacotes sísmicos, em concordância com as linhas gerais estabelecidas pela disciplina da Sismoestratigrafia. Desta forma, foi possível estabelecer e mapear seqüências e fácies sísmicas, assim como os diversos elementos arquiteturais a elas associados, através da condução da *análise de seqüências sísmicas e de fácies sísmicas*.

A análise de seqüências e fácies sísmicas foi uma abordagem metodológica que permitiu uma interpretação geológica sistemática do conjunto de dados sísmicos disponíveis, fornecendo informações importantes à cerca dos processos de sedimentação, variações relativas do nível do mar, paleotopografia, superfícies erosivas e de discontinuidades sismo-deposicionais, entre outras.

O reconhecimento de discontinuidades sísmicas marcantes foi o ponto de partida para o estabelecimento das seqüências sísmicas e respectivas fácies sísmicas constituintes. Essas discontinuidades marcam superfícies formadas por processos erosivos vinculados ao rebaixamento do nível de base, constituindo-se nos limites das seqüências sísmicas / deposicionais. São superfícies de descontinuidade que vêm sendo comumente utilizadas para dividir o registro geológico em seqüências sedimentares, delimitadas por superfícies com significado cronoestratigráfico.

Desta forma, é importante que os modelos evolutivos apresentados para ambientes transicionais considerem e possam predizer, da forma mais precisa possível, a distribuição espacial e temporal dos processos erosivos ocorridos durante os períodos de rebaixamento significativo do nível do mar e, por conseguinte, a ocorrência das discontinuidades ‘cronoestratigráficas’ limitantes de pacotes sismo-sedimentares.

Os modelos correntes para ambientes transicionais normalmente ilustram o conceito de incisão e *bypass* sedimentar durante a queda do nível do mar. Durante um evento

de rebaixamento do nível do mar, o sistema fluvial estende seus limites em direção à bacia de sedimentação, avançando sobre a plataforma continental. Rebaixamentos significativos do nível do mar podem expor totalmente a plataforma continental e a borda superior do talude à incisão fluvial. A região exposta, geralmente constituída por sedimentos inconsolidados e suscetíveis aos processos erosivos, é progressivamente recortada por sistemas fluviais que conectam a bacia de drenagem terrestre aos depocentros da bacia de sedimentação. O prisma costeiro depositado durante os períodos prévios de nível de mar alto é, em geral, profundamente dissecado e recortado por um sistema de vales incisos. O processo normalmente evolui para períodos transgressivos do nível do mar, com o afogamento dos vales incisos e dos sistemas deposicionais costeiros. O preenchimento sedimentar dos vales e canais incisos, formados durante a fase regressiva, geralmente inicia-se com depósitos fluviais amalgamados na base, passando para depósitos flúvio-estuarinos influenciados pela maré e, finalmente no topo, depósitos marinhos com pouca influência fluvial ou marinhos.

O modelo para o desenvolvimento das seqüências deposicionais do prisma sedimentar da planície costeira média do Rio Grande do Sul assemelha-se aos diversos modelos já apresentados para ambientes transicionais. São modelos condicionados basicamente pelos processos vinculados as variações relativas do nível do mar.

A abordagem sismoestatigráfica, aqui adotada na análise e interpretação dos dados sísmicos, se mostrou uma ferramenta importante para que os objetivos propostos para este estudo fossem atingidos. Esta abordagem permitiu ainda que as questões científicas, levantadas no capítulo introdutório deste trabalho, fossem respondidas.

Este estudo apresenta um caráter metodológico importante, pois associa diferentes análises e tipos de dados (sísmicos, paleontológicos, sedimentares, geocronológicos) para a reconstrução paleoambiental de zonas costeiras.

As **conclusões** mais relevantes emanadas do estudo proposto são listadas a seguir.

- Os dados sísmicos de alta resolução levantados na Lagoa dos Patos revelaram a ocorrência de diversos elementos arquiteturais construtivos do prisma sedimentar raso acumulado na planície costeira do estado do Rio Grande do Sul. A boa qualidade dos registros sísmicos permitiu a análise desses elementos arquiteturais.

- Descontinuidades sísmicas marcantes delineam os limites entre as seqüências deposicionais da planície costeira média do Rio Grande do Sul. Os limites dessas seqüências sísmo-deposicionais são superfícies erosivas formadas por processos vinculados a eventos significativos de rebaixamentos do nível do mar.

- Três seqüências sísmicas foram reconhecidas nos registros sísmicos analisados, as quais são compostas por diversas fácies sísmicas. O limite de seqüência **II-III** foi formado durante o último grande evento regressivo do final do Pleistoceno. O limite entre as seqüências **I e II** foi formado por um evento regressivo anterior. Os pacotes sedimentares representativos das seqüências **I, II e III** foram depositados por processos vinculados aos períodos de nível do mar relativamente alto.

- A planície costeira do Rio Grande do Sul e a plataforma continental adjacente foram profundamente dissecadas por sistemas fluviais durante os eventos regressivos do nível do mar ocorridos no Quaternário.

- Dois sistemas de drenagem temporalmente distintos podem ser reconhecidos nos registros sísmicos da planície costeira média do Estado. O preenchimento sedimentar dos vales e canais do sistema de drenagem mais recente é Holoceno, conforme indicado por datações absolutas (¹⁴C). A instalação e aprofundamento deste sistema de drenagem mais recente é atribuído ao último grande evento regressivo do final do Pleistoceno. O processo de formação e preenchimento sedimentar do sistema de drenagem mais antigo é atribuído ao período regressivo-transgressivo imediatamente anterior.

- O mapeamento dos dois sistemas de drenagens identificados pela sísmica permitiu a elaboração de um mapa de paleodrenagens para a área de estudos. Em direção à bacia de sedimentação, as paleodrenagens mapeadas na região da Lagoa dos Patos foram conectadas àquelas anteriormente mapeadas para a plataforma continental. A montante, as paleodrenagens foram vinculadas aos cursos atuais dos principais rios (exemplos: rio Camaquã e rio Jacuí).

- A feição morfológica conhecida como canal da ‘Barra Falsa’, na região de Bojuru, é remanescente de um canal de ligação entre a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico. O canal faz parte do sistema de drenagem mais recente, mencionado acima. O período principal de sua formação foi durante o evento regressivo do final do Pleistoceno, quando o nível do mar recuou 120 m abaixo do atual. Durante o evento transgressivo que se segue o canal foi progressivamente afogado e preenchido por sedimentos fluviais, estuarinos e

marinhos. A redistribuição sedimentar ocorrida durante o período de mar alto e regressivo posterior, no Holoceno, propiciou o fechamento do canal.

- O paleocanal da Barra Falsa foi escavado pelo antigo curso principal do rio Camaquã, quando do último grande rebaixamento pleistocênico do nível do mar. No máximo regressivo deste evento, quando o nível do mar atingiu 120 metros abaixo do atual, o curso do rio Camaquã estendeu-se até os limites externos da plataforma continental frontal a região da cidade de Bojuru.

- O estudo dos sedimentos atribuídos ao preenchimento do canal da Barra Falsa revelou que a deposição foi intimamente associada aos processos oscilatórios do nível do mar e as mudanças climáticas ocorridas na região durante o Holoceno. Esses sedimentos de preenchimento do canal foram depositados no decorrer da transgressão do final do Pleistoceno e no Holoceno. Os sedimentos do intervalo inferior do canal foram depositados por volta de 9.400 anos antes do presente; os sedimentos do meio para o topo do canal foram depositados em torno de 7.300 anos antes do presente.

- Os sistemas de drenagem escavados na planície costeira e plataforma continental do Rio Grande do Sul se comportaram como sistemas de passagem de fluxo, ligando a bacia de drenagem continental aos depocentros da bacia sedimentar adjacente.

- Os sistemas de drenagens, vinculados a processos regressivos do nível do mar no Quaternário, provavelmente exerceram um papel importante na arquitetura deposicional, na distribuição das fácies sedimentares e na disponibilização de espaço de acomodação na borda da bacia sedimentar de Pelotas.

- A formação dos sistemas de paleodrenagens é atribuída aos eventos regressivos ocorridos durante o período Quaternário concordando, de maneira geral, com as diversas curvas glacioeustáticas de variações do nível do mar que foram propostas para o Pleistoceno e Holoceno.

- O comportamento geoacústico das camadas do substrato da Lagoa dos Patos é afetado pela presença de gás no pacote sedimentar, revelando a presença de grandes acumulações de gás raso na área da laguna. Grandes pacotes gasosos intercalam-se com outros aparentemente sem gás.

- As anomalias sísmicas causadas pela presença de sedimentos gasosos podem ser separadas em dois tipos: ‘bolsões de gás’ (*pocket gas*) e ‘zonas acusticamente turvas’ (*acoustic turbid zone*).

- As acumulações de gás ocorrem nas áreas mais internas da Lagoa dos Patos, normalmente vinculadas as regiões mais rebaixadas da superfície topográfica original e aos paleocanais e paleovales fluviais. Grandes pacotes gasosos ocorrem especialmente em frente à desembocadura atual do rio Camaquã, originários da deposição de sedimentos ricos em matéria orgânica em ambiente deltáico-lagunar.

- A origem do gás presente no pacote sedimentar do substrato da Lagoa dos Patos está intimamente ligada aos ambientes de sedimentação e aos processos evolutivos responsáveis pela formação e individualização de um complexo sistema de canais, lagunas e barreiras costeiras durante os múltiplos eventos regressivos e transgressivos do Quaternário.

Como observação e conclusão geral, podemos afirmar que este estudo traz novos e importantes subsídios para os estudos relacionados à evolução geológica e paleogeográfica dos sistemas deposicionais costeiros do sul do Brasil. Os elementos arquiteturais mapeados e aqui apresentados deverão ser incorporados no refinamento dos modelos evolutivos vigentes e naqueles a serem construídos para a região costeira do Rio Grande do Sul. As descobertas de importantes sistemas de paleodrenagem e de grandes acumulações de gás raso na pilha sedimentar da região da Lagoa dos Patos são informações significativas a serem consideradas. Os modelos evolutivos propostos para o prisma costeiro do estado do Rio Grande do Sul poderão ser usados como modelos análogos para o estudo de sistemas sedimentares similares, especialmente para aqueles ambientes transicionais posicionados em borda de bacia sedimentar.

IX– REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, V.S., TORGAN, L.C., ESTEVES, I.R.F., KOTZIAN, S.C.B., 1987. Estudo paleogeográfico do Quaternário de Morretes, RS, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, I. Porto Alegre, RS. **Anais...**, p.177-189.
- ALIOTTA, S., KOSTADINOFF, J., LIZASOAIN, G., 2000. Sísmica somera com 3.5 kHz de la Plataforma Continental norpatagónica, Argentina. In: II CONGRESSO LATINOAMERICANO DE SEDIMENTOLOGÍA. Mar del Plata, Argentina. **Resúmenes...**, p.26-27.
- ALIOTTA, S., LIZASOAIN, G., GINSBERG, S., 2002. Hallazgo de acumulaciones de gas con sísmica de alta resolución en sedimentos del estuario de Bahía Blanca, Argentina. In: CABALERI, N., CINGOLANI, C.A., LINARES, E., LÓPEZ DE LUCHI, H.O., OSTERA, H.A., PARARELLO, H.O. (eds.). XV CONGRESSO GEOLÓGICO ARGENTINO. **Actas...**, cd-rom. Article nº 146, Tomo II:315-318.
- ALIOTTA, S., LIZASOAIN, G., GINSBERG, S., 2004. Dinámica sedimentaria y evolución morfológica de un profundo canal del estuario de Bahía Blanca. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**, 59(1):14-28.
- ALVAREZ, J.A., GRÊ, J.C.R., TOLDO, E.E.,JR., 1983. Estudos Oceanográficos e Sedimentológicos Preliminares da Praia de Tramandaí - RS. **Pesquisas**, 15:66-85.
- ANGULO, R.J., LESSA, G.C., 1997. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. **Marine Geology**, 140:141-166.
- ANGULO, R.J., GIANINI, P.C.F., SUGUIO, K., PASSEDA, L.C.R., 1999. Relative sea-level changes in the last 5500 years in southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermitid ¹⁴C ages. **Marine Geology**, 159:323-339.
- ASSUMPTÃO, M., 1988. Seismicity and Stresses in the Brazilian Passive Margin. **Bulletin of the Seismological Society of America**, 88(1):160-169.
- AYUP-ZOUAIN, R.N., 1991. **Avaliação das mudanças do nível do mar durante o Holoceno na plataforma continental adjacente ao rio de La Plata**. Porto Alegre. 364 p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- AYUP-ZOUAIN, R.N., FACHEL, J.M.G., CORRÊA, I.C.S., TOLDO, E.E.JR., WOLFF, I.M. WESCHENFELDER, J., OLIVEIRA, F.M., 1994. Classificação dos sedimentos superficiais de fundo do Rio de La Plata e plataforma continental adjacente através da análise de agrupamento. **Pesquisas**, 21(1):17-33.
- AYUP-ZOUAIN, R.N., NETO, C.R., STREY, A.N., DA ROSA, A.N., MULLER, R., SIEDLER, A., BARCOS, H., 1995. Elaboração das cartas de batimetria e faciologia da plataforma continental interna e laguna dos patos. Relatório Técnico - FEPAM. 101 p.
- BAPTISTA, L.R.M., 1977. Flora marinha de Torres. In: **Flora ilustrada do Rio Grande do Sul**. Boletim do Instituto de Biociências da UFRGS, Porto Alegre, ser. Botânica, 37(7):1-247.
- BAPTISTA NETO, J.A., SILVA, M.A.M., FIGUEIREDO JR., A.G., 1996. Sísmica de alta frequência e o padrão de distribuição de sedimentos na enseada de Jurujuba (Baía de Guanabara)- RJ/Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, 14(1):51-57.
- BARRETO, A.M.F., BEZERRA, F.H.R., SUGUIO, K., TATUMI, S.H., YEE, M., PAIVA, R.P., MUNITA, C.S., 2002. Late Pleistocene marine terrace deposits in northeastern Brazil: sea-level changes and tectonic implications. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 179:57-69.
- BACKEUSER, E.A., 1918. **A faixa litorânea do Brasil Meridional, ontem e hoje**. Rio de Janeiro: Bernard Freres, 210 p.
- BEARMAN, G., 1989. **Ocean Circulation**. London: Pergamon Press, 238 p.
- BELKNAP, D.F., KRAFT, J.C., 1985. Influence of antecedent geology on stratigraphic preservation potential and evolution of Delaware's Barrier Systems. **Marine Geology**, 63:235-262.

- BERCOWSKI, F., 1978. Variaciones mineralógicas en sedimentos del Rio de la Plata. In: CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO, 7. Neuquen, 1978. **Actas...** Neuquen, A.G.A., 2:649-658.
- BEZERRA, F.H.R., BARRETO, A.M.F., SUGUIO, K., 2003. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. **Marine Geology**, 196:73-89.
- BLUM, M.D., TÖRNQVIST, R.E., 2000. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. **Sedimentology**, 47(1):2-48.
- BOLTOVSKOY, D., 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo com el zooplancton marino. Mar del Plata, Argentina, UNIDEP. **Publicación Especial**. 936 p.
- BOLTOVSKOY, E., 1959. La Corriente de Malvinas (Un Estudio em Base a la Investigación de Foraminíferos). **Ameghiniana**, 3-4(16):357-389.
- BRUHN, C.H.L., WALKER, R.G., 1995. High-resolution stratigraphy and sedimentary evolution of coarse-grained canyon-filling turbidites from the upper Cretaceous transgressive megasequence, Campos basin, offshore Brazil. **Journal of Sedimentary Research**, B65(4):426-442.
- CAINELLI, C., MOHRIAK, W.U., 1999. General evolution of the eastern Brazilian continental margin. **The Leading Edge**, July 1999:800-804/861-863.
- CALLEGARO, V.L.M., LOBO, E.A., 1990. Distribuição horizontal da comunidade de diatomáceas em turfeiras Holocênicas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. Santa Cruz. Pesquisas, **Série Botânica**, 2(1):5-22.
- CALLIARI, L.J., KLEIN, A.H.F., 1993. Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Pesquisas**, 20(1):48-56.
- CANTER-LUND, H., 1995. **Freshwater algae. Their microscopic world explored**. England: Biopress. 360 p.
- CARMO, D.A., SANGIONITI, Y.T., 1995. Krite occurrence on the Brazilian continental margin - An ecological approach. In: RIHA, J. (ed.). **Ostracoda and Biostratigraphy**. Rotterdam: Balkema Publisher, 407-412.
- CHANG, H.K., KOWSMANN, R.O., FIGUEIREDO, A.M.F., BENDER, A.A., 1992. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift System: an overview. **Tectonophysics**, 213:97-138.
- COBBOLD, P.R., MEISLING, K.E., MOUNT, V.S., 2001. Reactivation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. **AAPG Bulletin**, 85(11):1925-1944.
- CONCEIÇÃO, J.C.J., ZALÁN, P.V., WOLFF, S., 1988. Mecanismo, evolução e cronologia do rift sul-atlântico. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 2(2/4):255-265.
- CORDAZZO, C.V., SEELIGER, U., 1988. **Guia ilustrado da vegetação costeira do extremo sul do Brasil**. Rio Grande: FURG (ed.). 275 p.
- CORDEIRO, S.H., LORSCHBITTER, M.L., 1994. Palynology of Lagoa dos Patos sediments, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Paleolimnology**, 10:35-42.
- CORRÊA, I.C.S., 1986. Evidence of sea level fluctuation on the Rio Grande do Sul continental shelf, Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, 40:237-249.
- CORRÊA, I.C.S., 1987. Sedimentos superficiais da plataforma e talude continental do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 19:95-104.
- CORRÊA, I.C.S., 1990. **Analyse Morphostructurale et Evolution Paléogéographique de la Plate-Forme Continentale Atlantique Sud-Brésilienne (Rio Grande do Sul-Brésil)**. Bordeaux. 314 p. Université de Bordeaux I, Dissertation (docteur), França.
- CORRÊA, I.C.S., 1994. Interpretation Morphostructurale de la Plate-Forme Continentale du Rio Grande do Sul, a partir de l'Analyse Cartographique. **Notas Técnicas**, 7:3-26.

- CORRÊA, I.C.S., 1995. Anomalias estruturais na plataforma continental Sul-rio-grandense: Análise cartográfica. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 6. Porto Alegre, RS. SBG. **Resumos Expandidos**, p. 287-289.
- CORRÊA, I.C.S., 1996. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP. L'exemple de la plateforme continentale du Rio Grande do Sul - Bresil. **Marine Geology**, 130:163-178.
- CORRÊA, I.C.S., 1996a. Processus dynamiques dans la distribution des sédiments de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul (Brésil). **Geodinamica Acta** 9(4):161-169.
- CORRÊA, I.C.S., ALIOTTA, S., WESCHENFELDER, J., 2003. 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.
- CORRÊA, I.C.S., ALIOTTA, S., WESCHENFELDER, J., 2005. Estruturas e evolução dos cordões arenosos pleistocênicos no canal de acesso à laguna dos Patos - RS. **Pesquisas em Geociências** (no prelo).
- CORRÊA, I.C.S., BAITELLI, R., KETZER, J.M., MARTINS, R., 1992. Translação horizontal e vertical do nível do mar sobre a plataforma continental do Rio Grande do Sul nos últimos 17.500 anos B.P. In: III CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 1992. Belo Horizonte, MG. **Boletim de resumos expandidos...**, p. 225-240.
- CORRÊA, I.C.S., BAITELLI, R., SANTOS, H.N., ADE, M.V.B., 1989. Sea level change in South Brazilian Continental Shelf. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GLOBAL CHANGES IN SOUTH AMERICA DURING THE QUATERNARY, 10. São Paulo, Brasil. **Special Publication...**, 10:245-249.
- CORRÊA, I.C.S., MARTINS, L.R.S., KETZER, J.M.M., ELIAS, A.R.D., MARTINS, R., 1996. Evolução Sedimentológica e paleogeográfica da plataforma continental sul e sudeste do Brasil. **Notas Técnicas**, 9:51-61.
- CORRÊA, I.C.S., VILLWOCK, J.A., 1996. Continental shelf and coastal plain sediments of the southeast and south coast of Brazil. In: MARTINS, L.R., CORRÊA, I.C.S. (eds.). **Morphology and sedimentology of the southwest Atlantic coastal zone and continental shelf from Cabo Frio (Brazil) to Península Valdés (Argentina) - Explanatory text**. Porto Alegre, Brasil. Evangraf/UFRGS-IG-CECO (edições). 74 pp.
- COSTA, E.A., FIGUEIREDO, A.G., 1998. Echo-character and sedimentary processes on the Amazon Continental Shelf. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 70(2):187-200.
- DALE, B., 1976. Cyst formation, sedimentation and preservation: factors affecting Dinoflagellate assemblages in recent sediments from Trodheims fjord, Norway. **Review of Palaeobotany and Palynology**, 22(1):39-60.
- DALE, B., 1978. Acritarchous cysts of *Peridinium faeroense* Paulsen: implication for dinoflagellate systematics. **Palynology**, 2:187-193.
- DAMUTH, J.E., 1975. Echo character of the western Equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. **Marine Geology**, 18:17-45.
- DAMUTH, J.E., 1980. 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**, 38:51-75.
- DAMUTH, J.E., HAYES, D.E., 1977. Echo character of the East Brazilian Continental Margin and its relationship to sedimentary processes. **Marine Geology**, 24:73-95.
- DAVIES, J.L., 1980. **Geographical Variation in Coastal Development**. Londres: Longman, 2ª ed. 212p.
- DELANEY, P.J.V., 1965. Fisiografia e geologia da superfície da planície costeira do Rio Grande do sul. Porto Alegre. **Publicação Especial da Escola de Geologia, UFRGS**, 6:1-195.

- DHN - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, 1994. **Tábuas das Marés para 1995**. 32ª ed., Rio de Janeiro. 196 p.
- DIAS, J.L., SAD, A.R.E., FONTANA, R.L., FEIJÓ, F.J., 1994. Bacia de Pelotas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 8(1):235-245.
- DILLENBURG, S.R., 1988. **Contribuição à Evolução Paleogeográfica Quaternária da plataforma continental do Rio Grande do Sul**. 77 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DILLENBURG, S.R., 1996. O potencial de preservação dos registros sedimentares do sistema deposicional laguna/barreira IV na costa do estado do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, 9:1-11.
- DILLENBURG, S.R., ROY, P.S., COWELL, P.J., TOMAZELLI, L.J., 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (TSM). **Journal of Coastal Research**, 16:71-81.
- DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J., BARBOZA, E.D., 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Marine Geology**, 203:43-56.
- DOMINGUEZ, J.M.L., 1987. Sea-level history and Quaternary Evolution of River Mouth associated Beach-Ridge Plains along the East-Southeast Brazilian coasts. A summary. **SEPM Special Publication**, 41:58-65.
- ETCHICHURY, M.C., REMIRO, J.R., 1960. Muestras de fondo de la Plataforma Continental comprendida entre los paralelos 34° y 36°30' de latitude sur y los meridianos 53°10' y 56°30' de longitude oeste. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales**, 6(4):197-263.
- FAEGRI, K., IVERSEN, J., 1975. **Text-book of pollen analysis**. Copenhagen: Munksgaard. 295 p.
- FIGUEIREDO, A.G., NITTRouer, C.A., COSTA, E.A., 1996. Gas-charged sediments in the Amazon Submarine Delta. **Geo-Marine Letters**, 16:31-35.
- FISHER, W.L., MCGOWEN, J.H. 1967. Depositional systems in the Wilcox Group of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas. **Gulf Coast Assoc. Socs. Trans.**, 17:105-125.
- FLOOD, R.D., 1980. Deep sea sedimentary morphology: modelling and interpretation of echo-sounding profiles. **Marine Geology**, 38:77-92.
- FOLK, R.L., WARD, C., 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27(1):3-26.
- FONTANA, R.L., 1990. Desenvolvimento Termomecânico da Bacia de Pelotas e Parte Sul da Plataforma de Florianópolis. In: RAJA BAGAGLIA, G.P., MILANI, E.J. (eds.). **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro, Brasil - Petrobrás, p 377-400.
- FONTANA, R.L., 1990a. Investigações Geofísicas Preliminares Sobre o Cone de Rio Grande, Bacia de Pelotas - Brasil. **Acta Geológica Leopoldensia**, 13(30):161-170.
- FONTANA, R.L., 1996. **Geotectônica e Sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas e Plataforma de Florianópolis**. Porto Alegre. 364 p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FORTI-ESTEVES, I., 1984. Recent bivalves (Paleotaxodonta and Pteriomorpha) from the brazilian continental shelf. **Pesquisas**, 16:190-227.
- GARCIA-GARCIA, A., VILAS, F., GARCIA-GIL, S., 1999. A seeping sea-floor in Ria environment: Ria de Vigo (Spain). **Environment Geology**, 38(4):296-300.
- GONÇALVES, A., OLIVEIRA, M.A.M., MORA, S.O., 1979. Geologia da Bacia de Pelotas e da Plataforma de Florianópolis. **Boletim Técnico da Petrobrás**, 22(3):157-174.

- GRILL, S.C., QUATTROCCIO, M.E., 1996. Fluctuaciones eustaticas durante el Holoceno a partir de registro de paleomicroplancton: arroyo Naposta Grande, sur de la provincia de Buenos Aires. **Ameghiniana**, 33(4):435-442.
- GRIMM, E. C., 1987. A fortran 77 Program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. **Pergamon Journal**, 13:13-35.
- GRUBER, N.L.S., 2002. **A antepiraia da região de Tramandaí-RS**. Porto Alegre, 210 p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GUIRAUD, R., MAURIN, J.C., 1992. Early Cretaceous rifts of Western and Central Africa: an overview. **Tectonophysics**, 213:153-168.
- GUTIÉRREZ FELLUZ, B.M., 1996. Ditomeas de Pleistoceno de Pehuen-CO (Provincia de Buenos Aires): Inferencias paleoambientales. **Ameghiniana**, 33(2):201-208.
- HART, B.S., HAMILTON, T.S., 1993. High resolution acoustic mapping of shallow gas in unconsolidated sediments beneath the Strait of Georgia, British Columbia. **Geo-Marine Letters**, 13:49-55.
- HASENACK, H., FERRARO, L.W., 1989. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. **Pesquisas**, 22:53-700.
- HAYES, M.O., 1975. Morphology of sand accumulations in estuaries. In: **Cronin**, L.E. (ed.). **Estuarine Research**, 2:3-22.
- IMBRIE, J., HAYS, J.D., MARTINSON, D.G., MCINTYRE, A., MIX, A.C., MORLEY, J.J., PISIAS, N.G., PRELL, W.L., SHACKLETON, N.J., 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record. In: BERGER, A.L., IMBRIE, J., HAYS, J., KUKLA, G., SALTZMAN, B. (eds.). **Milankovitch and Climate, Part I**. Boston: Reidel. P. 269-305.
- JUDD, A.G., HOVLAND, 1992. The evidence of shallow gas in marine sediments. **Continental Shelf Research** 12(10):1081-1095.
- KAPLAN, I.R., 1974. Introduction. In: Kaplan, I.R. (ed.) **Natural gases in Marine Sediments**. New York: Planum Press. P. 1-10.
- KARISIDDAIAH, S.M., VEERAYYA, M., VORA, K.H., WAGLE, B.G., 1992. Gas-charged sediments on the inner continental shelf off western India. **Marine Geology**, 110:143-152.
- KNOPPERS, B., EKAU, W., FIGUEIREDO, A. G., 1999. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. **Geo-Marine Letters**, 19:171-178.
- KOMAR, P.D., 1983. **CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion**. Boca Raton, Florida: CRC Press. 305 p.
- KOMÁREK, J., JANKOVSKÁ, V., 2001. Review of the green algal genus *Pediastrum*: Implication for pollen-analytical research. **Biblioteca Phycologica**, 108:1-127.
- KOWSMANN, R., LEYDEN, R., FRANCISCONI, O., 1977. Marine Seismic Investigations, Southern Brazil Margin. **AAPG Bulletin**, 61(4):546-557.
- LAMENGO, A.R., 1940. **Restingas na costa do Brasil**. Rio de Janeiro. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia. Boletim 96. 66 p.
- LEE, S.H., CHOUGH, S.K., BACK, G.G., KIM, Y.B., 2002. Chirp (2-7 kHz) echo characters of the South Korea Plateau, East Sea: styles of mass movement and sediment gravity flow. **Marine Geology**, 184(3):227-247.

- LORSCHUITTER, M.L., 1983. Evidences of sea oscillations of Late Quaternary in Rio Grande do Sul provided by palynological studies. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, 1:53-60.
- LORSCHUITTER, M.L., DILLENBURG, S.R., 1998. Holocene palaeoenvironments of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil, reconstructed from palynology of Tramandaí lagoon sediments. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, 11:73-97.
- MADEIRA-FALCETTA, M., 1977. Contribuição ao estudo dos foraminíferos bentônicos da plataforma continental brasileira (distribuição geográfica e análise batimétrica). **Pesquisas**, 8:133-150.
- MANLEY, P.L., FLOOD, R.D., 1989. Anomalous sound velocities in near-surface, organic-rich, gassy sediments in the central Argentine basin. **Deep-sea Research**, 36:611-623.
- MARTIN, L., DOMINGUEZ, J.M.L., BITTENCOURT, A.C.S.P., 2003. Fluctuating Holocene Sea Level in Eastern and Southeastern Brazil: Evidence from Multiple Fossil and Geometric Indicators. **Journal of Coastal Research**, 19(1):101-124.
- MARTINS, I.R., 1984. Aspectos da Oceanografia Física do Atlântico Sul. **Pesquisas**, 16:76-90.
- MARTINS, I.R., PONZI, V.R., CORRÊA, I.C.S., 1978. Processamento Geológico de Amostras - Projeto DHN/CECO. **Notas Técnicas**, 1:1-103.
- MARTINS, L.R., 1963. Contribuição à Sedimentologia da Lagoa dos Patos I, RS, Sacos do Rincão e Medanha. UFRGS, Porto Alegre. **Boletim da Escola de Geologia**, 13:1-43.
- MARTINS, L.R., 1966. Contribuição à Sedimentologia da Lagoa dos Patos II, Sacos do Arraial, Umbu e Mangueira. UFRGS, Porto Alegre. **Notas e Estudos da Escola de Geologia**, 1(1):27-42.
- MARTINS, L.R., 1967. Aspectos deposicionais e texturais dos sedimentos praias e eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. UFRGS, Porto Alegre. **Publicação Especial da Escola de Geologia**, 13. 102 p.
- MARTINS, L.R., ARIENTI, L.M., MOURA, Y.A., SANTOS, N.M., 1985. Contribuição ao estudo da borda da plataforma continental do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 17:24-44.
- MARTINS, L.R., GAMERMANN, N., 1967. Contribuição à Sedimentologia da Lagoa dos Patos III, Granulometria da zona norte e média. **Iheringia (Geologia)** A:77-86.
- MARTINS, L.R., URIEN, C.M., CORRÊA, I.C.S., MARTINS, I.R., 1996. Late Quaternary processes along the Rio Grande do Sul Continental shelf (Southern Brazil). **Notas Técnicas**, 9:62-68.
- MARTINS, L.R., VILLWOCK, J.A., MARTINS, I.R., 1972. Estudo Preliminar Sobre a Distribuição Faciológica da Plataforma Continental Brasileira. **Pesquisas**, 1:51-56.
- MASCLE, J., BLAREZ, E., MARINHO, M., 1988. The shallow structures of the Guinea and Ivory Coast - Ghana transform margins: their bearing on the Equatorial Atlantic Mesozoic evolution. **Tectonophysics**, 155:193-209.
- McKENZIE, D., 1978. Some remarks on the development of sedimentary basins. **Earth and Planetary Science Letters**, 40:25-32.
- MEDEANIC, S., DILLENBURG, S.R., TOLDO, E.E.JR., 2001. Novos dados palinológicos da transgressão marinha pós-glacial em sedimentos da laguna dos Patos, RS, Brasil. **Geociências**, VI: 64-76.
- MEDEANIC, S., JANKOVSKÁ, V., DILLENBURG, S.R., 2003. The implication of green algae (Chlorophyta) for palaeoecological reconstruction of the Holocene lagoon system in the Tramandaí Lagoon region, Rio Grande do Sul, Brazil. **Acta Palaeobotanica**, 43(1):113-123.

- MEDEANIC, S., MARQUES-TOIGO, M., ASHRAF, A.R., 2000. The use of fossil algae for palaeoenvironmental reconstruction during the late Holocene in the Maquiné river valley, RS, Brazil. **Geociências**, V:168-172.
- MEDEANIC, S., TOLDO, E.E.JR., DILLENBURG, S.R., 2000a. Palynological evidence of marine ingression in the Lagoa dos Patos lagoon during the late Holocene. **Geociências**, V:141-145.
- MEIJER, X.D., 2002. Modelling the drainage evolution of a river-shelf system forced by Quaternary glacio-eustasy. **Basin Research**, 14:361-377.
- MEISLING, K.E., COBBOLD, P.R., MOUNT, V.S., 2001. Segmentation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. **AAPG Bulletin**, 85(11):1903-1924.
- MEYER ROSA, Z., 1979. **Diatomáceas marinhas e estuarinas de Tramandaí, Rio Grande do Sul, Brasil**. Porto Alegre. 241p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MITCHUM, R.M.,JR., VAIL, P.R., SANGREE, J.B., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C.E. (ed.). **Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration**. American Association of Petroleum Geologists Memoir, Tulsa, **26**:117-133.
- MOHRIAK, W.U., BASSETTO, M., VIEIRA, I.S., 1998. Crustal architecture and tectonic evolution of the Sergipe-Alagoas and Jacuípe basins, offshore northeastern Brazil. *Tectonophysics*, 288(1-4):199-220.
- MOREIRA FILHO, H., TEIXEIRA, C., 1963. Noções gerais sobre as diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyceae). *Boletim da Universidade do Parana, Botanica*, 11:1-26.
- MOREIRA, V., 1975. Contribuição ao estudo das Bacillariophyceae (Diatomáceas) em diatomitos brasileiros. *Acta Biológica Paranaense*, 4(3/4), 135-198.
- MOTTA, V.F., 1967. Estudo em modelo reduzido para a regularização da embocadura lagunar de Tramandaí. 2º Congresso Nacional de transportes marítimos e construção Naval. Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (SOBENA). In: *Revista Brasileira de Engenharia*.
- MOTTA, V.F., 1969. Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela Barra de Rio Grande. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. **Inédito**.
- MUNARO, P., 1994. **Geologia e Mineralogia do depósito de minerais pesados de Bojuru-RS**. Porto Alegre, 96p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- NEVES, P.C.P., LORSCHETTER, M.L., 1991. Upper Quaternary palaeoenvironments in the Northern Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, 9:39-67.
- NEVES, P.C.P., LORSCHETTER, M.L., 1997. Palinologia de sedimentos de uma mata tropical paludosa na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, VI. Curitiba, PR, p. 341-344.
- NIMER, E., 1977. Clima. In: **Geografia do Brasil. Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, p.35-79.
- OJEDA, H.A.O., 1982. Structure, stratigraphy and evolution of the brazilian marginal basin. **AAPG Bulletin**, 66(6):732-749.
- ORTIZ, J.D.R., 1995. **O preenchimento sedimentar do vale inciso do Rio Camaquã, Quaternário da Província Costeira do RS**. Porto Alegre, 182p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- PALMER, A.J.M., ABBOTT, W.H., 1994. Diatoms as indicators of sea-level change. In: **Sea level Research: a manual for the collection and evaluation of data**. Norwich, England: Geobooks, p. 88-125.
- PAPATHEODOROU, G., HASIOTIS, T., FERENTINOS, G., 1993. Gas-charged sediments in the Aegean and Ionian Seas, Greece. **Marine Geology**, 112:171-184.
- PARK, S.C., KIM, Y.S., HONG, S.K., 1991. Shallow seismic stratigraphy and distribution pattern of late Quaternary sediments in a macrotidal bay, Gunhung Bay, west coast of Korea. **Marine Geology**, 98:135-144.
- PARKER, G., PATERLINI, M., 1990. Apantallamientos acústicos en sedimentos gasíferos del Rio de La Plata. **Revista da Asociación Geológica Argentina**, 459(1-2):17-28.
- PONTE, F.C., ASMUS, H.E., 1978. Geological framework of the Brazilian continental margin. **Geologische Rundschau**, 67:201-235.
- POUPEUA, G., SOUZA, J.H., SOLIANI, E., JR., LOSS, E.L., 1984. Dating quartzose sands of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Brazil, by thermoluminescence. **Pesquisas**, 16:250-268.
- PRIDDLE, J., FRYXELL, G., 1985. **Handbook of the common plankton Diatoms of the Southern Ocean (Centrales except the genus Thalassiosira)**. British Antarctic Survey, Natural Environment Research Council. 159 p.
- QUARESMA, V.S., DIAS, G.T.M., BAPTISTA NETO, J.A., 2000. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Buanabara - RJ. **Brazilian Journal of Geophysics**, 18(2):201-214.
- RAMBO, B., 1942. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Of. Graf. Imprensa Oficial. 360 p.
- RAMSAY, P.T., COOPER, J.A.G., 2002. Late Quaternary sea-level change in South Africa. **Quaternary Research**, 57:82-90.
- REINSON, G.E., 1992. Transgressive Barrier Island and Estuarine Systems. In: WALKER, R.G., JAMES, N.P. (eds.). **Facies Models - Response to Sea Level Change**. Stittsville: Geological Association of Canada, pp. 170-194.
- RICARD, M., 1987. **Atlas du phytoplancton marin Diatomophycées**. Paris: Ed. du Centre national de la Recherche Scientifique. 297 p.
- SARJEANT, W., 1970. The genus *Spiniferites* Mantell, 1850 (Dinophyceae). **Grana Palynologica**, 10:74-78.
- SHANLEY, K.W., McCABE, P.J., 1993. Alluvial architecture in a sequence stratigraphic framework: an example from the the Upper Cretaceous ou southern Utah, U.S.A. In: FLINT, S.S., BRYANT, I.D. (eds.). **Quantitative modelling of elastic hydrocarbon reservoirs and outcrop analogs**. Special Publication Internation Association Sedimentoligist, 15:21-55.
- SHANLEY, K.W., McCABE, P.J., 1994. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata: report of a working group at the 1991 NUNA Conference on high resolution sequence stratigraphy. **AAPG Bulletin**, 74:544-568.
- SHEPARD, F.P., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, 24:151-158.
- SIMCH, P. 2003. Relatório de sondagem dos furos de Bojuru 1, Bojuru 2 e Tavares 1. **Inédito**.
- SOURNIA, A., 1986. **Atlas du Phytoplancton marin**. Introduction: *Cyanophycees*, *Dictyochophycees*, *Dinophycees* et *Raphidophycees*. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique. 219p.

- SUGUIO, K., 1999. Recent progress in Quaternary geology of Brazil. *Episodes*, 22(3):217-220.
- SUGUIO, K., 2001. Influence of the “Hypsithermal Age” and “Neoglaciation” climatic conditions on the Brazilian coast. **Pesquisas em Geociências**, 28(2):213-222.
- SUGUIO, K., MARTIN, L., 1987. Classificação de costas e evolução geológica das planícies litorâneas quaternárias do Sudeste e Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA. Cananéia, São Paulo. Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ed.). V 2:1-28.
- SUGUIO, K., MARTIN, L., BITTENCOURT, A.C.S.P., DOMINGUEZ, J.M.L., FLEXOR, J-M., AZEVEDO, A.E.G., 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral Brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, 15:273-286.
- SUMMERFIELD, M.A., 1985. Plate tectonics and landscape development on the African continental. In: MORISAWA, M., HACK, J. (eds.). **Tectonic Geomorphology**. Boston: Allen, Unwin, p. 27-51.
- SZATMARI, P., MILANI, R.J., 1999. Microplate rotation in northeast Brazil during South Atlantic rifting: Analogies with the Sinai microplate. **Geology**, 27(12):1057-1184.
- TALLING, P.J., 1998. How and where do incised valley form if sea level remains above the shelf edge? **Geology**, 26(1):87-90.
- TAYLOR, M.H., DILLON, W.P., PECHER, I.A., 2000. Trapping and migration of methane associated with the gas hydrate stability zone at the Blake Ridge Diapir: new insights from seismic data. **Marine Geology**, 164:79-89.
- TESSLER, M.G., MAHIQUES, M.M., 1996. **Levantamento bibliográfico sobre a Geologia Marinha no Brasil - 1841-1992**. São Paulo, MMA/CIRM/FEMAR/CNPq. 320 p.
- THUNELL, R.C., WILLIAMS, D.F., 1983. Paleotemperature and paleosalinity history of the Eastern Mediterranean during the Late Quaternary. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 44:23-39.
- TOIGO, M.M., MEDEANIC, S., MOSBRUGGER, V., ASHRAF, A.R., 2002. Palaeoenvironmental changes in the Maquiné River Valley, RS, Brazil, during the Holocene according to palynological data. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Janeiro/Junho 2002, p. 36-47.
- TOLDO, E.E., Jr., 1994. **Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar da Lagoa dos Patos**. Porto Alegre, 143p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TOLDO, E.E., Jr., AYUP-ZOUAIN, R.N., CORRÊA, I.C.S., DILLENBURG, S.R., 1991. Barra falsa: hipótese de um paleocanal holocênico de comunicação entre a laguna dos Patos e o Oceano Atlântico. **Pesquisas**, 18(2):99-103.
- TOLDO, E.E., Jr., DILLENBURG, S.R., 1993. Relatório do Cruzeiro Oceanográfico Lagoa dos Patos - Janeiro/1993. Projeto Geofísica Rasa na Lagoa dos Patos - CECO-IG-UFRGS. Relatório do Cruzeiro. **Inédito**.
- TOLDO, E.E., Jr., DILLENBURG, S.R., CORRÊA, I.C.S., ALMEIDA, L.E.S.B., 2000. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, 16(3):816-822.
- TOLDO, E.E., Jr., MEDEIROS, R.K., 1986. Programa Interpola em Linguagem Basic para Análise Estatística e Propriedades Texturais de Amostras Sedimentares em Computador. **Pesquisas**, 18:91-100.
- TOMAZELLI, L.J., 1990. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul – com ênfase no sistema eólico**. Porto

- Alegre. 270p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TOMAZELLI, L.J., 1994. Morfologia, Organização e Evolução do Campo Eólico Costeiro do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, 21(1):64-71.
- TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A., 1992. Geologia do sistema lagunar Holocênico do litoral norte do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 18(1):64-71.
- TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A., 2000. 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**, pp. 375-406.
- TRAVERSE, A., GINSBURG, R.N., 1967. Pollen and associated microfossils in the marine surface sediments of the Great Bagama bank. **Review of Palaeobotany and Palynology**, 3:243-254.
- URIEN, C.M., 1967. Los sedimentos modernos del Rio de la Plata exterior. **Boletín SHIN**, 4(2):113-213.
- URIEN, C.M., MARTINS, L.R., 1979. Depocentros subcontinentales en el margen continental de Rio Grande do Sul y Buenos Aires. In: SEMANA ARGENTINA DE OCEANOGRAFIA, 3. Buenos Aires, Argentina. p. 45.
- VAN GEEL, B., VAN DER HAMMEN, T., 1978. Zygnetaceae in Quaternary, Colombian sediments. **Review of Palaeobotany and Palynology**, 25(5):377-392.
- VILLWOCK, J.A., 1972. **Contribuição a geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul-Brasil**. Porto Alegre. 123 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VILLWOCK, J.A., 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. **Pesquisas**, 16:5-49.
- VILLWOCK, J.A., 1994. A Costa Brasileira: Geologia e Evolução. **Notas Técnicas**, 7:38-49.
- VILLWOCK, J.A., DEHNHARDT, E.A., LOSS, E.L., SOLIANI, E., JR., TOMAZELLI, L.J., GODOLPHIM, M.F., KOPPE J.C., HORN FILHO, N.O., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A., 1984. **Atlas geológico da província costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. CECO, Instituto de Geociências, UFRGS. Pranchas.
- VILLWOCK, J.A., DEHNHARDT, E.A., LOSS, E.L., TOMAZELLI, L.J., HOFMEISTER, T., 1979. Concentraciones de arenas negras a lo largo de la costa del Rio Grande do Sul, Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE ECOLOGIA BENTONICA Y SEDIMENTACION DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLANTICO SUR. Montevideo, Uruguai. Memorias. p. 405-414.
- VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.A., 1994. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul: Nota explicativa para o mapa geológico em escala 1:1.000.000**. CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre.
- VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J., 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, 8:1-45.
- VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J., LOSS, E.L., DEHNHARDT, E.A., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A., GODOLPHIM, M.F., HORN FILHO, N.O., 1994. **Mapa Geológico da Província Costeira do Rio Grande do Sul – Escala 1:1.000.000**. CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre.
- VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J., LOSS, E.L., DEHNHARDT, E.A., HORN FILHO, N.O., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A., 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, 4:79-97.
- WALL, D., DALE, B., LOHMANN, G., SMITH, W., 1977. The environmental and climatic distribution of the Dinoflagellate cysts in Modern Marine sediments from regions in the North and South Atlantic Oceans and adjacent seas. **Marine Micropalaeontology**, 2:200-212.

- WESCHENFELDER, J., 1996. **Variabilidade morfodinâmica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Porto Alegre, 125 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- WESCHENFELDER, J., AYUP-ZOUAIN, R.N., 2002. Variabilidade morfodinâmica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 29(1):3-13.
- WESCHENFELDER, J., AYUP-ZOUAIN, R.N., ZOMMER, S.L.C., SOUTO, R.P., 1997. Caracterização Morfológica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS. **Notas Técnicas**, 9:35-48.
- WESCHENFELDER, J., CORRÊA, I.C.S., ALIOTTA, S., 2005. Paleochannels related to late Quaternary sea level changes in southern Brazil. **Marine Geology** (submetido).
- WESCHENFELDER, J., CORRÊA, I.C.S., ALIOTTA, S., 2005a. Elementos arquiteturais do substrato da Lagos dos Patos revelados por sísmica de alta resolução. **Pesquisas em Geociências** (submetido).
- WESCHENFELDER, J., CORRÊA, I.C.S., ALIOTTA, S., PEREIRA, C.M., VASCONCELLOS, V.E.B., DE, 2005b. Shallow gas accumulations in the sediments of the Patos Lagoon area, southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** (submetido).
- WESCHENFELDER, J., MEDEANIC, S., CORRÊA, I.C.S., ALIOTTA, S., 2004. Holocene paleoenvironment of the Bojuru region, southern Brazil. **Journal of Coastal Research** (submetido).
- WETZEL, R.T., 1975. **Limnology**. Philadelphia. Saunders.
- YBERT, J-P., BISSA W.M., KUTNER, M., 2001. Relative sea level variation and climatic evolution in southeastern and southern Brazil during the Late Holocene. **Pesquisas em Geociências**, 28(2):23-75.
- ZEMBRUSKI, S.G., 1979. Geomorfologia da Margem Continental Sul-Brasileira e das Bacias Oceânicas Adjacentes. In: CHAVES, H. (ed.). **Geomorfologia da Margem Continental Brasileira e das Areas Oceânicas Adjacentes**. Rio de Janeiro, Petrobrás, CENPES, Série Projeto REMAC, 7:129-177.

ANEXO

Tabela- Resultados da análise palinológica do furo de sondagem B2

TAXA	E t a p s										
	V		IV			III			I		
	D e p t h (m)										
	3.5	3.9	7.8	8.8	9.1	9.5	10.0	10.3	11.0	23.0	24.0
PINOPHYTA											
<i>Ephedra</i>											1
<i>Podocarpus</i>									1		1
MAGNOLIOPHYTA											
Arboreous pollen											
<i>Alchornea</i>								2	2		
Anacardiaceae								2			
Apocynaceae		1					3	8			5
Boraginaceae								1			
Magnoliaceae											1
Melastomaceae											2
Meliaceae								3			1
Mimosaceae										2	10
Moraceae-Urticaceae											4
Palmae							1	29	1	11	3
<i>Rapanea</i>										4	
Rosaceae											1
Rubiaceae						1					
Thymeleaceae											2
<i>Trema</i>								2			2
Herbaceous pollen											
Amaranthaceae							2			8	
Apiaceae			2			1		1		3	3
Asteaceae			2	6				6			32
Brassicaceae									1		
Chenopodiaceae		1						1		5	13
Cyperaceae		3	3	6	6			7		6	85
Ericaceae			1								2
Juncaginaceae		1	1	1				1			10
Fabaceae											1
Liliaceae				1							
Malvaceae			2								
<i>Myriophyllum</i>											14
Onagraceae											4
Poaceae	6	6	77	20	3	20	4	41	5	29	101
Polygonaceae		2					1				
Primulaceae		1							1		4
Scrophulariaceae								4	1		2
Solanaceae		1									
Typhaceae											6
BRYOPHYTA											
<i>Anthoceros</i>			6		2	8		9	1		
<i>Phaeoceros</i>			9	28	20	34	6	60	10	16	9
PTERIDOPHYTA											
<i>Azolla filiculoides</i>			4			1					21
<i>Adiantum</i>								1			
<i>Alsophila</i>									1		
<i>Blechnum</i>		6		4		2		4	6	6	
<i>Botrychium</i>				1							
<i>Equisetum</i>		1						10		12	5
<i>Dicksonia</i>											1
<i>Dicranoglossum</i>									11	3	
<i>Dicranopteris</i>							1	1	6		
<i>Dryopteris</i>								6			
<i>Huperzia</i>								1			
<i>Hymenophyllum</i>								18	2	2	
<i>Lophozoria</i>						1		1			
<i>Lycopodiella</i>								1			
<i>Microgramma</i>								2	12	1	
Polypodiaceae		14	1	6		4		101	12	66	3
Pterideae									1		
TOTAL SUM	6	38	108	74	31	72	12	323	76	174	356