

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE GEOLOGIA MARINHA E COSTEIRA**

**TERRAÇOS DA MARGEM LESTE DA LAGUNA DOS PATOS,
LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL:
ESTRATIGRAFIA E EVOLUÇÃO HOLOCÊNICA**

Eduardo Guimarães Barboza

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Luiz José Tomazelli

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Jorge Alberto Villwock
Prof. Dr. Norberto Olmiro Horn F^o
Prof. Dr. Sérgio Rebello Dillenburg**

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

1999

Barboza, Eduardo Guimarães

Terraços da margem leste da Laguna dos Patos, Litoral Médio do Rio Grande do Sul: estratigrafia e evolução holocênica. / Eduardo Guimarães Barboza - Porto Alegre: UFRGS, 1999.

XII f. + 138 f. il. + Mapa + CD-ROM

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 1999.

1. Geologia Marinha. 2. Holoceno. 3. Estratigrafia. 4. GPR. 5. Litoral Médio. 6. Terraços Lagunares. I. Título.

Catálogo na Publicação
Renata Cristina Grün CRB10/1113

*Ao nosso amigo e colega do CECO
Gilberto Silveira dos Santos, exemplo de
profissionalismo e seriedade, cuja imagem
se confunde com a própria história desse
Centro de Pesquisas.*

Nada es tonto, nada es insignificante. El hielo, por ejemplo, es el peor enemigo de la montaña. Cuando llueve el agua se mete en las grietas y al llegar la noche se hace hielo. Aumenta de volumen y rompe la piedra. Poco a poco la deshace. La montaña lo sabe y se queja. No puede defenderse...pero se queja. Antes de la tormenta se oye un zumbido. "Canto de abejas" le llaman, porque es como el crujir de las chispas, como un zumbido de abejas. Algunos dicen que es que el aire se carga de electricidad...pero a mi me gusta mas creer que es la montaña que se queja. Cuanto mas se sabe mas cerca se esta de la magia.

Habla del personaje Geólogo Hans de la película "Un Lugar en El Mundo".

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
LISTA DE FIGURAS	viii

CAPÍTULO 1

1 – INTRODUÇÃO	2
1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	2
1.2 – TRABALHOS ANTERIORES	3
1.3 – JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	4
1.4 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	5
1.5 – NOMENCLATURA	7

CAPÍTULO 2

2 – GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO	9
2.1 – A PROVÍNCIA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL	9
2.2 – SISTEMAS DEPOSICIONAIS COSTEIROS	16
2.3 – CLIMA	17
2.4 – CORPOS LAGUNARES NA ÁREA DE ESTUDO	20

CAPÍTULO 3

3 – MÉTODOS E RESULTADOS	26
3.1 – SENSORIAMENTO REMOTO	28
3.1.1 – INTRODUÇÃO	28
3.1.2 – MATERIAIS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO	28
3.1.3 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES	31
3.2 – PERFILAGEM ALTIMÉTRICA	36
3.2.1 – INTRODUÇÃO	36
3.2.2 – MATERIAIS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO	37
3.2.3 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES	40
3.3 – PERFILAGEM GEOFÍSICA	45
3.3.1 – INTRODUÇÃO	45
3.3.2 – PRINCÍPIOS FÍSICOS DO GPR	46
3.3.3 - MATERIAIS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO	51
3.3.4 – ATIVIDADES LABORATORIAIS	54
3.3.5 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES	55
3.4 – PERFILAGEM BATIMÉTRICA	62
3.4.1 – INTRODUÇÃO	62
3.4.2 - MATERIAIS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO	62
3.4.3 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES	65
3.5 – TESTEMUNHOS DE SONDADEM	69
3.5.1 – INTRODUÇÃO	69
3.5.2 - MATERIAIS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO	70
3.5.3 – ATIVIDADES LABORATORIAIS	73
3.5.4 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES	76

CAPÍTULO 4

4 – APLICAÇÃO DA ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS DE ALTA RESOLUÇÃO	82
4.1 – INTRODUÇÃO À TEORIA	82
4.2 – OBJETIVO PROPOSTO.....	88
4.3 – ELABORAÇÃO DE UM MODELO	88
4.4 – CONCLUSÃO.....	91

CAPÍTULO 5

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
5.1 – DISCUSSÕES	95
5.2 – CONCLUSÕES	103

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
---	------------

ANEXO I	116
----------------------	------------

ANEXO II	128
-----------------------	------------

ANEXO III	135
------------------------	------------

ANEXO IV	137
-----------------------	------------

AGRADECIMENTOS

Com a conclusão desta etapa acadêmica, externo meus agradecimentos a todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização desse estudo.

Ao Professor e amigo Dr. Luiz José Tomazelli, em especial, pela orientação incentivadora, pertinente e crítica. Pelo crédito e apoio em meu trabalho foi possível a viabilização dessa Dissertação.

Aos Professores dessa Instituição, Dr. Ricardo Norberto Ayup Zouain, Dr. Sérgio Rebello Dillenburg, Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr., Msc. Nelson Luiz Sambaqui Gruber, Dr. Jorge Alberto Villwock, Dr. Michael Holz, Dr. Claiton Scherer e Msc. Sérgio Florêncio de Souza pelas discussões, palavras de incentivo, apoio e sugestões sempre bem vindas e aplicadas.

Ao pessoal do Convênio Petrobrás/UFRGS, na pessoa do coordenador Prof. Gérson Terra, agradeço ao apoio técnico.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG/FURG) na pessoa do Prof. Dr. Lauro J. Calliari pelo empréstimo da ecosonda utilizada na aquisição dos perfis batimétricos.

Aos colegas de Curso de Pós-Graduação, Geól. Luciana Moreira Félix, Geól. Cláudio Netto Lummertz, Geól. Edmundo J. J. Marques, Geól. José Guilherme R. da Silva, Geól. José E. Faccion, Msc. Francisco Aquino, Msc. Luciano Laybauer, Msc. Eduardo Siegle e Msc. Nils Asp sempre presentes nas discussões e apoio na coleta de dados desse estudo.

Aos topógrafos Cleber Rodrigues do DAER e Wolmar da ETEL, pelo auxílio com a localização do RN 13 junto à RST-101 em Mostardas.

Aos colegas do CECO/IG/UFRGS, Téc. Gilberto Silveira dos Santos, Téc. Maribel Nunes dos Santos e Msc. Flávio Bachi, sempre solícitos quando convocados em alguma emergência.

Aos funcionários da secretaria do Curso de Pós-Graduação de Geociências da UFRGS, Carlos, Hugo, Roberto e Sílvio pelos tramites legais durante o curso.

À bibliotecária Renata Cristina Grün, pela revisão no conteúdo bibliográfico dessa Dissertação, e os demais funcionários sempre prestativos da biblioteca do Instituto de Geociências.

Ao Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro (LPM-EE-UFRGS) na pessoa do Prof. Dr. Adelir José Strieder, pelo empréstimo do equipamento GPR utilizado na aquisição de dados geofísicos desse trabalho, e ao Eng. de Minas Paulo Salvadoreti pelo auxílio com o processamento.

Aos futuros colegas de profissão, bolsistas do CECO, Daniela Elias, Juliano Kühle e Luís Alberto pelo apoio nos trabalhos de campo e laboratório.

Ao nosso motorista Cleonel, o qual sempre conseguiu nos levar até os locais necessários para a aquisição dos dados desse trabalho, onde muitas vezes para chegar a esses pontos passávamos por um Rallye.

Às agências de apoio à pesquisa CNPq e FAPERGS, que através do suporte financeiro viabilizaram a realização desse estudo.

E, enfim, à Msc. Renata Fraga dos Santos pela companhia, leitura, correção gramatical e de vocabulário desse trabalho.

RESUMO

O presente trabalho discute os terraços lagunares da margem leste da Laguna dos Patos, localizados próximo à cidade de Mostardas. Através desse estudo é apresentado um novo modelo evolutivo para os últimos 5.000 anos no Litoral Médio do Rio Grande do Sul.

Novas ferramentas foram utilizadas pela primeira vez no estudo da planície costeira do Rio Grande do Sul. Com respeito a aquisição dos dados de subsuperfície foi utilizado com êxito um GPR (*Ground Penetration Radar*). Na análise e interpretação dos dados foi feita uma tentativa de aplicação da estratigrafia de seqüências. Através do uso de um *scanner* foram elaborados perfis dos testemunhos de sondagem, identificando aspectos distintos na composição e porosidade de diferentes litologias. Outras ferramentas utilizadas constam de sensoriamento remoto, nivelamento altimétrico e batimétrico, *vibracore* e datação radiométrica.

Dessa forma, foram definidas três feições de terracamento lagunar de idade holocênica na área de estudo, cada uma relacionada a um nível lagunar distinto. Através dos dados obtidos em subsuperfície foi possível traçar um esboço cronoestratigráfico, bem como uma curva de variação relativa do nível lagunar para a região. Também, como resultado dos dados geológicos de superfície, associados a novas interpretações baseadas em fotografias aéreas e imagens de satélite, foi elaborado um mapa geológico atualizado.

ABSTRACT

The present work discusses the wave-cut terraces of the eastern margin of the Patos Lagoon, located close to the city of Mostardas. Through this study a new evolutionary model is presented for the last 5.000 years of the central coast of Rio Grande do Sul.

New tools were used for the first time on studies of Rio Grande do Sul Coastal Plain. Regarding acquisition of subsurface data a Ground Penetration Radar (GPR) was successfully used. Sequence stratigraphy was tentatively used for analysis and data interpretation. By the use of a scanner core logs were constructed showing distinct aspects of composition and porosity of different lithologies. Other tools used were remote sensing, altimetric and bathimetric leveling, vibracore and radiometric dating.

By this way, three wave-cut terraces of Holocene age were well defined in the study area, each one related to a different lagoonal level. Through subsurface data it was possible to construct a chronostratigraphic sketch as well as a relative curve of lagoonal level variation for the area. Also, as a result of geological surface data plus new interpretations based on aerial photos and satellite images an updated geological map was elaborated.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização e acessos à área de estudo	6
Figura 2 – Seção geológica esquemática da Bacia de Pelotas (compilada de Ojeda & Casero, 1973; Ojeda & Silva, 1975; Gonçalves <i>et al.</i> , 1979; Sanguinetti, 1980, 1981; Ornelas, 1981; Asmus & Guazelli, 1981 e Ojeda, 1982 <i>apud</i> Villwock, 1984).	11
Figura 3 – Fisiografia e principais estruturas da Bacia de Pelotas e área continental adjacente. (Modificado de Urien & Martins, 1978, <i>apud</i> Dillenburg, 1988)...	13
Figura 4 – Geomorfologia da Província Costeira do Rio Grande do Sul (mod. de Villwock, 1984).	14
Figura 5 – Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul na latitude de Porto Alegre. As barreiras são correlacionadas aos últimos maiores picos da curva isotópica de oxigênio (Tomazelli & Villwock, 1999).	15
Figura 6 – Principais centros controladores do clima no Rio Grande do Sul (mod. de Nimer, 1977, por Tomazelli, 1990). Imagem do satélite GOES-8 banda infra-vermelho (INPE/DSA) mostrando o deslocamento de um ciclone pela costa do Estado no dia 17 de abril de 1999.	18
Figura 7 – Mapa de isoietas anuais no Rio Grande do Sul (mod. de MT-GEIPOT, 1977).	19
Figura 8 – Batimetria e principais elementos fisiográficos presentes na Laguna dos Patos (mod. de HERZ, 1977).	22
Figura 9 – Intensidade e direção predominantes dos ventos e circulação das águas na Laguna dos Patos (mod. de Delaney, 1965).	23
Figura 10 – Diagrama esquemático mostrando a evolução do processo de segmentação de corpos lagunares (segundo Zenkovitch, 1959).	24
Figura 11 – Seqüência de fotografias aéreas da área de detalhamento. Nas três fotos é possível a identificação das feições de terraceamento.	29
Figura 12 – Seqüência de imagens de satélite LANDSAT TM-5 (221/082) bandas 5,4,3. A) Imageamento em 06/01/1997, estação seca (Verão); B) Imageamento em 01/07/1997, estação chuvosa (Inverno).	30
Figura 13 - Fotomosaico abrangendo as principais feições geomorfológicas da área de estudo. As linhas tracejadas representam as escarpas das feições de terraceamento. A) Linha da escarpa no máximo transgressivo de 120 ka; B) Linha da escarpa no máximo transgressivo de 5,1 ka; C) Linha da escarpa formada no nível lagunar dos meses de inverno; D) Linha da escarpa formada no nível médio da Laguna dos Patos e E) Linha da escarpa afogada encontrada da isóbata em torno de -1 m.	32

- Figura 14 - Seqüência de fotos na margem da Laguna dos Patos em três datas distintas. Observa-se a variação no nível lagunar.
A) 23/05/1998 (nível lagunar máximo observado);
B) 02/09/1998 (nível lagunar intermediário observado);
C) 30/12/1998 (nível lagunar mínimo observado). 33
- Figura 15 - Fotografias aéreas verticais onde é possível identificar a semelhança na forma dos "ganchos" nos pontais.
A) Pontal Cristóvão Pereira;
B) Paleopontal Cristóvão Pereira.
Escala 1:40.000. 35
- Figura 16 - Mapa de localização dos perfis altimétricos representativos das principais feições de terraceamento na área de estudo. 36
- Figura 17 - Sistema utilizado em campo, constando da estação total "Zeiss" e uma baliza com um prisma de espelhos operada por dois técnicos. 37
- Figura 18 - Perfil altimétrico na margem da Laguna dos Patos. A leste encontra-se a escarpa formada durante a última grande transgressão holocênica de 5,1 ka. A oeste a elevação indica uma pequena barreira transgressiva, os primeiros 50 m do perfil marcam a linha de praia atual. 38
- Figura 19 - Perfil altimétrico transversal à Lagoa do Rincão. A oeste encontram-se duas escarpas: a) formada durante a transgressão pleistocênica de 120 ka; b) formada durante a última grande transgressão holocênica de 5,1 ka. A leste a escarpa identificada no perfil (c) também está relacionada ao último evento transgressivo holocênico. 39
- Figura 20 - Fotografia aérea oblíqua a uma altitude de 700 m, da margem lagunar. Observam-se as feições formadas a partir da dinâmica do corpo lagunar, bancos paralelos, a uma distância aproximada de 500 m da linha de praia, e bancos transversais, com extensivos leques de washover na planície adjacente. Nota-se que o limite no sentido do corpo lagunar é uma escarpa afogada. (mod. de Toldo Jr., 1994). 41
- Figura 21 - Observa-se à direita da fotografia, próximo à margem da Laguna dos Patos, na linha dos moirões, a elevação formada pelo retrabalhamento eólico sobre os leques de *washover* transgredindo sobre um pequeno corpo de água. Devido ao cultivo agrícola na região esse cordão arenoso apresenta uma vegetação de gramíneas. 41
- Figura 22 - Fotografia panorâmica da escarpa pleistocênica, localizada no lado leste do paleopontal. A cota mais elevada dessa feição está localizada nas taquaireiras estendendo-se suavemente até a porção inferior da valeta de irrigação situada à esquerda. 42
- Figura 23 - Fotografias panorâmicas das feições de terraceamento holocênicas. A linha de árvores ao fundo marca o topo da escarpa com 3 m de altura. No primeiro plano é observada a planície lagunar atual.
A) Foto da escarpa situada no lado oeste do paleoembaiamento, esculpida sobre o paleopontal;
B) Foto da escarpa localizada no lado leste do paleoembaiamento. ... 43

Figura 24 - Representação esquemática da aquisição do GPR. A antena transmissora envia um pulso eletromagnético para o subsolo (entre 10 e 1.000 MHz), o qual se propaga até encontrar um refletor (meio com variação na constante dielétrica). Parte do pulso é transmitido e continua a se propagar pelo subsolo e parte é refletido e captado pela antena receptora, que transmite o sinal para a unidade controladora. ...	47
Figura 25 – Tabela das propriedades elétricas de alguns materiais geológicos para uma onda eletromagnética com 100 MHz de frequência (Davis & Annan, 1989).	48
Figura 26 - Tipos de arranjos de antenas mais comuns utilizados na aquisição com o GPR.	49
Figura 27 - A) Situação hipotética de imageamento contínuo por GPR; B) Respectiva seção tempo vs. distância.	50
Figura 28 - Sistema de aquisição do perfil geofísico. A unidade controladora e o <i>notebook</i> são operados por um técnico, enquanto outro desloca o barco com as antenas.	51
Figura 29 - Mapa de localização dos perfis geofísicos perpendiculares às principais feições de terraceamento na área de estudo.	52
Figura 30 - Disposição das antenas de transmissão e recepção, situadas no interior do barco utilizado para o deslocamento das mesmas. Espaçamento entre as antenas de 60 cm.	53
Figura 31 - Porção inicial da subseção 1A. Esse corte apresenta dois refletores horizontalizados que delimitam uma camada de lama orgânica (fácies 'A'). No topo dessa camada encontram-se areias formando uma pequena barreira transgressiva e a base apresenta uma superfície com evidências de exposição subaérea.	58
Figura 32 - Cortes das subseções 1A e 1B. I) Porção final da subseção 1A executada sobre lâmina de água. Observa-se a 1,50 m de profundidade a presença de um refletor horizontalizado. II) Porção inicial da subseção 1B executada com o terreno seco, o refletor bem definido no corte (I) apresenta menor resolução. Isso pode estar associado à perda de sinal na interface entre o sedimento seco e a franja capilar.	59
Figura 33 - Corte da porção final da subseção 1B. Observam-se nessa seção a presença de refletores em <i>downlap</i> sobre o embasamento pleistocênico. De acordo com o padrão e dimensões das estruturas apresentadas, essa fácies de radar sugere ser resultante da morfologia de dunas transgressivas, caracterizada pela forma irregular e grande porte.	60
Figura 34 - Subseção 2B. Essa subseção foi executada sobre o terraço lagunar holocênico. À esquerda observa-se a escarpa formada durante o máximo transgressivo de 5,1 ka, e à direita encontra-se a planície de inundação da Lagoa do Rincão. Notam-se nessa subseção a presença de refletores bem definidos, os quais representam a variação composicional dos sedimentos em subsuperfície; fácies 'C' de composição areno-lamosa e fácies 'D' de composição essencialmente arenosa. Observa-se entre 200-250 m o prisma de interferência gerado pela passagem por uma cerca de arame.	61

Figura 35 - Fotografia panorâmica na margem da Laguna dos Patos, localização próximo ao perfil batimétrico "P2". Observa-se a extensão regional da escarpa erosiva, aflorando sedimentos (lama e turfa) de um antigo depósito lagunar.	63
Figura 36 - Diagrama mostrando o sistema básico de configuração e funcionamento do ecobatímetro Honeywell Elac LAZ 4100. No detalhe, fotografia da unidade de aquisição utilizada no levantamento.	64
Figura 37 - Mapa de localização dos perfis batimétricos na margem da Laguna dos Patos.	65
Figura 38 - Seções dos perfis batimétricos 1 e 2. A profundidade do topo da escarpa encontra-se na isóbata de -1 m.	66
Figura 39 - Seções dos perfis batimétricos 3 e 4. A profundidade do topo da escarpa encontra-se na isóbata de -1 m.	67
Figura 40 - Mapa de localização dos testemunhos de sondagem.	69
Figura 41 – Testemunho (CP-04) sobre o terraço lagunar holocênico, utilizando um testemunhador <i>Vibracore</i>	71
Figura 42 - Retirada da seção testemunhada com o auxílio de uma talha. Terraço pleistocênico (testemunho CP-01).	71
Figura 43 - Testemunho sobre o terraço lagunar holocênico, próximo à margem da Laguna dos Patos, utilizando um testemunhador <i>Eijkelpamp</i>	72
Figura 44 - Início do processo de testemunhagem. Retirada da cobertura vegetal com os primeiros centímetros de solo.	72
Figura 45 - Amostra de lama orgânica coletada para datação radiométrica por ^{14}C . A coleta foi feita no contato discordante entre a superfície arenosa oxidada e a lama (testemunho CP-07).	75
Figura 46 - Sistema utilizado para a rasterização dos testemunhos. O <i>scanner</i> de mão é conectado ao microcomputador e colocado sobre uma placa de vidro em contato com o testemunho.	75
Figura 47 - Seções com feições representativas do testemunho CP-07. A) Detalhe da discordância no contato entre a lama orgânica e uma superfície arenosa oxidada. B) Detalhe de uma estratificação cruzada.	78
Figura 48 - Detalhe do testemunho CP-08 entre 1,10 e 1,80 m correlacionado com o perfil de radiância. Aproximadamente o corte das duas seções está em torno de 1,50 m coincidindo com a variação faciológica na porosidade e o refletor geofísico. Observa-se no perfil de radiância os picos indicando maior ou menor grau de compactação.	80
Figura 49 - Modelo ideal de variação do nível do mar (seqüência ideal) e sua relação com tratos de sistema (mod. de Haq, 1991).	87
Figura 50 - Esboço da carta cronoestratigráfica proposta para área de estudo. A legenda para a litologia apresentada encontra-se na Figura 51.	92
Figura 51 - Modelo esquemático representando os tratos de sistemas para os últimos 5,1 ka na margem leste da Laguna dos Patos. Perfis altimétrico e batimétrico compostos localizados próximo ao Pontal Cristóvão Pereira. .	93

-
- Figura 52 - I) Modelo ideal da feição de terraceamento; (AC) escarpa erosiva, (BC) plataforma de terraceamento, e (BDE) cunha de sedimentação (mod. de Fairbridge, 1968). II) Fotografia de micro-terraços formados pelo abaixamento descontínuo no nível de corpos de água temporários. Campo de dunas em Pinhal (Tomazelli, 1990). 96
- Figura 53 - Registro dos desvios na concentração relativa de ^{14}C na atmosfera (linha vermelha), calculada através de datações radiocarbônicas em anéis de árvores com idade conhecida. A linha verde representa a função de ajuste entre os dados. Na linha preta é apresentada as variações no campo magnético da Terra segundo Bucha, (1970). Como o campo magnético aumenta em intensidade (~7 até ~2 ka) o fluxo de raios cósmicos para a Terra é reduzido, causando uma diminuição na produção de ^{14}C (mod. de Eddy, 1977). 102

Capítulo 1

Introdução

1 - INTRODUÇÃO

1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O litoral do Rio Grande do Sul corresponde a uma extensa faixa arenosa paralela ao Oceano Atlântico, com cerca de 640 km de extensão, e que pode ser dividida em três grandes áreas: Litoral Norte, Litoral Médio e Litoral Sul. Esta Dissertação trata do estudo detalhado de uma porção do Litoral Médio, situada no Município de Mostardas (Fig. 1).

A área de estudo está situada na região conhecida como “Restinga da Laguna dos Patos”, uma faixa arenosa que constitui uma barreira múltipla complexa (Villwock, 1984), e cuja origem está relacionada às variações relativas do nível do mar durante o Período Quaternário, associadas a mudanças climáticas e de suprimento sedimentar.

Os principais eventos transgressivos e regressivos que atuaram nessa região ficaram registrados como feições morfológicas de terraços (*wave-cut terraces*) cuja altimetria varia para cada evento considerado. Dessa forma, os terraços podem ser utilizados como indicadores dos eventos transgressivos e regressivos, de idades pleistocênicas e holocênicas, que afetaram a região de estudo. Esse conhecimento propicia, por sua vez, uma melhor compreensão da

estratigrafia e evolução geológica dos sistemas deposicionais Laguna/Barreira III e IV da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, como definidos por Villwock *et al.* (1986).

1.2 – TRABALHOS ANTERIORES

O número de trabalhos precedentes abordando a geologia e geomorfologia da região de estudo é bastante reduzido. Dentre esses pode-se salientar os trabalhos de Delaney (1965), Zeltzer (1976), Jost & Soliani Jr. (1976) e Villwock *et al.* (1986, 1988).

A contribuição pioneira de Delaney (1965), caracteriza-se por ser um trabalho amplo englobando toda a Planície Costeira do Rio Grande do Sul. De caráter descritivo, abordou as principais feições geomorfológicas da região de estudo.

Zeltzer (1976), propiciou um conhecimento mais aprofundado na paleogeografia e geologia da “Restinga da Laguna dos Patos”, salientando as feições de terracamento e feixes de restingas nela existentes.

Jost & Soliani Jr. (1976) apresentaram um mapeamento geológico e geomorfológico em escala de 1:200.000 da faixa costeira situada entre Torres e São José do Norte incluindo, portanto, a área de estudo.

Um importante trabalho de mapeamento geológico foi apresentado por Villwock *et al.* (1986). Nesse trabalho os autores propõem uma nova sistemática de mapeamento para o Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul baseada no reconhecimento das fácies sedimentares e sua integração em sistemas deposicionais. Em outro trabalho subsequente

(Villwock *et al.*, 1988) essa nova sistemática foi aplicada na área de estudo com um mapeamento na escala de 1:100.000.

1.3 – JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

A região de estudo, pode ser considerada uma das “áreas-chave” para a melhor compreensão da evolução geológica do Quaternário costeiro do Estado. O número reduzido de trabalhos de detalhamento geológico e geomorfológico na região do Litoral Médio, área na qual se encontram importantes registros da evolução costeira do Rio Grande do Sul, foi um fator determinante para a sua escolha como área de estudo.

Esta Dissertação de Mestrado possui dois objetivos principais:

- avaliar as feições morfológicas de terraceamento (*wave-cut terraces*), suas variações altimétricas, em número e amplitude e sua estratigrafia e interpretá-las no contexto da evolução geológica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Para a execução desse objetivo selecionou-se uma área às margens da Laguna dos Patos onde se encontra um paleopontal muito bem preservado, no qual é possível distinguir várias feições representativas de eventos transgressivos e regressivos. Para quantificar esses registros, foram utilizados métodos de investigação inéditos na área, como perfilagens altimétricas, geofísicas e batimétricas;
- detalhar e revisar o Mapa Geológico das folhas de Mostardas e Cristóvão Pereira elaborado por Villwock *et al.* (1988) e apresentá-lo sob a forma digitalizada em escala de 1:100.000. Para esse objetivo os métodos aplicados incluem os

levantamentos aerofotográficos, imagens de satélite e checagem de campo.

A Dissertação é apresentada de acordo com a seguinte organização:

No **Capítulo 1** estão descritos os aspectos gerais da área, trabalhos anteriores, objetivos principais e localização da área de estudo.

O **Capítulo 2** abrange os aspectos fisiográficos, geomorfológicos e geológicos regionais, com ênfase nas feições e litologias encontradas na área de estudo.

Os métodos utilizados na aquisição dos dados em campo, junto com o processamento e resultados obtidos, estão descritos no **Capítulo 3** sob a forma de subcapítulos.

No **Capítulo 4** é feita uma tentativa de aplicação da estratigrafia de seqüências de alta resolução aos dados da região estudada.

Encerrando a Dissertação, as considerações finais encontram-se no **Capítulo 5** na forma de discussões e conclusões dos dados levantados.

1.4 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área de estudo localiza-se na porção média da barreira que separa a Laguna dos Patos do Oceano Atlântico. É delimitada pelas coordenadas geográficas 31° 00' e 31° 15' de latitude sul e de 50° 45' e 51° 15' de longitude oeste, e encontra-se inserida em sua totalidade no município de Mostardas (Fig. 1).

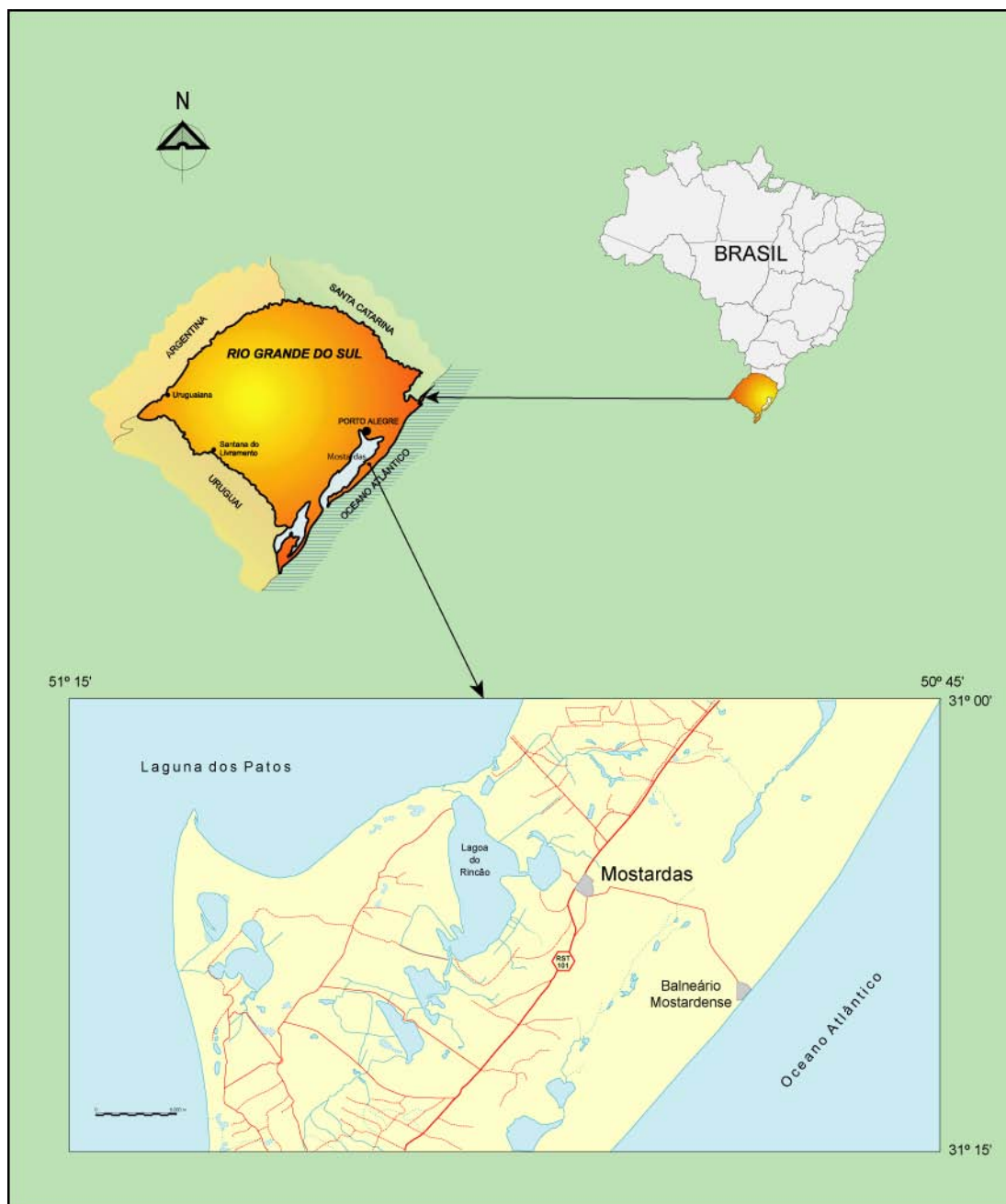


Figura 1 - Mapa de localização e acessos à área de estudo.

A sudeste, dentro da área de detalhamento, localiza-se o Parque Nacional da Lagoa do Peixe, um ecossistema costeiro singular e muito importante ao nível de biosfera.

O acesso à área a partir de Porto Alegre é feito utilizando-se a RS-040 em direção a Pinhal, dobrando a direita no município de Capivari (km 80) e seguindo pela RST-101 até o município de Mostardas.

No município de Mostardas os acessos até os limites da área são feitos por estradas secundárias sem pavimentação e que, em determinadas épocas do ano, tornam-se quase que intransitáveis devido à grande quantidade de areia presente.

1.5 – NOMENCLATURA

Nesse estudo optamos por utilizar a denominação “Laguna dos Patos” no lugar do já tradicional e popular nome “Lagoa dos Patos”, pois esse trabalho trata do contexto geológico da região adjacente. Assim concluímos que o nome genético dessa grande bacia modeladora das principais feições morfológicas da região seria o mais apropriado.

O termo escarpa, utilizado nesse estudo, caracteriza a falésia esculpida pela ação de ondas sobre a margem lagunar. Essa feição erosiva faz parte da morfologia de terraceamento, a qual é objeto de estudo dessa Dissertação.



Capítulo 2

Geologia e Características Físicas da Área de Estudo



2 - GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 - A PROVÍNCIA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL

A designação *Província Costeira do Rio grande do Sul* foi proposta por Villwock (1972) para “*um grupo de elementos geológicos (tectônico, estrutural, sedimentar e morfológico) característico da margem continental brasileira entre os paralelos de 28° 40’ e 33° 45’ de latitude sul*”.

Segundo Villwock (1984), as províncias geológicas formadas ao longo das margens continentais do Tipo Atlântico consistem basicamente de uma planície costeira e uma plataforma continental limitadas por uma linha de costa efêmera, e dominadas em diversos graus, por ambientes continentais transicionais e marinhos, cujas características essenciais dependem da interação de três fatores: a taxa de suprimento sedimentar, taxa de subsidência e variações do nível do mar.

Villwock (1984), compartimenta a Província Costeira do Rio Grande do Sul em duas unidades geológicas: o Embasamento e a Bacia de Pelotas. O Embasamento é composto pelo complexo de rochas pré-cambrianas do Escudo Sul-rio-grandense e pelas seqüências paleozóicas e

mesozóicas da Bacia do Paraná.

No Escudo destacam-se as unidades geotectônicas do Cinturão Dom Feliciano, constituindo uma faixa móvel correlacionável ao cinturão do sudoeste africano, e de seu antepaís ocidental, o Cráton do Rio de La Plata (Fragoso-César, 1980). Essas unidades constituem o Embasamento Pré-devoniano da Plataforma Sul-americana.

A partir do Devoniano iniciou-se a deposição na Bacia do Paraná instalada sobre o Embasamento Pré-Cambriano. Abrangendo uma área com 1.750.000 km², essa bacia é classificada, conforme Klemme (1980) como uma bacia do Tipo I – interior, simples, intracontinental (cratônica) e platiforme.

Ancorado no Escudo a partir do Cretáceo, o flanco sudeste da bacia, tornou-se o embasamento para o setor setentrional da Bacia de Pelotas onde, desde então, vem atuando como fonte para a sedimentação clástica terrígena.

A Bacia de Pelotas foi definida por Ghignone (1960) como uma ampla bacia preenchida por sedimentos terciários e quaternários, com uma superfície ocupada pela Laguna dos Patos e Lagoa Mirim, entre outras, na costa do Rio Grande do Sul. Muitos outros trabalhos sobre a Bacia de Pelotas foram publicados, a maioria com enfoque direcionado à prospecção de hidrocarbonetos, como a reavaliação da bacia realizada por Gonçalves *et al.* (1979) e os trabalhos de Asmus (1981), Asmus & Guazelli (1981) e Fontana (1989, 1990). Tomando como base trabalhos desses autores, Villwock (1984) definiu uma seção geológica esquemática da Bacia de Pelotas, a qual está representada na Figura 2.

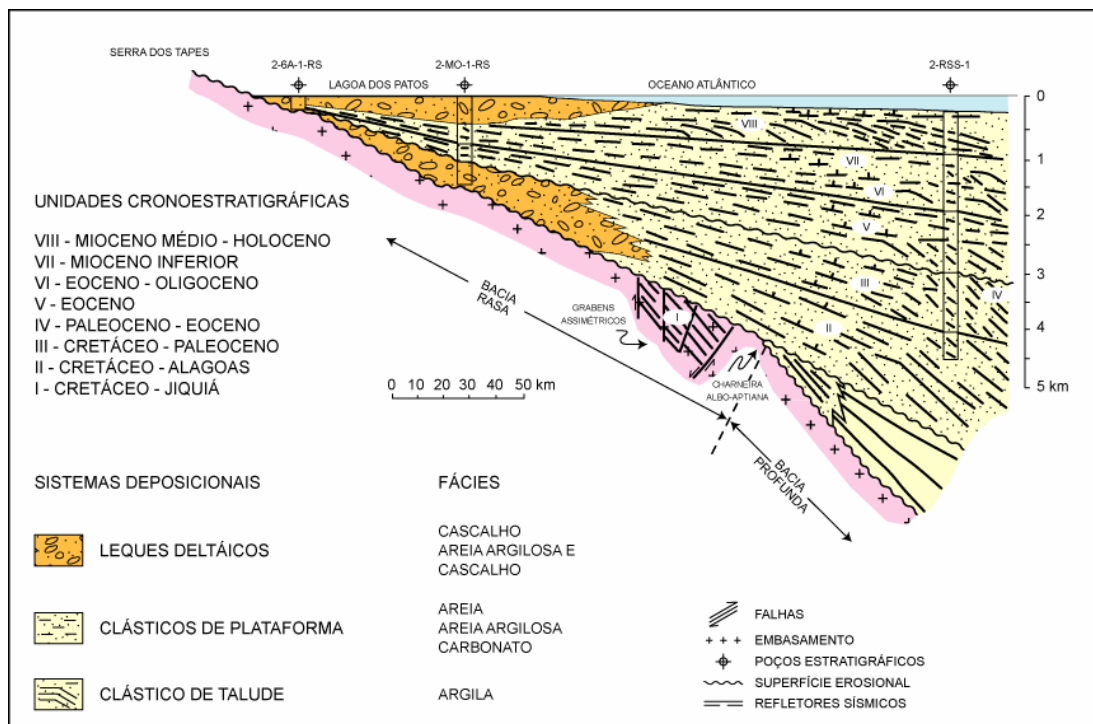


Figura 2 - Seção geológica esquemática da Bacia de Pelotas (compilada de Ojeda & Cesero, 1973; Ojeda & Silva, 1975; Gonçalves et al., 1979; Sanguinetti, 1980, 1981; Ornelas, 1981; Asmus & Guazelli, 1981 e Ojeda, 1982 apud Villwock, 1984).

Segundo Asmus & Porto (1972) a Bacia de Pelotas é definida como uma bacia marginal subsidente preenchida por seqüências clásticas continentais e transicionais. Sua origem está relacionada ao rifteamento que marcou a abertura do Atlântico Sul a partir do Jurássico, iniciando a formação das bacias marginais brasileiras. Dentro da classificação de Klemme (1980), enquadra-se no Tipo V – crosta intermediária e costeira, compreendendo o trecho meridional da margem continental brasileira ao sul da Plataforma de Florianópolis.

Na porção rasa a espessura dos sedimentos não excede 3.000 m, na área mais profunda distinguem-se três compartimentos semi-isolados, com espessuras de 6.000, 7.000 e 8.000 m nos seus depocentros, respectivamente de norte para sul. Segundo Fontana (1989) a maior espessura deve ultrapassar 10.000 m.

De acordo com Asmus (1983), a Bacia de Pelotas se diferencia das demais bacias da margem continental brasileira por registrar apenas o último estágio evolutivo, o oceânico. Segundo esse autor, os registros dos estágios anteriores deveriam ocorrer mais afastados da linha de costa, e estariam encobertos por espessos pacotes sedimentares.

Fontana (1990) identificou uma fase pré-rifte e uma pós-rifte. A primeira é representada por uma seqüência basáltica associada ao início do rifteamento. A segunda corresponde ao soterramento das seqüências do rifte sob um espesso prisma sedimentar. Uma discordância de idade albo-aptiana encobriu todas as unidades inferiores pelo progressivo “*onlap*” em direção à linha de charneira. No Mioceno a subsidência passou a ser mais efetiva pela atuação da flexura, acentuando-se os “*onlaps*” costeiros notados desde o Paleoceno. No Pleistoceno, um pacote de maior espessura foi depositado no Cone de Rio Grande.

A configuração da bacia sugere um abatimento longitudinal, relativamente raso. As falhas normais e as linhas de flexura são paralelas à margem continental, formando degraus escalonados (Fig. 3).

Jost (1971) observou que a Bacia de Pelotas, a partir de um dado instante, individualizou-se em duas bacias menores, das quais a de nordeste sofreu maior subsidência, enquanto que a de sudoeste foi menos afetada. Devido a isso resultou nas diferentes espessuras de sedimentos depositados em cada uma delas.

Gonçalves *et al.* (1979) dividiram os sedimentos da Bacia de Pelotas em oito unidades estratigráficas, depositadas desde o Albo-Aptiano até o Terciário. Dois sistemas de linhas de charneira também são identificados: o mais antigo, Albo-Aptiano, é mais profundo e mais afastado da costa. O outro, paleocênico, está em posição mais rasa e mais próxima da atual linha de costa. Segundo esses autores, a flexurização da bacia se

dá com o desenvolvimento de meio-grabens delimitados por falhas antitéticas.

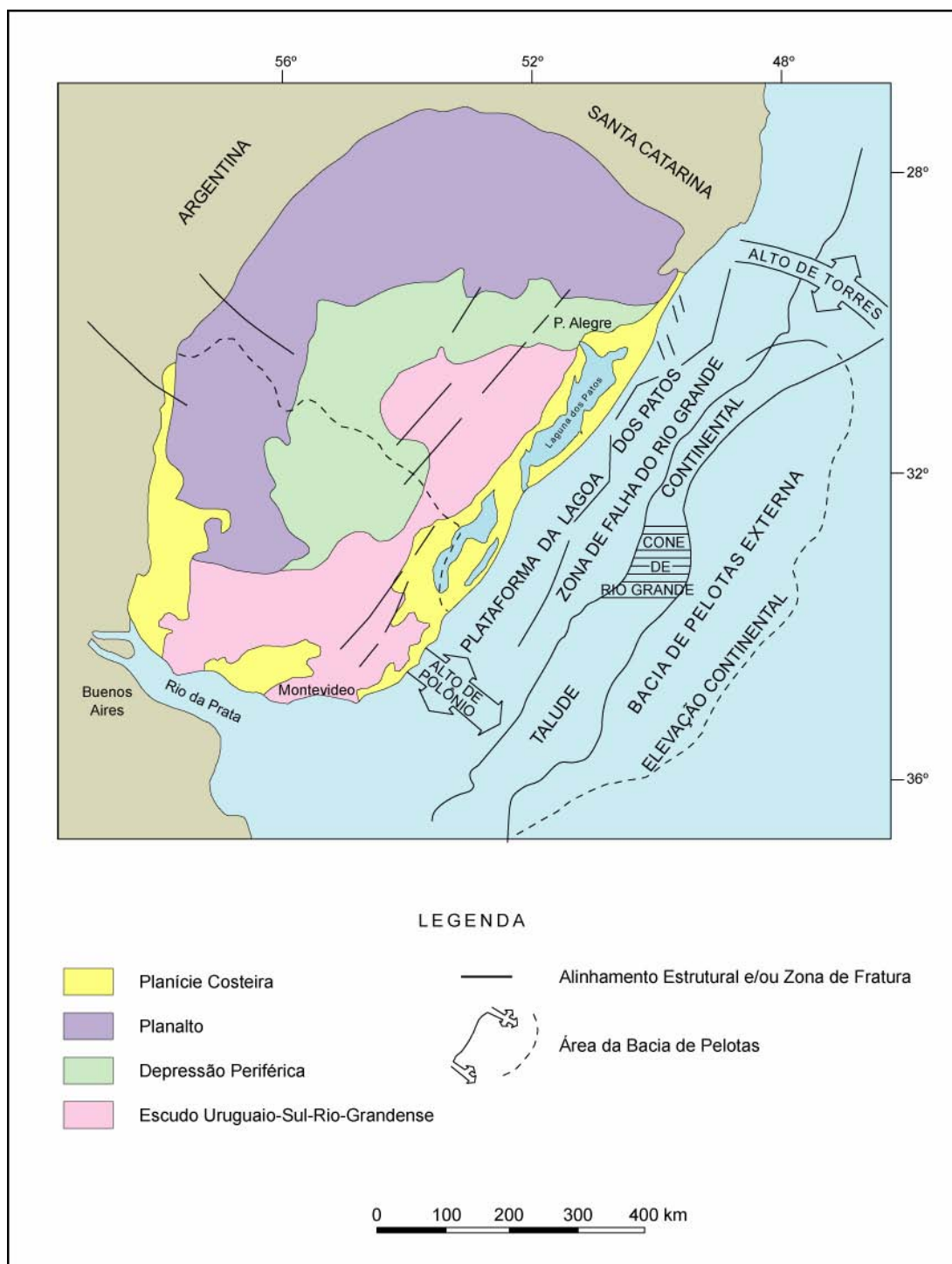


Figura 3 - Fisiografia e principais estruturas da Bacia de Pelotas e área continental adjacente. (Modificado de Urien & Martins, 1978, *apud* Dillenburg, 1988).

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul corresponde a uma feição fisiográfica onde estão expostos os sedimentos da porção superficial da Bacia de Pelotas, ou seja, os sedimentos da cobertura depositados desde o Terciário sob a influência de oscilações glácio-eustáticas do nível do mar e acentuadas variações climáticas.

Villwock (1984) apresentou a compartimentação geomorfológica da Província Costeira do Rio Grande do Sul (Fig. 4).

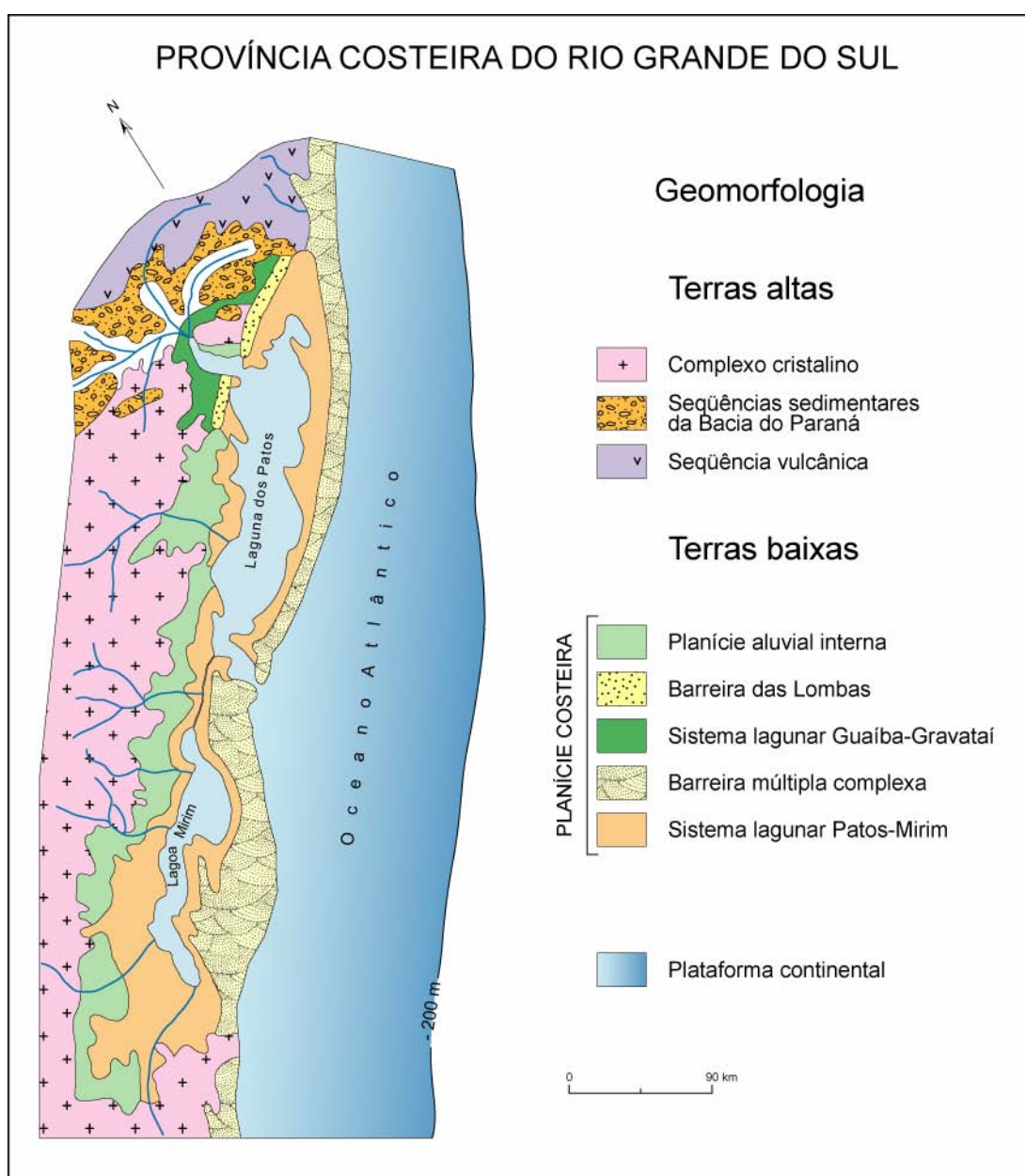


Figura 4 - Geomorfologia da Província Costeira do Rio Grande do Sul (mod. de Villwock, 1984).

Villwock *et al.* (1986) agruparam os depósitos sedimentares da planície costeira em sistemas deposicionais. Nesse trabalho os autores identificaram quatro “Sistemas Laguna/Barreira” e um “Sistema de Leques Aluviais” como responsáveis pelo desenvolvimento e progradação da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

Os três primeiros sistemas do tipo Laguna/Barreira marcam episódios de variação do nível relativo do mar durante o Pleistoceno, enquanto o último desenvolveu-se no Holoceno (Fig. 5).

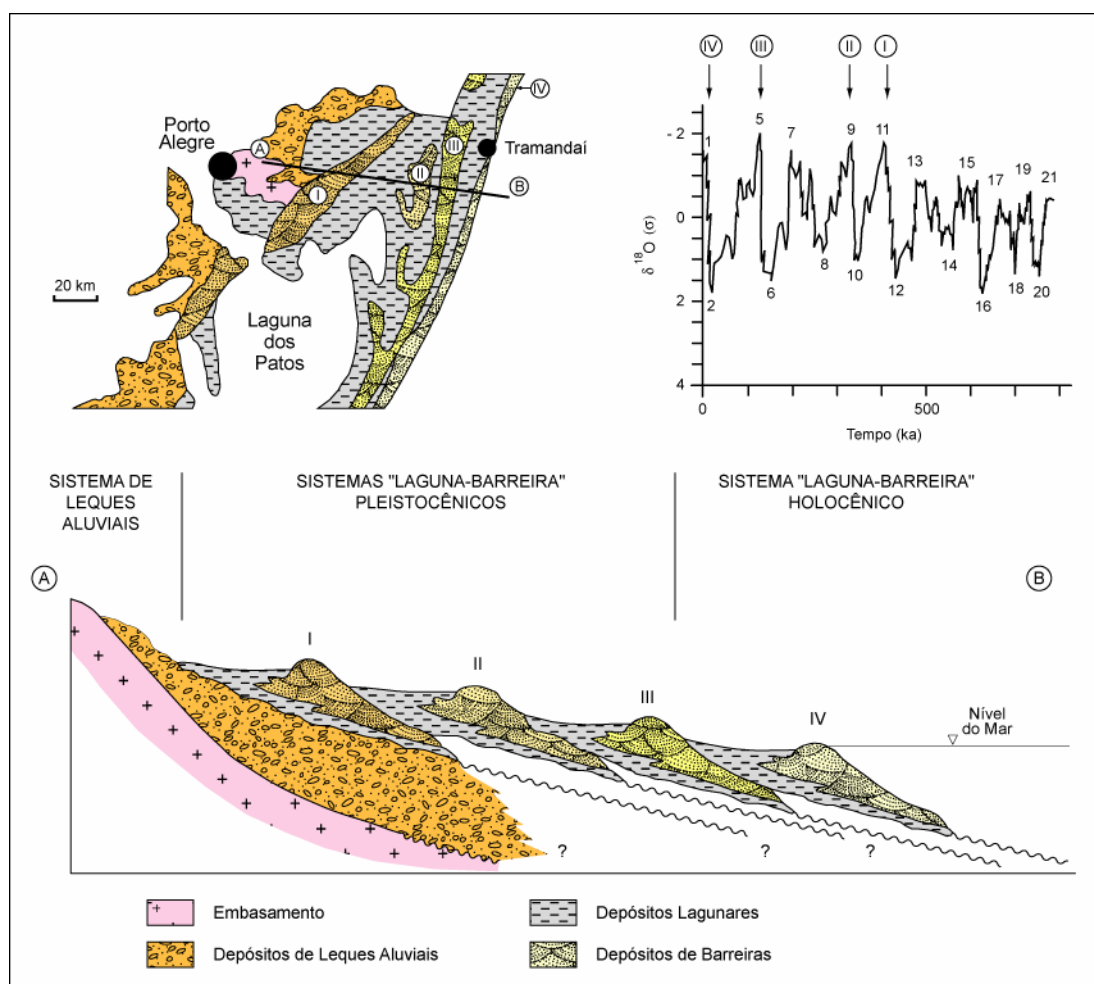


Figura 5 - Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul na latitude de Porto Alegre. As barreiras são correlacionadas aos últimos maiores picos da curva isotópica de oxigênio (Tomazelli & Villwock, 2000).

2.2 - SISTEMAS DEPOSICIONAIS COSTEIROS

Os sistemas deposicionais presentes na área de estudo, formaram-se após a penúltima transgressão que atingiu a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (sistemas Laguna/Barreira III e IV). Descrições desses sistemas estão presentes nos trabalhos de Villwock (1984) e Villwock *et al.* (1986).

O *Sistema Laguna/Barreira III*, associado ao terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico, foi o responsável pelo isolamento definitivo do Sistema lagunar Patos-Mirim. Na depressão isolada pela Barreira III ocorrem fácies lagunares, paludiais e fluviais. Nessa unidade são encontradas areias siltico-argilosas, pobremente selecionadas, de cor creme, maciças ou estratificadas, com concreções carbonáticas e ferruginosas disseminadas.

A estratigrafia da Barreira III, estudada em detalhe por Tomazelli *et al.* (1982) e Tomazelli (1985), indica uma seqüência prográdante (regressiva) composta por sedimentos praias quartzosos, finos e claros, bem selecionados e estratificados recobertos por areias eólicas. Níveis com grande concentração de *Ophiomorpha* (tubos fósseis de *Callichirus sp.*) marcam um paleonível do mar posicionado atualmente a cotas altimétricas em torno de 8-10 m. Segundo Tomazelli & Villwock (1991), a Barreira III pode ser correlacionada a depósitos marinhos arenosos estudados em outros setores da costa brasileira por Suguio & Martin (1978) e Bittencourt *et al.* (1979), vinculados à “Penúltima Transgressão” ou “Transgressão Cananéia”, datada de 120 ka por Martin *et al.* (1982). Terraços marinhos e lagunares associados ao Sistema Laguna/Barreira III mantêm-se entre as cotas de 8 e 15 m.

O *Sistema Laguna/Barreira IV* corresponde ao sistema deposicional mais recente encontrado na Planície Costeira do Rio Grande do

Sul. Desenvolveu-se no Holoceno, após a última transgressão marinha, cujo máximo foi atingido a cerca de 5,1 ka. Essa transgressão erodiu a Barreira III, esculpindo nessa uma falésia extensa e contínua em todo seu flanco leste. A regressão seguinte permitiu o desenvolvimento da Barreira IV, isolando uma série de corpos lagunares, que atualmente estão em diferentes estágios de segmentação. Na área de estudo, a Lagoa do Peixe, que possui um canal intermitente de ligação com o Oceano Atlântico, foi formada durante esse evento.

Nas Margens do Sistema Lagunar Patos-Mirim, uma sucessão de terraços entre as cotas de -1 a +4 m retratam oscilações do nível do mar durante essa fase regressiva.

Os sedimentos da Barreira IV são constituídos por areias quartzosas finas a muito finas, de origem eólica e praial. Em alguns setores praias, principalmente nos locais expostos à erosão, podem ocorrer elevadas concentrações de minerais pesados (ilmenita, rutilo, zircão).

2.3 – CLIMA

O Rio Grande do Sul possui um clima subtropical úmido, característico das latitudes médias, regido por massas de ar tropicais e polares (Strahler, 1977). É um clima do tipo *Cfa* – temperado chuvoso, mesotermal úmido, com verões quentes, na classificação de Köppen (1948).

Segundo Nimer (1977), a região é influenciada por dois centros de ação climática: os anticiclones Subtropical do Atlântico Sul e Polar Marítimo (Fig. 6). O primeiro é uma massa de ar tropical marítima de temperaturas elevadas a amenas, com forte umidade específica. Seu predomínio na região explica a relativa estabilidade do tempo. O segundo

origina a massa de ar móvel polar, cujos ventos, anticiclônicos e divergentes, produzem instabilidade climática.

Entre as duas massas existe uma zona de depressão onde são geradas duas correntes (de sul e de oeste), de circulação perturbada, as quais produzem chuva. A do sul, com massas de ar frio, seco e estável, é gerada pela invasão do anticiclone polar com sua descontinuidade frontal e direção SW-NE. A corrente gerada de oeste decorre de invasões periódicas de ventos de W-NW, entre meados da primavera e do outono, trazidos por linhas de instabilidade tropicais que acarretam chuvas com trovoadas.

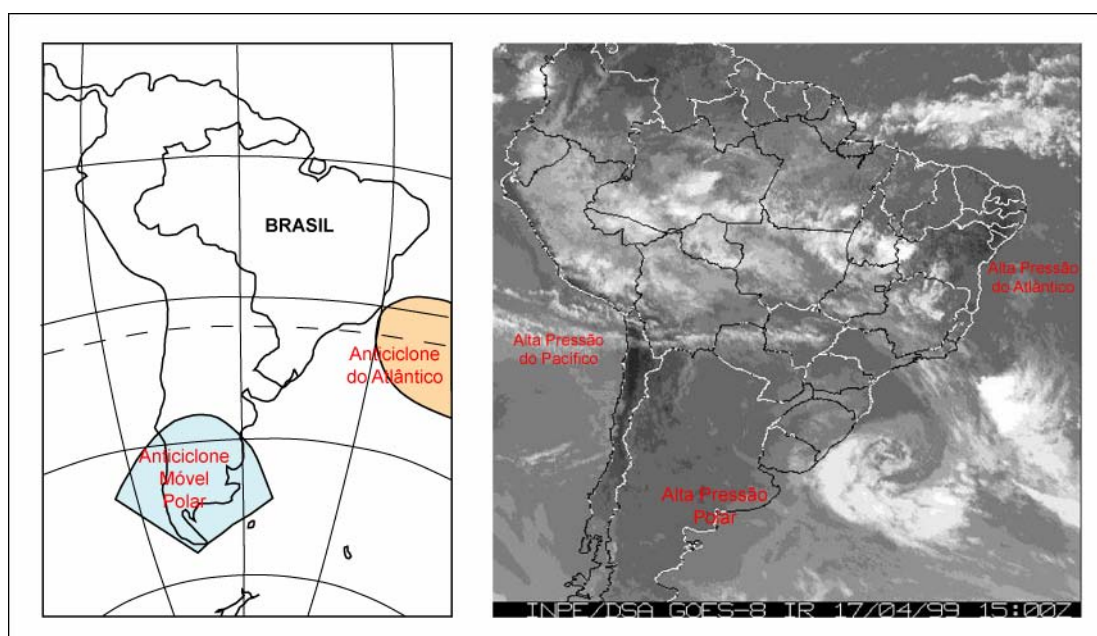


Figura 6 - Principais centros controladores do clima no Rio Grande do Sul (mod. de Nimer, 1977, por Tomazelli, 1990). Imagem do satélite GOES-8 banda infra-vermelho (INPE/DSA) mostrando o deslocamento de um ciclone pela costa do Estado no dia 17 de abril de 1999.

Na classificação de Köppen (1948) as adjacências da Laguna dos Patos são enquadradas no tipo climático *Cfag*, mesotérmico sem estação seca, de verão quente, varrido pelos ventos de nordeste durante a maior parte do ano, com chuvas distribuídas e temperaturas amenizadas pela vizinhança do Atlântico associado às massas de águas interiores. A temperatura média anual fica em torno de 17,5°C, com máximas e mínimas

absolutas acima de 38°C e abaixo de 0°C, respectivamente. Os ventos são predominantes de E-NE.

No Rio Grande do Sul as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, com precipitação média de 1.300 mm anuais, com aumento dos índices no inverno (Hoffmann *et al.*, 1992). O mapa da Figura 7 mostra as isoietas anuais para o Estado, relacionadas com as principais bacias hidrográficas.

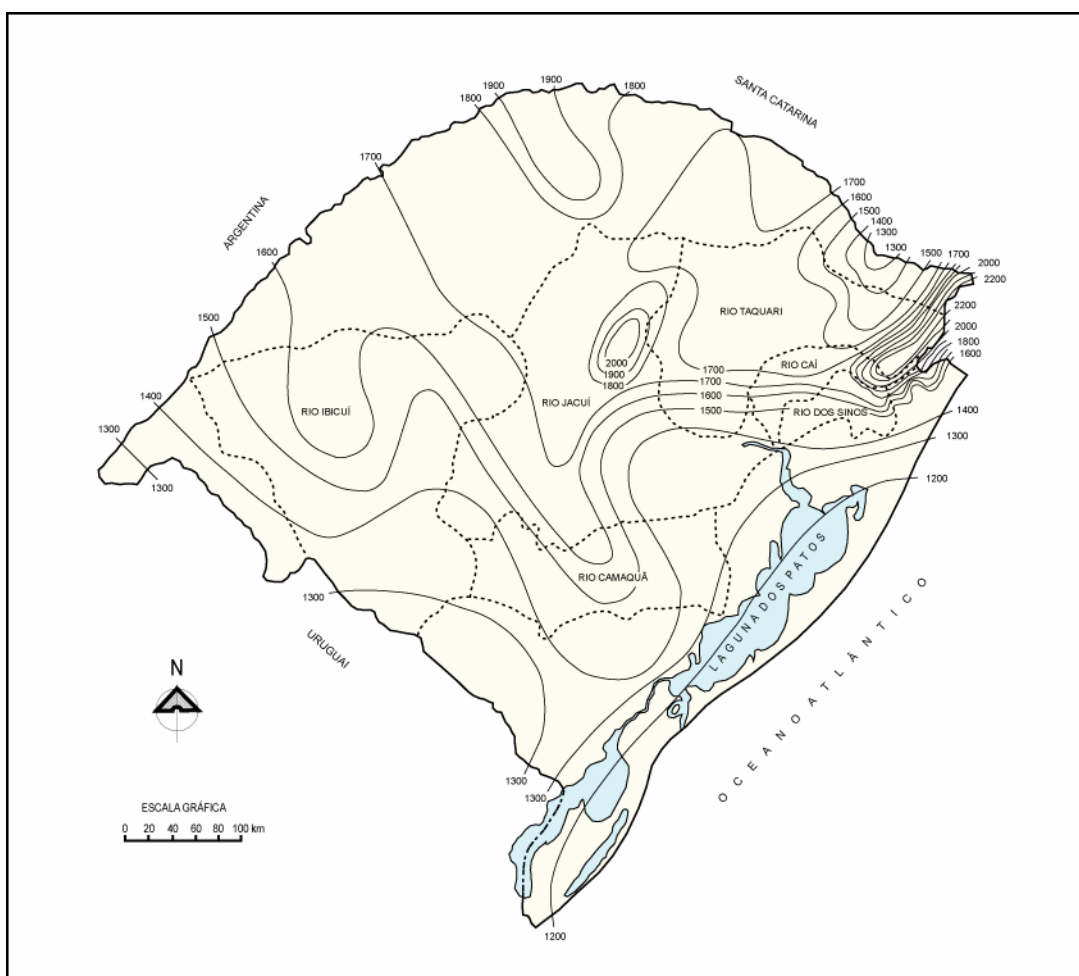


Figura 7 - Mapa de Isoietas anuais no Rio Grande do Sul (mod. de MT-GEIPOT, 1977).

2.4 – CORPOS LAGUNARES NA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo possui um número elevado de corpos lagunares, dentre os quais os mais importantes são a Laguna dos Patos, Lagoa do Rincão e a Lagoa do Peixe. O principal modelador da morfologia na região oeste da área de estudo, a Laguna dos Patos, será abordado com maior detalhe.

A Lagoa do Rincão ocupa parte de um embaiamento relíquia da Laguna dos Patos, mantendo ainda um canal permanente de ligação com a mesma. Essa lagoa representa a bacia de drenagem do lado leste do Pontal Cristóvão Pereira. Em suas margens são identificados terraços de abrasão, os quais fazem parte do detalhamento desse trabalho.

A Lagoa do Peixe é um corpo lagunar que se destaca no Litoral Médio, pois possui um canal de ligação temporário com o Oceano Atlântico, sendo o único corpo lagunar da região a apresentar águas mixohalinas.

Os principais aspectos fisiográficos da Laguna dos Patos foram descritos, entre outros, pelos seguintes autores: Delaney (1965), Jost (1971), Villwock *et al.* (1972), Villwock (1972, 1977), Soliani Jr. (1973), Godolphim (1976), Jost & Soliani Jr. (1976), Herz (1977), Alvarez *et al.* (1981), Toldo Jr. (1989, 1991 e 1994), e Toldo Jr. *et al.* (1991).

A Laguna dos Patos apresenta-se como um corpo alongado na direção SW-NE, paralelo a linha de costa, separado do mar pela Barreira Múltipla Complexa. Possui uma área de aproximadamente 11.000 km², com 220 km de comprimento, largura média de 33 km e máxima de 56 km. É conectada ao Oceano Atlântico pelo Canal de Rio Grande, e comunica-se com a Lagoa Mirim através do Canal de São Gonçalo. Na parte norte ramifica-se, tendo a NE a Lagoa do Casamento e a norte o Lago Guaíba.

Segundo Villwock (1984), a Laguna dos Patos se comporta essencialmente como um sistema estuarino no sentido de Bird (1968). As margens são rasas e as partes mais profundas estão confinadas à calha central e ao Canal de Rio Grande. Em seção transversal, a margem ocidental tem mergulho mais suave do que a oriental. Os principais elementos fisiográficos e a batimetria da Laguna dos Patos podem ser observados na Figura 8.

Além do traçado da linha de costa e dos agentes modeladores da margem lagunar, as oscilações do nível do mar exerceram considerável influência no estabelecimento da atual configuração do Sistema Patos-Mirim, condicionando o desenvolvimento da Barreira Múltipla Complexa.

Uma feição observada ao longo da margem lagunar é representada por um terraço situado entre cotas de 9 e 15 m de altitude, delimitado por uma escarpa suavizada que marca o máximo transgressivo do Sistema Laguna/Barreira III.

Outro terraço observado, mais preservado e de fácil identificação, circunda a Laguna dos Patos com cotas altimétricas variando de 2 a 5 m e está associado ao máximo transgressivo holocênico. Nessa superfície são observadas cristas de praia, antigos pontais ou esporões recurvados e lagoas colmatadas.

Próximo à margem lagunar encontra-se uma feição de terraceamento com cotas de no máximo 2 m. Essa escarpa erosiva é formada durante épocas de nível mais elevado na laguna. Esse nível com valores positivos na ordem de 1 a 1,5 m ocorre nos meses de inverno, sendo amplificado com ciclos tipo “*El Niño*”, associado ao empilhamento das águas pelo vento.

Uma escarpa submersa é encontrada entre as isóbatas de -1 e -1,5 m em quase toda a extensão da Laguna dos Patos. Essa feição está associada a um nível lagunar mais baixo que o atual.



Figura 8 - Batimetria e principais elementos fisiográficos presentes na Laguna dos Patos (mod. de HERZ, 1977).

Segundo Delaney (1965), a circulação na Laguna dos Patos se dá por influência dos ventos os quais também são responsáveis pela geração das ondas. A costa lagunar tende a orientar-se perpendicularmente à direção dos ventos que sobre ela incidem, ou à bissetriz resultante da direção dos ventos geradores das ondas. Na região costeira do Rio Grande do Sul prevalecem ventos soprando de nordeste (Fig. 9).

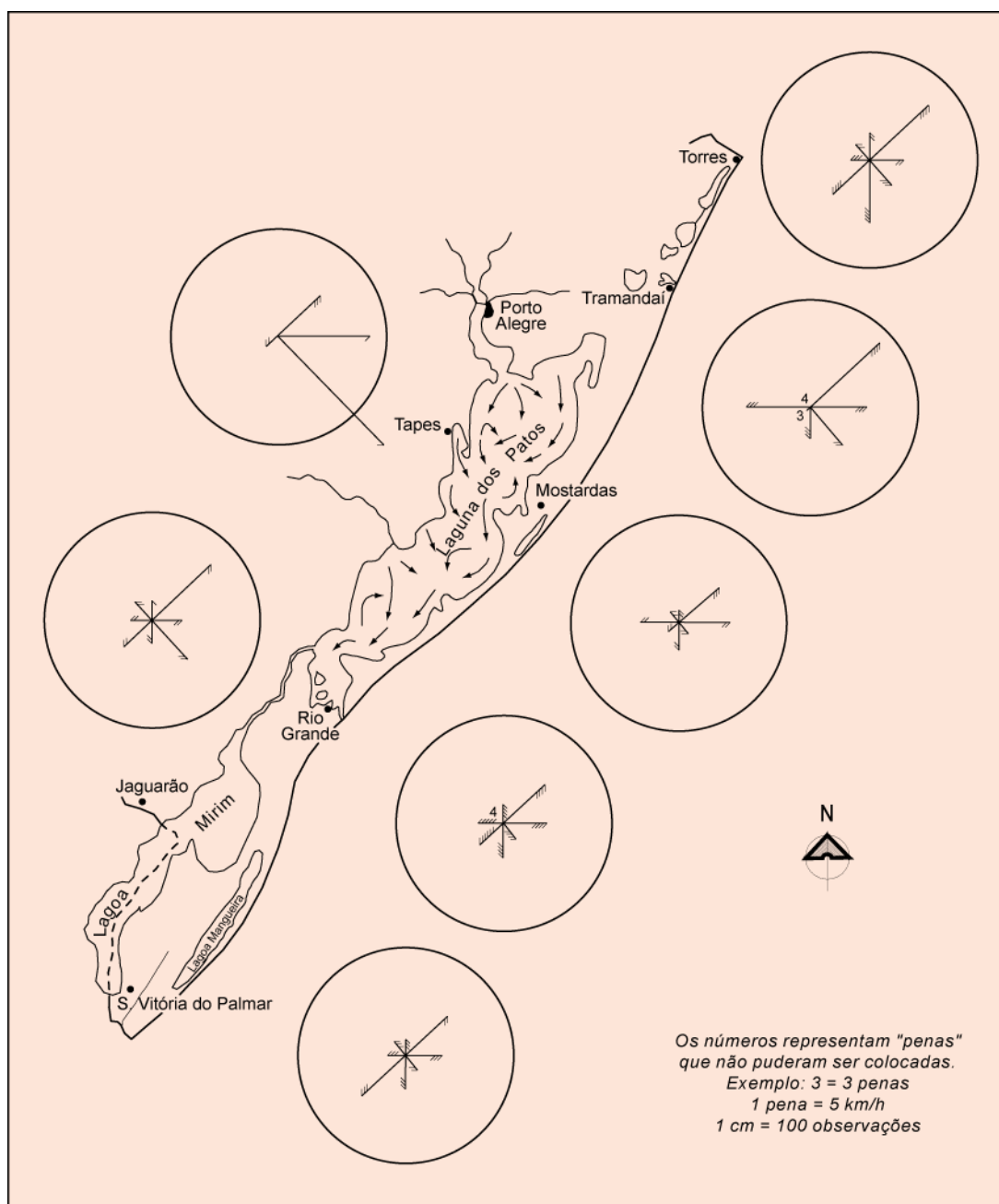


Figura 9 - Intensidade e direção predominantes dos ventos e circulação das águas na Laguna dos Patos (mod. de Delaney, 1965).

Mudanças nessa orientação, segundo Villwock (1972), são sempre acompanhadas por erosão ou deposição nas margens lagunares. A pista buscará uma posição de equilíbrio em função dessas modificações para coincidir com a direção dominante dos ventos, o que confere uma típica forma ovalada e alongada aos corpos lagunares.

Conforme Zenkovitch (1959), esses processos desenvolvem enseadas (por erosão) e esporões arenosos (por deposição) que tendem a convergir, alargando e segmentando os corpos lagunares em um colar de lagoas orientado paralelamente à direção predominante dos ventos (Fig. 10).

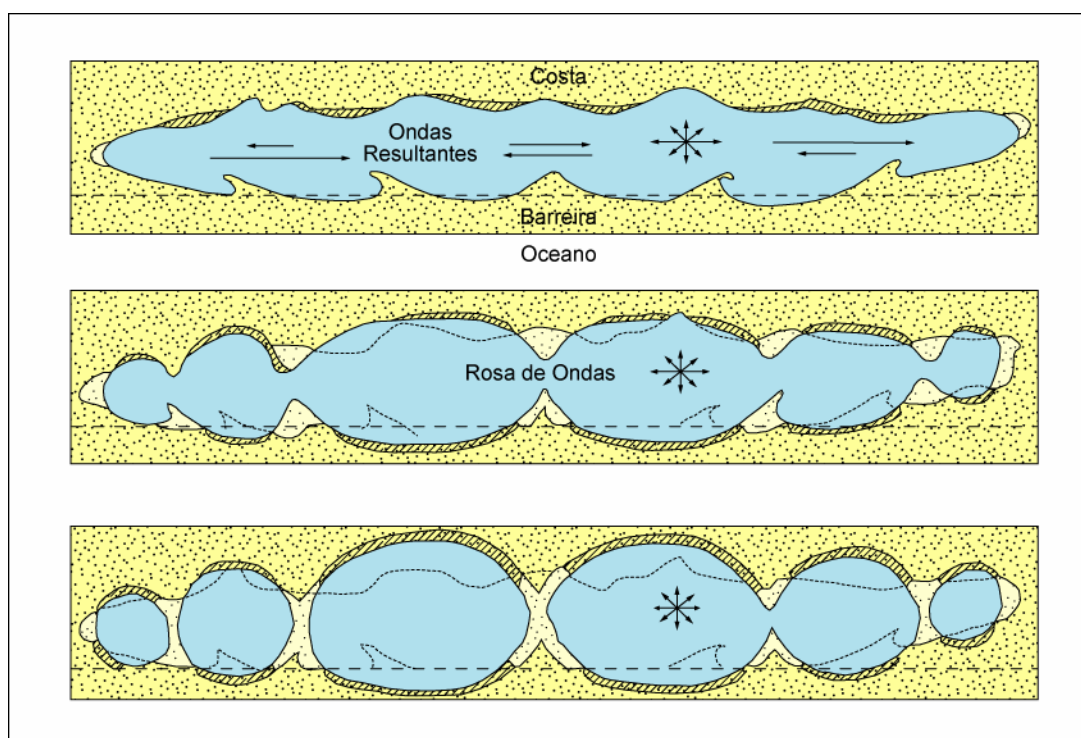


Figura 10 - Diagrama esquemático mostrando a evolução do processo de segmentação de corpos lagunares (segundo Zenkovitch, 1959).

Esse tipo de feição é bem representado na área de estudo pelo Pontal Cristóvão Pereira e um paleopontal que separa a Lagoa do Rincão da Laguna dos Patos. A direção de crescimento do pontal está condicionada à deriva litorânea observada no corpo lagunar, a qual está associada às células de circulação na Laguna dos Patos.

Capítulo 3

Métodos e Resultados

3 – MÉTODOS E RESULTADOS

Para o desenvolvimento dos trabalhos foi utilizado, inicialmente, o mapeamento executado por Villwock *et al.* (1988). Através desse trabalho, foi possível identificar alvos importantes no contexto evolutivo da região. Os dados utilizados incluíram o mapa geológico, na escala 1:100.000 (folhas Cristóvão Pereira e Mostardas) e as descrições de amostras de sedimentos inconsolidados coletadas nos trabalhos de campo do referido mapeamento.

A partir dessa base os trabalhos subseqüentes envolveram etapas distintas de coletas de dados em campo e laboratório, as quais seguiram uma seqüência lógica de aquisição, conforme o desenvolvimento do trabalho. Essas etapas consistiram de:

a) Sensoriamento remoto: utilização de fotografias aéreas, imagens de satélite e digitalização da base cartográfica com o objetivo de estabelecer os locais mais representativos das feições morfológicas de terraceamento;

b) Perfilagem altimétrica: utilização de uma estação total na coleta de dados em campo, com o propósito da confecção de perfis das feições morfológicas representativas na região;

c) Perfilagem geofísica: aquisição de dados através de um GPR (*Ground Penetration Radar*), tendo como propósito identificar estruturas em subsuperfície nos perfis representativos;

d) Testemunhagem: execução de uma série de testemunhos de sondagem utilizando testemunhadores *Vibracore*, *Percussão* e *Eijkelkamp*, com o objetivo de integrar ao imageamento obtido nos perfis geofísicos;

e) Perfilagem batimétrica: construção de perfis batimétricos com uma ecossonda, tendo como meta principal delimitar a extensão e profundidade de uma feição de terraceamento afogada na Laguna dos Patos;

f) Atividades laboratoriais: elaboração do processamento integrado de todos os dados perfilados em campo (altimétricos, geofísicos e batimétricos). Abertura dos testemunhos de sondagem, contando com descrição faciológica, perfilagem com *scanner* e coleta de amostras para análise granulométrica e datação radiocarbônica. Digitalização do Mapa Geológico atualizado, na escala 1:100.000 (folhas Cristóvão Pereira e Mostardas), o qual é apresentado em anexo.

3.1 - SENSORIAMENTO REMOTO

3.1.1 - INTRODUÇÃO

A área de estudo localiza-se em uma região de difícil acesso. Devido a esse fator, partimos para uma primeira aproximação através da interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite, associada aos mapeamentos geológicos preexistentes de Villwock *et al.* (1988) e Villwock *et al.* (1994).

Esse primeiro contato com a área através do sensoriamento remoto proporcionou uma visão geral dos objetivos a serem alcançados. Com isso estabeleceu-se uma estratégia de coleta de dados em campo, sendo possível desde então, identificar e correlacionar unidades geológicas observadas através do sensoriamento remoto com os mapeamentos preexistentes.

3.1.2 – MATERIAIS E MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO

Para a execução dessa etapa foram utilizadas fotografias aéreas de levantamentos feitos em três datas distintas (Fig. 11), partindo de escalas de menor para maior detalhe, com o objetivo de uma observação em escala regional abrangendo as macrofeições, seguindo para o estudo detalhado na identificação das feições de terraceamento.

Associada à fotointerpretação utilizamos duas imagens de satélite LANDSAT TM-5 (221/082), bandas 5,4,3 (Fig. 12). Essas imagens

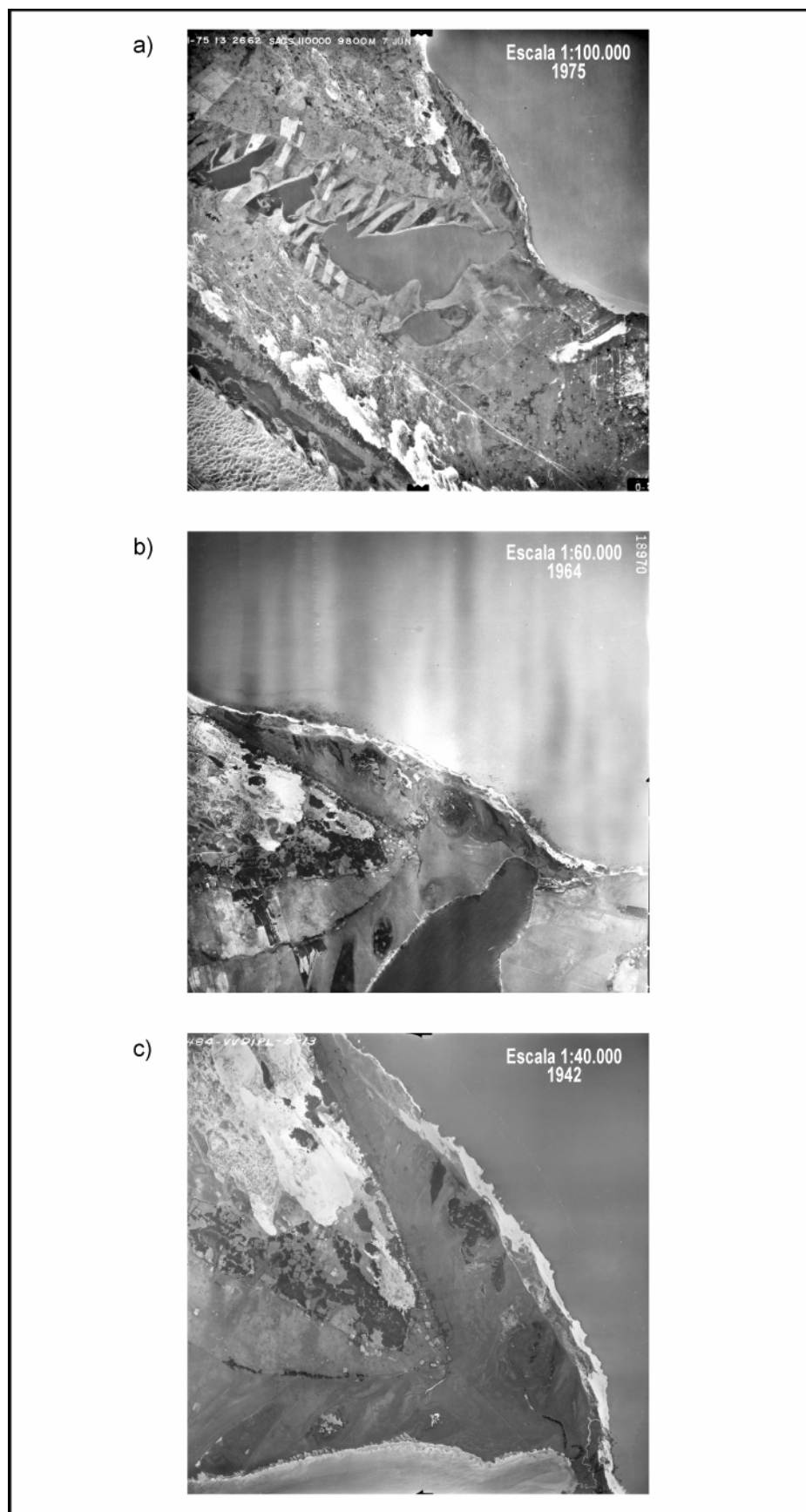


Figura 11 - Seqüência de fotografias aéreas da área de detalhamento. Nas três fotos é possível a identificação das feições de terraceamento.

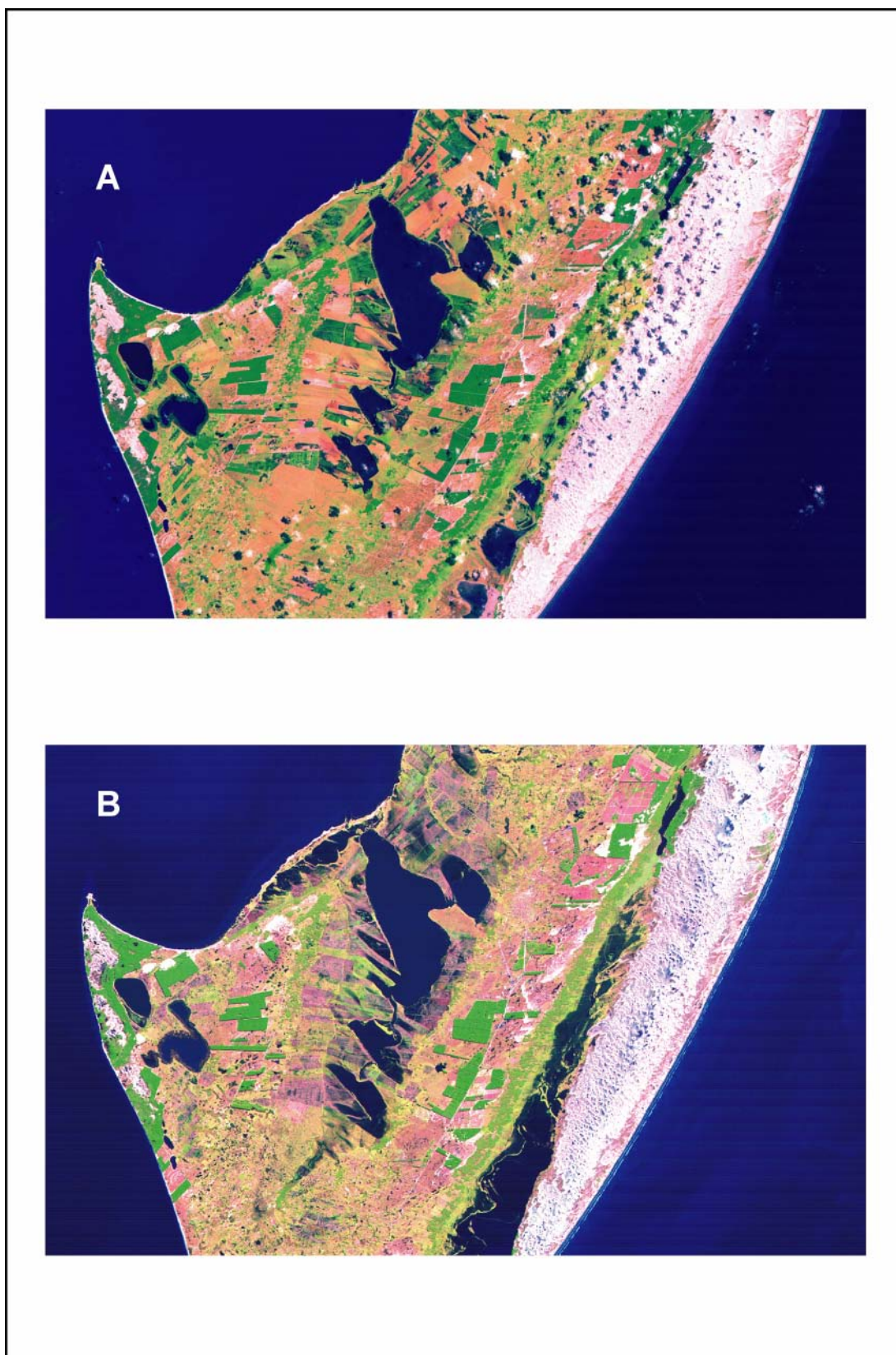


Figura 12 - Seqüência de imagens de satélite LANDSAT TM-5 (221/082) bandas 5,4,3. A) Imageamento em 06/01/1997, estação seca (Verão); B) Imageamento em 01/07/1997, estação chuvosa (Inverno).

com datas distintas de aquisição, 06/01/1997 (verão) e 01/07/1997 (inverno), tiveram por objetivo identificar variações sazonais na área de estudo.

Junto à fotointerpretação e à análise das imagens de satélite, foram utilizados os mapeamentos geológicos preexistentes, de Villwock *et al.* (1988) na escala 1:100.000 e Villwock *et al.* (1994) na escala de 1:1.000.000.

3.1.3 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

Na fotointerpretação observamos que uma área em especial, próxima à margem da Laguna dos Patos, possui características ímpares, as quais registram os últimos eventos transgressivos e regressivos holocênicos na região, bem como um evento transgressivo pleistocênico.

No fotomosaico da Figura 13 são observadas feições de terraceamento formadas a partir da ação de ondas, esculpindo duas escarpas erosivas na margem lagunar ativa (C e D). Em outros locais, mais distantes da margem atual e em um paleoembaiamento, observamos a presença de outras escarpas de terraceamento preservadas (A e B). Outra feição de terraceamento observada nesse mosaico está afogada (E), indicando um nível lagunar mais baixo do que o atual.

As escarpas de terraceamento A e B (discordantes) representam o contato de unidades geológicas, mapeadas e inseridas nos sistemas Laguna/Barreira III e IV (Villwock *et al.*, 1986). Outra característica importante observada nessa primeira aproximação foi a variação sazonal no nível da Laguna dos Patos, registrada em duas imagens de satélite obtidas no verão e inverno de 1997 (Fig. 12).

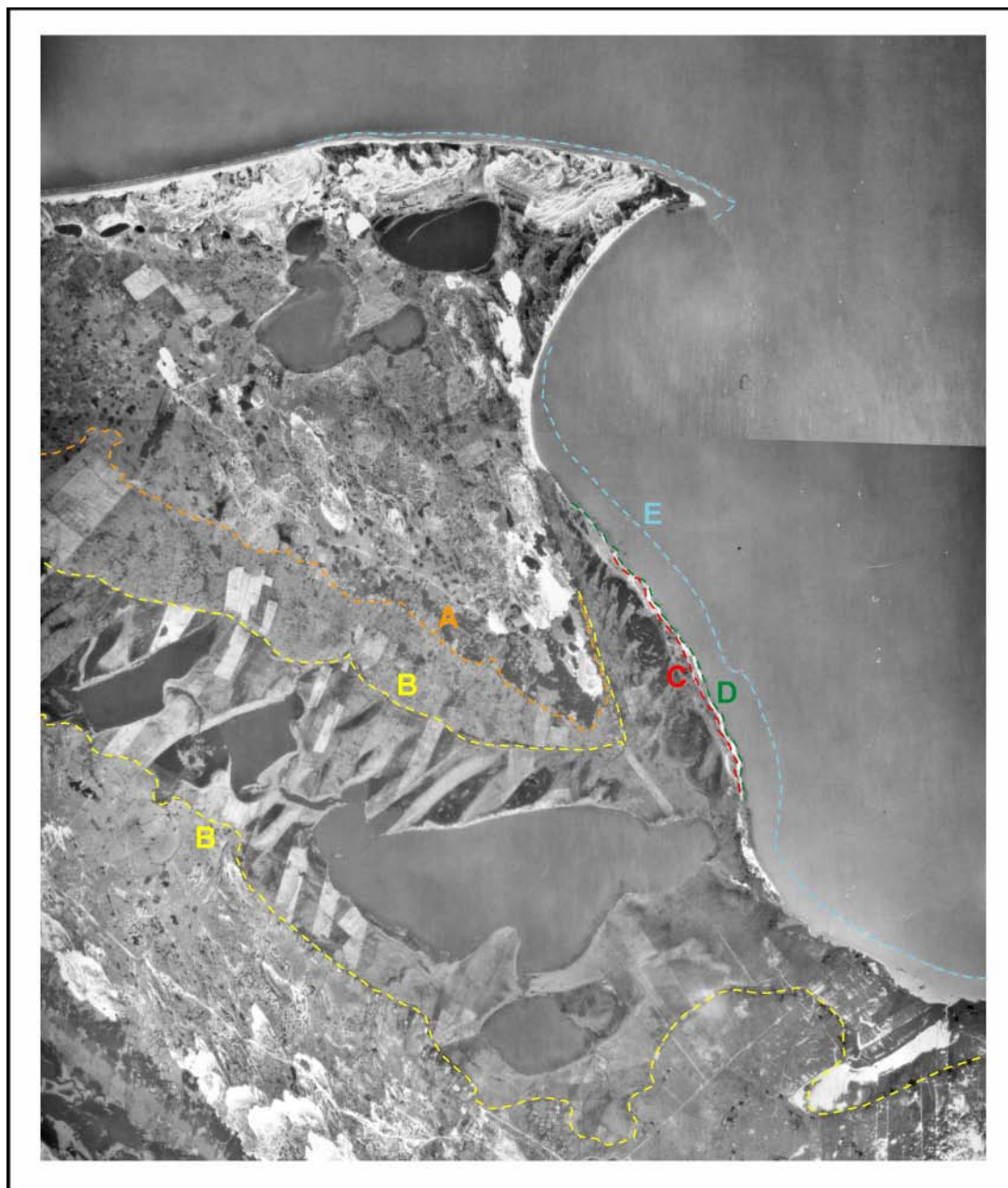


Figura 13 - Fotomosaico abrangendo as principais feições geomorfológicas da área de estudo. As linhas tracejadas representam as escarpas das feições de terraceamento. A) Linha da escarpa no máximo transgressivo de 120 ka; B) Linha da escarpa no máximo transgressivo de 5,1 ka; C) Linha da escarpa formada no nível lagunar dos meses de inverno; D) Linha da escarpa formada no nível médio da Laguna dos Patos e E) Linha da escarpa afogada encontrada da isóbata em torno de - 1 m.

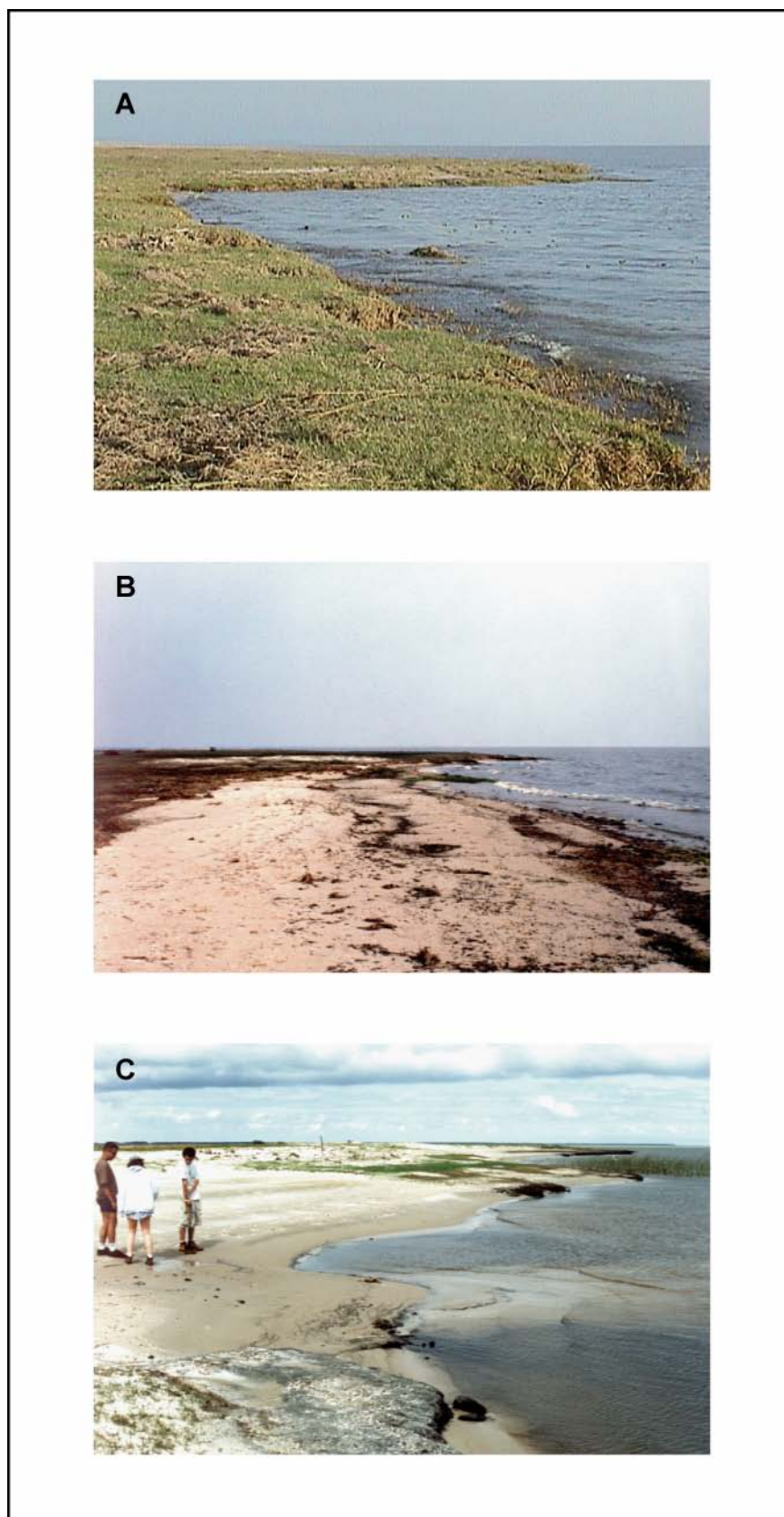


Figura 14 - Seqüência de fotos na margem da Laguna dos Patos em três datas distintas. Observa-se a variação no nível lagunar. A) 23/05/1998 (nível lagunar máximo observado); B) 02/09/1998 (nível lagunar intermediário observado); C) 30/12/1998 (nível lagunar mínimo observado).

Assim, já nesta primeira etapa do trabalho foi possível interpretar que as feições erosivas detectadas correspondiam a:

- um terraço mais elevado (A), preservado no interior do paleoembaiamento, que foi formado durante o evento transgressivo pleistocênico de 120 ka;

- um terraço interior (B), com abrangência regional, observado em toda a área de estudo, que foi formado durante o máximo transgressivo holocênico de 5,1 ka;

- dois outros terraços em processo de formação no presente (C e D), os quais possuem diferenças altimétricas devido à variação sazonal no nível da Laguna dos Patos (Fig. 14);

- um terraço que se encontra submerso (E), e cuja borda situa-se a aproximadamente 1 km da margem atual da Laguna dos Patos (Fig. 13). Essa feição de extensão regional (pode ser observada praticamente em toda margem da Laguna dos Patos) foi formada em um nível lagunar mais baixo do que o atual.

Na análise das formas do paleopontal e do Pontal Cristóvão Pereira (Fig. 15), observa-se uma acentuada semelhança morfológica entre ambos, inclusive na configuração do “gancho” encontrado na parte terminal das duas feições. Esse fato sugere que a dinâmica da Laguna dos Patos envolvida no crescimento dos pontais manteve-se a mesma. A dinâmica lagunar durante o máximo transgressivo de 120 ka (crescimento do paleopontal) era semelhante à dinâmica atual (crescimento do Pontal Cristóvão Pereira).

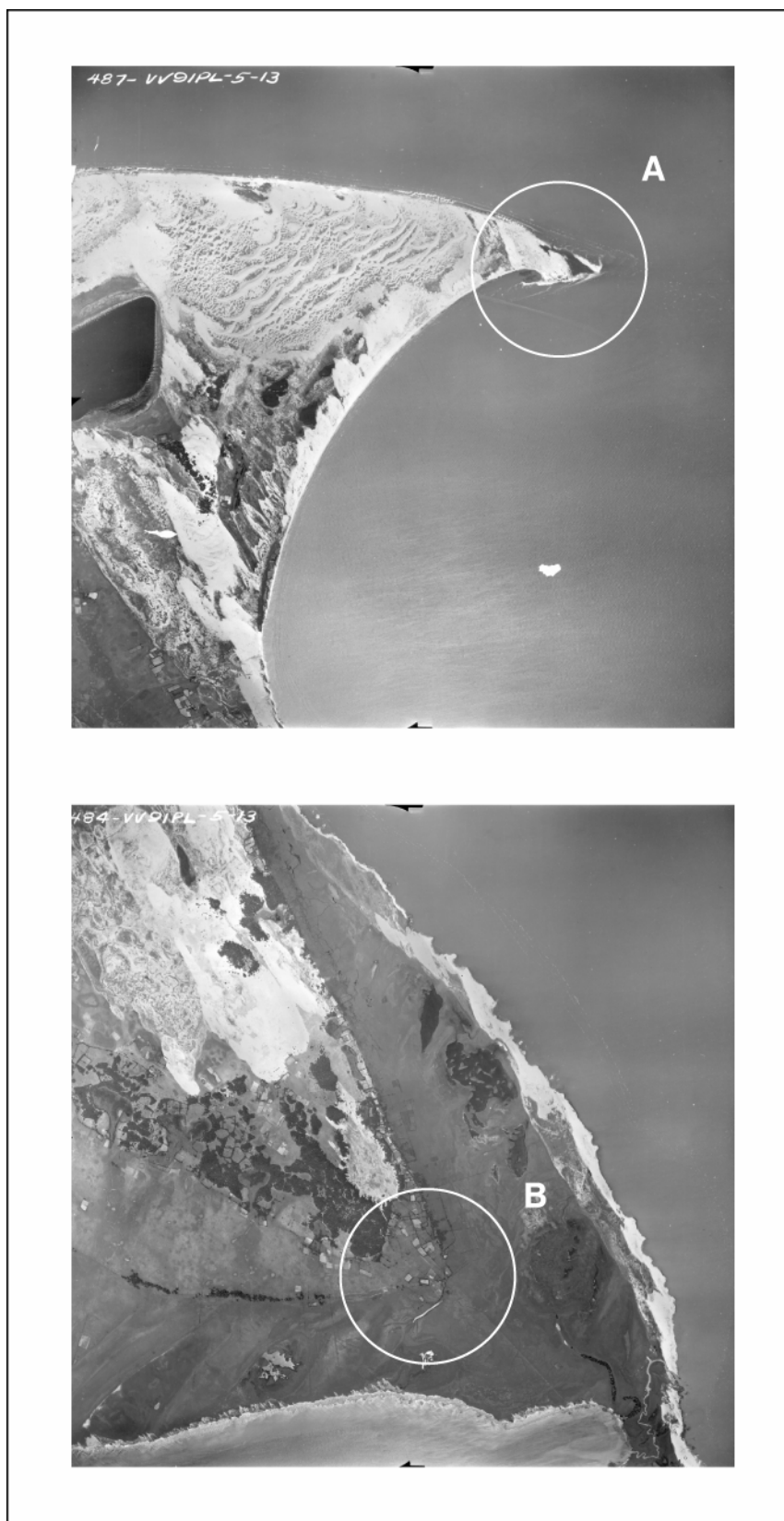


Figura 15 - Fotografias aéreas verticais onde é possível identificar a semelhança na forma dos "ganchos" nos pontais. A) Pontal Cristóvão Pereira; B) Paleopontal Cristóvão Pereira. Escala 1:40.000.

3.2 – PERFILAGEM ALTIMÉTRICA

3.2.1 – INTRODUÇÃO

As feições morfológicas encontradas na área de estudo foram apresentadas, em trabalhos anteriores de forma somente descritiva. Essas descrições estavam embasadas em fotointerpretação e nos mapas da Divisão de Serviço Geográfico do Exército (DSG), associadas com trabalhos de campo compatíveis com as escalas dos mapeamentos. Assim, as variações altimétricas para as unidades mapeadas foram definidas somente de forma aproximada.

Com o objetivo de quantificar as feições morfológicas de terraceamento formadas durante os eventos transgressivos e regressivos, tanto em extensão como altimetria, foram elaborados perfis topográficos representativos dessas unidades (Fig. 16).



Figura 16 - Mapa de localização dos perfis altimétricos representativos das principais feições de terraceamento na área de estudo.

3.2.2 – MATERIAIS E MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO

Os trabalhos de elaboração dos perfis topográficos tiveram início em laboratório, onde, com o apoio da base cartográfica (Folha Cristóvão Pereira, DSG), foram definidas as áreas mais representativas. Nessa etapa optamos pelo levantamento de dois perfis perpendiculares às linhas de praia atuais e pretéritas (Fig. 16).

Para o levantamento altimétrico em campo utilizamos uma estação total “Zeiss”, modelo ELTA 50R (Fig. 17). A precisão desse equipamento está baseada na norma DIN 18723, com medidas de ângulos em $5''/1.5$ mgrads e de distâncias em $5\text{mm}+3\text{ppm}$. Integra ainda esse equipamento uma baliza com um prisma de espelhos, o qual reflete o feixe infravermelho emitido pela estação e que é utilizado na medição da distância e ângulo do ponto alvo. A compatibilidade da estação com o sistema IBM-PC permite que os dados sejam extraídos da unidade via porta serial.



Figura 17 - Sistema utilizado em campo, constando da estação total "Zeiss" e uma baliza com um prisma de espelhos operada por dois técnicos.



Figura 18 - Perfil altimétrico na margem da Laguna dos Patos. A leste encontra-se a escarpa formada durante a última grande transgressão holocênica de 5,1 ka. A oeste a elevação indica uma pequena barreira transgressiva, os primeiros 50 m do perfil marcam a linha de praia atual.

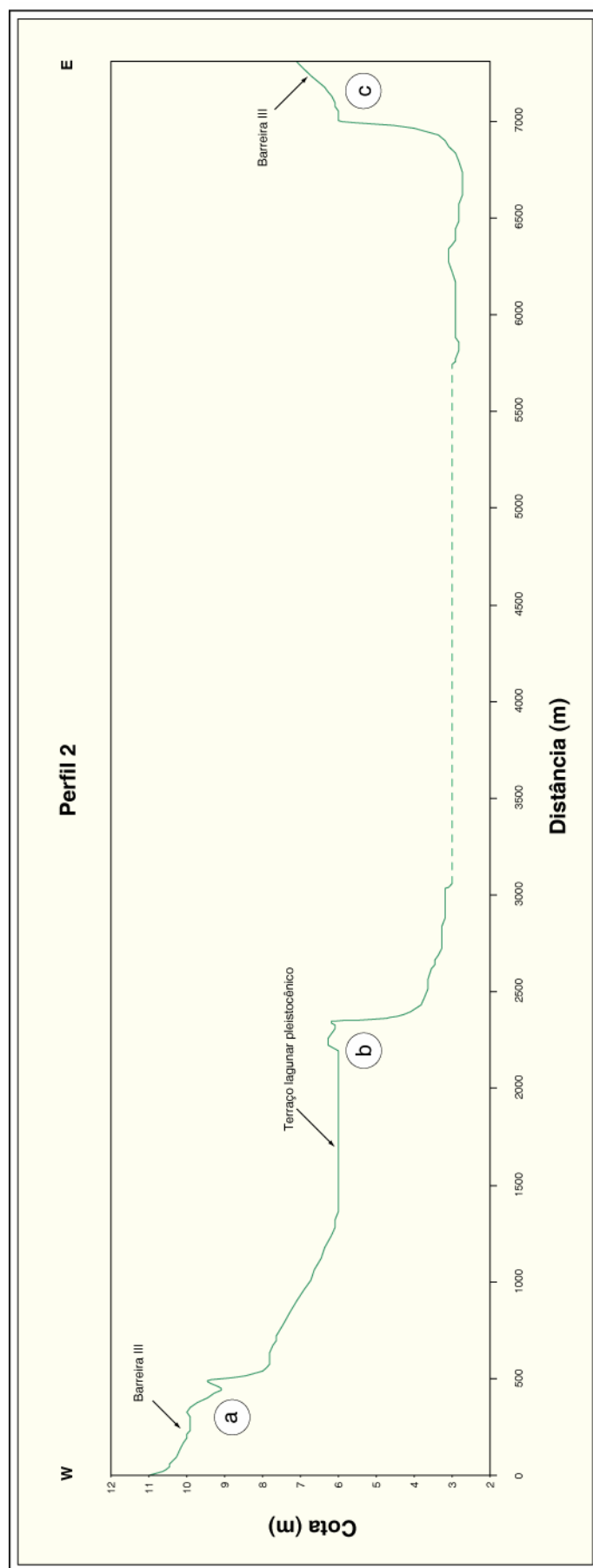


Figura 19 - Perfil altimétrico transversal à Lagoa do Rincão. A oeste encontram-se duas escarpas: a) formada durante a transgressão pleistocênica de 120 ka; b) formada durante a última grande transgressão holocênica de 5 ka. A leste a escarpa identificada no perfil (c) também está relacionada ao último evento transgressivo holocênico.

O posicionamento e orientação dos perfis contaram com a utilização de um GPS (*Global Position System*) Garmin com 12 canais, o qual possui uma precisão compatível com a escala de trabalho. Para a execução do levantamento foi coletada uma coordenada no início de cada perfil e outra no seu final.

Para a correção altimétrica dos perfis a um *datum*, os mesmos foram nivelados ao RN 13 do DAER (Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem) com 19,462 m de altitude, localizado na RST-101, entre Mostardas e Tavares, no km 13, encontrando-se fixado perpendicularmente 40 m à direita do eixo da estrada.

A planilha de dados coletados pela estação foi gerada no sistema de coordenadas planas associadas à variação altimétrica do terreno (x, y e z), proporcionando a apresentação dos mesmos, tanto sob a forma de perfis quanto em planta. Na construção dos perfis em laboratório as distâncias foram corrigidas matematicamente através do uso da Fórmula de Pitágoras ($a^2 = b^2 + c^2$), obtendo assim os perfis da distância real percorrida em campo (Figs. 18 e 19).

3.2.3 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

A análise dos perfis permite detectar a existência de uma grande diferença entre os lados oeste e leste do paleoontal Cristóvão Pereira.

No lado oeste, margem da Laguna dos Patos, encontra-se o Perfil 1 (Fig. 18), com uma escarpa relíquia interiorizada formada durante um nível lagunar mais elevado, que possui uma altura de 3 m. Próximo à margem lagunar desse perfil encontra-se uma elevação em torno de 1 m em

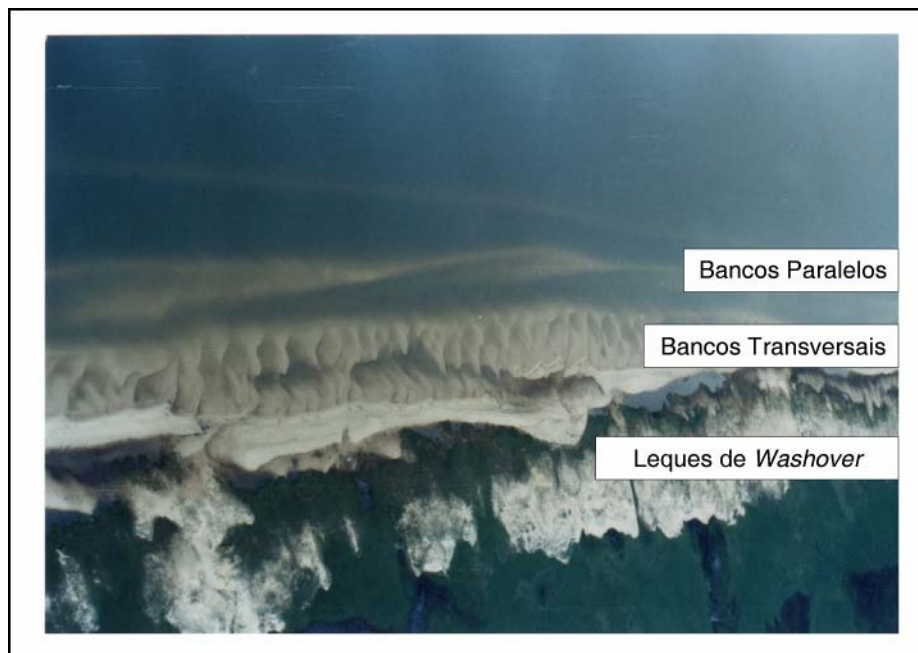


Figura 20 - Fotografia aérea oblíqua a uma altitude de 700 m, da margem lagunar. Observam-se as feições formadas a partir da dinâmica do corpo lagunar, bancos paralelos, a uma distância aproximada de 500 m da linha de praia, e bancos transversais, com extensivos leques de *washover* na planície adjacente. Nota-se que o limite no sentido do corpo lagunar é uma escarpa afogada. (modificado de Toldo Jr., 1994).



Figura 21 - Observa-se à direita da fotografia, próximo à margem da Laguna dos Patos, na linha dos moirões, a elevação formada pelo retrabalhamento eólico sobre os leques de *washover* transgredindo sobre um pequeno corpo de água. Devido ao cultivo agrícola na região esse cordão arenoso apresenta uma vegetação de gramíneas.



Figura 22 - Fotografia panorâmica da escarpa pleistocênica, localizada no lado leste do paleopontal. A cota mais elevada dessa feição está localizada nas taquaireiras estendendo-se suavemente até a porção inferior da valeta de irrigação situada à esquerda.

relação à linha de praia. Essa pequena elevação com 450 m de largura está associada a leques de *washover* retrabalhados pelo vento (Fig. 20), formando um cordão de pequenas dunas transgressivas geralmente vegetadas (Fig. 21).

A margem atual possui duas escarpas, uma de maior amplitude, formada durante eventos de nível máximo da laguna, e outra de menor amplitude, que está associada ao nível médio da Laguna dos Patos.

Na escarpa formada no nível médio da laguna é possível observar a erosão de um antigo corpo lagunar com afloramentos de lama e turfa (Figs. 14 e 35).

O Perfil 2 apresenta três escarpas no lado leste do paleopontal Cristóvão Pereira, uma escarpa localizada na cota mais elevada com altura de 4 m (Fig. 22), e outras duas com 3 m na cota inferior. Esse perfil possui uma extensão de 7.300 m. Na sua porção situada junto ao paleopontal existe uma plataforma preservada na cota de 6 m (Fig. 19). Essa plataforma, bem como a escarpa mais elevada, correspondem a um nível lagunar próximo a 6 m acima do atual.



Figura 23 - Fotografias panorâmicas das feições de terracamento holocênicas. A linha de árvores ao fundo marca o topo da escarpa com 3 m de altura. No primeiro plano é observada a planície lagunar atual.

- A) Foto da escarpa situada no lado oeste do paleoembaimento, esculpida sobre o paleopontal;
- B) Foto da escarpa localizada no lado leste do paleoembaimento.

As escarpas inferiores, com 3 m de altura, também formadas a partir de um nível lagunar acima do atual, encontram-se uma de cada lado do que foi uma antiga baía na Laguna dos Patos (Fig. 23). Essas feições encontram-se ainda hoje preservadas devido à proteção do paleoontal. Atualmente nesse paleoembaiamento encontram-se três corpos lagunares interligados, destacando-se entre eles a Lagoa do Rincão que possui um canal de ligação com a Laguna dos Patos.

Com a integração dos dados obtidos nos perfis, associados ao trabalho de Villwock *et al.* (1986) podemos definir que:

- a escarpa com 4 m de altura, encontrada na cota de 7 m, foi construída no máximo da transgressão pleistocênica de 120 ka;

- as escarpas com 3 m de altura, situadas na cota de 3 m, foram formadas durante o máximo transgressivo de 5,1 ka;

- a elevação encontrada próximo à margem lagunar corresponde a uma barreira transgressiva de pequeno porte, formada a partir da remobilização dos leques de *washover* pela ação do vento;

- o topo da escarpa erosiva formada atualmente na margem da Laguna dos Patos está situado a uma cota de 1 m.

3.3 – PERFILAGEM GEOFÍSICA

3.3.1 – INTRODUÇÃO

A área de estudo é uma região constituída em toda sua extensão por planícies lagunares e campos de dunas eólicas. Devido a essa morfologia a observação de registros geológicos em subsuperfície se torna difícil, pois não existem afloramentos que exponham as unidades depositadas.

Com o objetivo de buscar uma melhor compreensão da estratigrafia de subsuperfície e de verificar a aplicabilidade da técnica na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, executou-se um levantamento geofísico através do emprego de um equipamento GPR (*Ground Penetration Radar*). O imageamento de subsuperfície permite a confecção de uma seção ou imagem (radargrama) em profundidade, através da emissão e recepção de ondas eletromagnéticas para o subsolo.

O método baseia-se nas propriedades físicas de propagação e reflexão de ondas devido às diferenças na constante dielétrica dos horizontes em subsuperfície. Ele permite definir estruturas formadas por processos geológicos ou mesmo por ação antrópica.

O alcance em profundidade do sinal do GPR varia de acordo com a frequência da onda utilizada e com as propriedades do meio físico de propagação. Em materiais pouco condutivos (granito, areia seca, cascalho e água doce), geralmente, o sinal não ultrapassa 50 m de profundidade; nos materiais condutivos (argila, água salobra ou salgada), se restringe a poucos centímetros.

As aplicações do GPR na área de Geociências foram difundidas com o trabalho pioneiro de Davis & Annan (1989), no qual os autores mostraram a utilidade desse equipamento para a determinação da espessura de solo, profundidade e heterogeneidades do embasamento e para a localização de horizontes de mineração, dentre outros.

A utilização desse equipamento está difundida em várias áreas, dentre as quais podemos citar a Geologia Ambiental, na detecção de plumas de contaminação em aquíferos (Araújo, 1996; Davis & Annan, 1989), a caracterização de reservatórios na Geologia do Petróleo (Porsani & Rodrigues, 1995) e a Geologia Econômica na prospecção e avaliação de turfeiras (Warner *et al.*, 1990) e o mapeamento de fraturas em pedreiras de granito ornamental e cavernas em pedreiras de calcário (Botelho *et al.*, 1996 e Botelho & Araújo, 1996).

As técnicas de utilização de GPR têm sido amplamente utilizadas na sedimentologia e análise de fácies, tanto em depósitos recentes (Bridge *et al.*, 1995; Beres *et al.*, 1995; Jol *et al.*, 1996; Madeira *et al.*, 1997; Heteren *et al.*, 1998 e Barboza *et al.*, 1999), quanto pretéritos (Bristow, 1994, 1995; Stephens, 1994; Ketzer *et al.*, 1996 e Ketzer, 1997).

3.3.2 – PRINCÍPIOS FÍSICOS DO GPR

A técnica do GPR é bastante similar a da sísmica convencional. Ao invés de uma onda sonora, o equipamento envia para o subsolo uma onda eletromagnética de alta frequência (10 a 1.000 MHz). O pulso eletromagnético é emitido através de uma antena transmissora e se propaga pelo subsolo até que encontre um horizonte com contraste nas propriedades dielétricas (constante dielétrica). Dessa forma, parte do pulso é refletida para a superfície e parte é transmitida, continuando a se propagar em subsuperfície (Fig. 24). A onda refletida é recebida pela antena

receptora, amplificada, digitalizada e armazenada na memória física do computador.

Na sismica convencional a propagação das ondas sonoras no meio depende das propriedades de condução desse (impedância acústica). As ondas eletromagnéticas de alta frequência se propagam de acordo com as propriedades de polarização do meio. A constante dielétrica, ou permitividade relativa é a grandeza que mede essas propriedades e varia para cada meio por onde as ondas se propagam. Dessa forma, a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas é função da constante dielétrica do meio. Um outro fator importante que controla a propagação das ondas eletromagnéticas em um meio é a atenuação por absorção (perda da energia do pulso por absorção no meio).

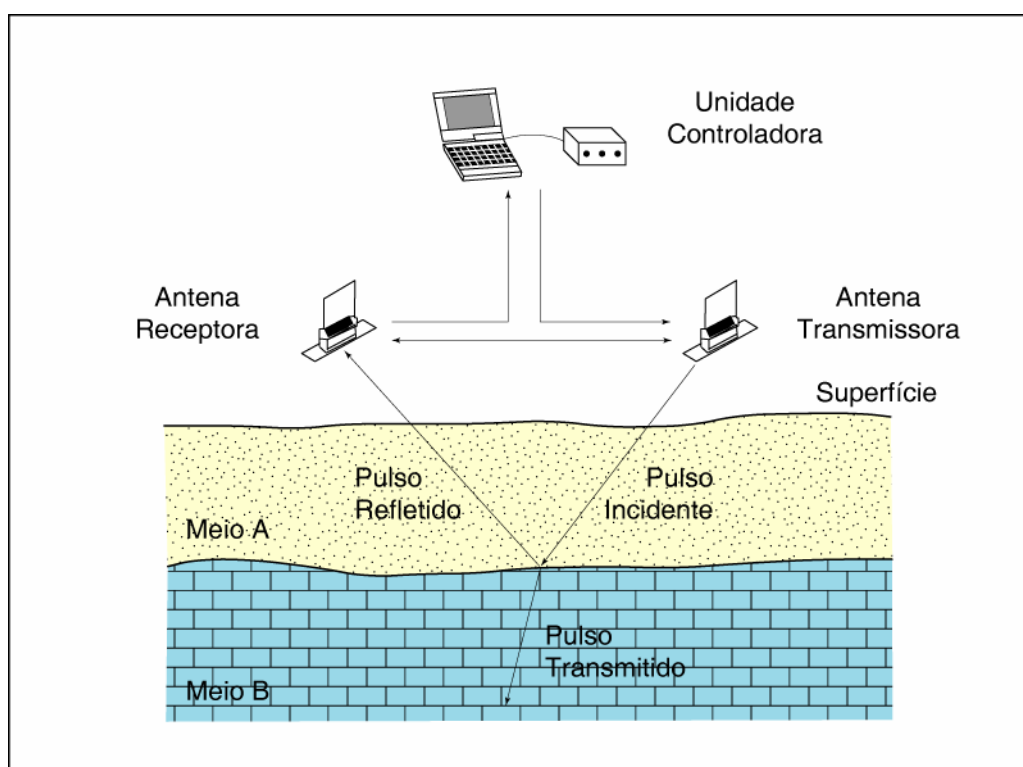


Figura 24 - Representação esquemática da aquisição do GPR. A antena transmissora envia um pulso eletromagnético para o subsolo (entre 10 e 1.000 MHz), o qual se propaga até encontrar um refletor (meio com variação na constante dielétrica). Parte do pulso é transmitido e continua a se propagar pelo subsolo e parte é refletido e captado pela antena receptora, que transmite o sinal para a unidade controladora.

A profundidade de penetração, bem como a resolução do sinal do GPR dependem da frequência da onda eletromagnética emitida e das propriedades do meio. A frequência é inversamente proporcional à profundidade de penetração, enquanto a resolução possui relação direta com a frequência. Dessa forma, quanto menor a frequência, maior será a penetração e menor a resolução. Assim, dependendo do objeto de estudo, deve-se escolher a frequência de melhor ajuste entre profundidade de penetração e resolução.

A água possui uma constante dielétrica bastante elevada em relação aos demais materiais (em média mais de dez vezes superior às rochas mais comuns). Devido a esse fator, o contato entre a zona insaturada e a saturada (topo do aquífero freático) é normalmente um poderoso refletor para o pulso do GPR. Essa superfície pode prejudicar a penetração do sinal, pois grande parte da energia da onda eletromagnética inicial é refletida para a superfície, restando pouca energia para o pulso transmitido (Fig. 25).

Material	K (constante dielétrica)	V (velocidade em m/ns)	A (atenuação em dB/m)*
Ar	1	0,3	0
Água destilada	80	0,033	$2 \cdot 10^{-3}$
Água salgada	80	0,01	10^3
Areia seca	3 – 5	0,15	0,01
Areia saturada	20 – 30	0,06	0,03 – 0,3
Calcário	4 – 8	0,12	0,4 – 1
Folhelho	5 – 15	0,09	1 – 100
Silte	5 – 30	0,07	1 – 100
Argila	5 – 40	0,06	1 – 300
Granito	4 – 6	0,13	0,01 – 1
Sal seco	5 – 6	0,13	0,01 – 1
Gelo	3 – 4	0,16	0,01

* Atenuação (perda por absorção). Notar o valor bastante elevado da água salgada.

Figura 25 – Tabela das propriedades elétricas de alguns materiais geológicos para uma onda eletromagnética com 100 MHz de frequência (Davis & Annan, 1989).

De acordo com o objetivo da investigação, o GPR pode ser utilizado com diversos tipos de arranjos. O modo mais comum é aquele utilizado para se obter uma seção contínua em profundidade, com traço zero *off-set*, análoga a uma seção sísmica convencional. Esse arranjo que consiste no deslocamento simultâneo da antena receptora e transmissora, mantendo-se uma distância fixa entre elas, é denominado *Common Off-set* (*reflection profiling*, Fig. 26). Dessa forma, obtém-se uma seção contínua de imageamento sob a linha de deslocamento das antenas (Fig. 27).

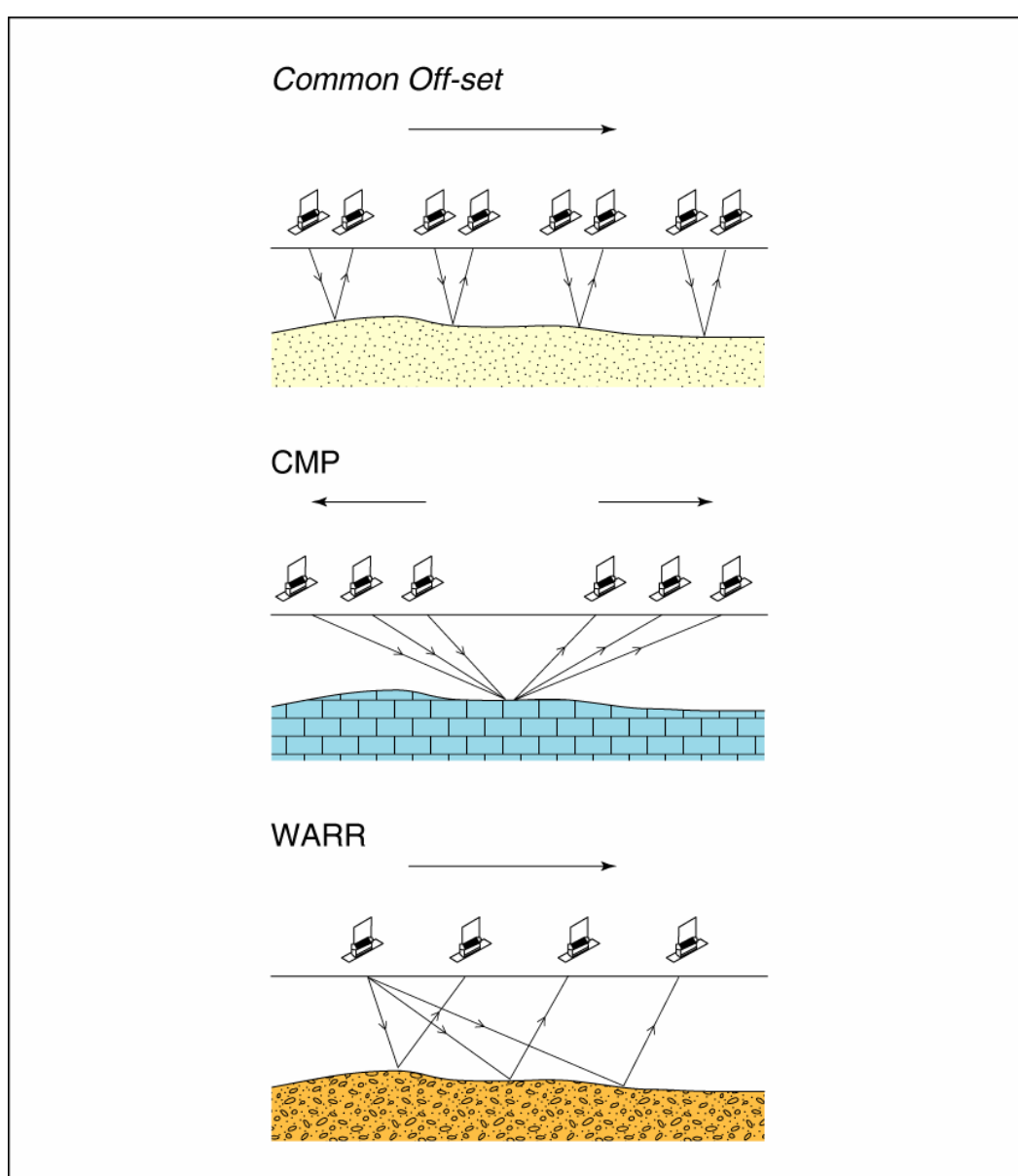


Figura 26 - Tipos de arranjos de antenas mais comuns utilizados na aquisição com o GPR.

Os arranjos CMP (*Common Mid Point*) e WARR (*Wide Angle Reflection and Refraction*) podem ser utilizados na avaliação dos refletores e das velocidades de propagação da onda eletromagnética em subsuperfície. O CMP consiste no deslocamento das antenas a distâncias fixas e pré-estabelecidas em uma linha, a partir de um ponto central comum (Fig. 26). O arranjo WARR consiste no deslocamento de somente uma antena sobre uma linha, estando a outra fixa numa posição (Fig. 26).

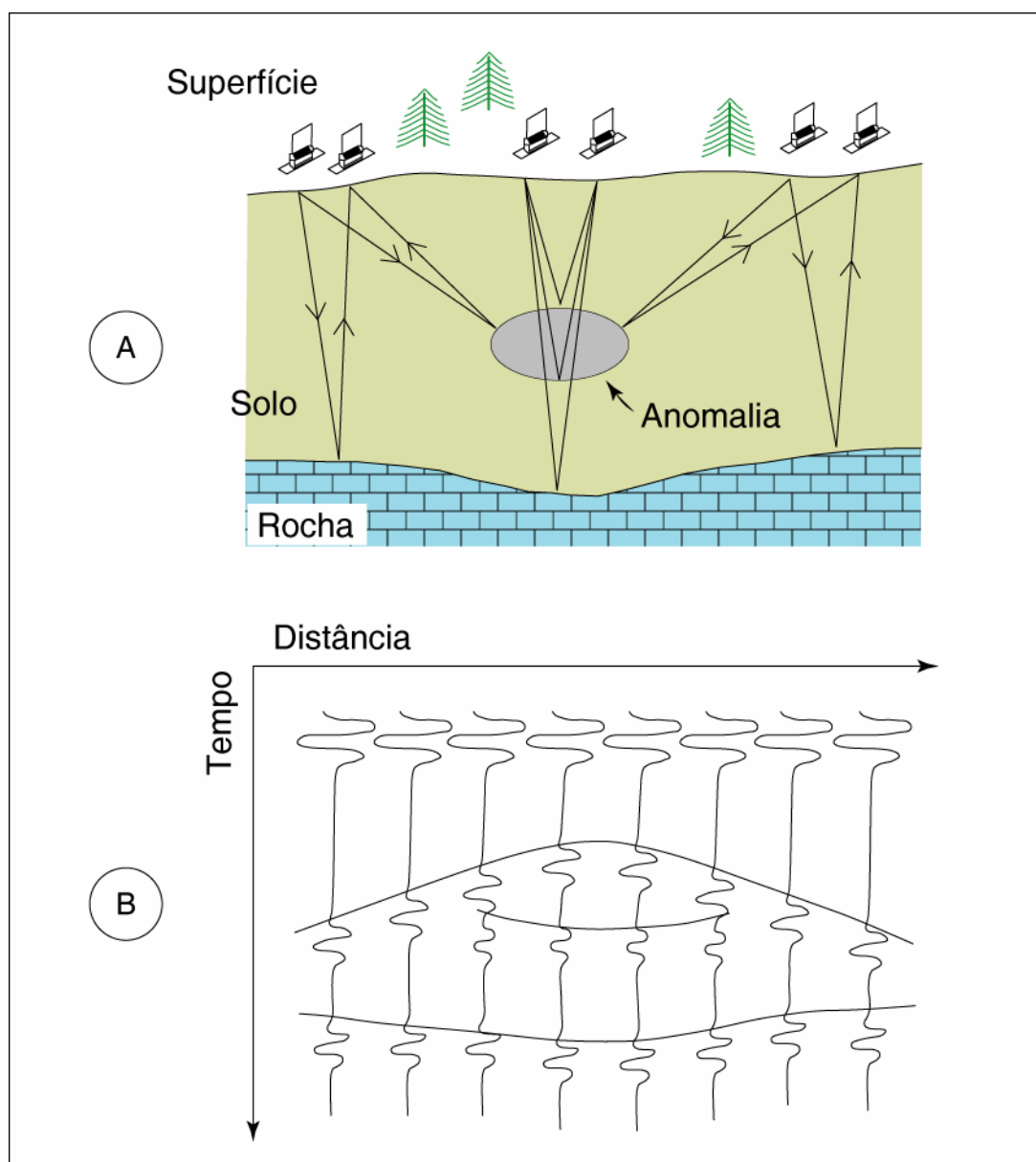


Figura 27 - A) Situação hipotética de imageamento contínuo por GPR; B) Respectiva seção tempo vs. distância.

3.3.3 – MATERIAIS E MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO

O equipamento utilizado na aquisição dos dados geofísicos foi um GPR modelo RAMAC/MALA da MALÅ GeoScience, o qual é composto por uma unidade controladora conectada a um conjunto de antenas (transmissora e receptora) através de cabos de fibra óptica. Integram ainda esse equipamento um barco, utilizado para o deslocamento sobre terrenos úmidos ou sobre uma superfície de água (Fig. 28) e um sistema de medição do deslocamento através de um odômetro conectado a uma roda ou a um sistema de *Hip Chain*. O conjunto de antenas que acompanha o equipamento possibilita o trabalho com frequências entre 10 e 1.000 MHz.

Para o acompanhamento da aquisição e definição dos parâmetros da mesma é conectado junto à unidade controladora um *notebook* (Sistema IBM-PC), que permite uma visualização *real-time* ou posterior, gravando os dados em disco rígido em 16 *bits*. O *software* de operação do sistema “Ramac2” permite que os dados adquiridos sejam pré-processados com filtros de frequência e equalização de ganhos com AGC (*Auto Gain Control*).



Figura 28 - Sistema de aquisição do perfil geofísico. A unidade controladora e o notebook são operados por um técnico, enquanto outro desloca o barco com as antenas.

A investigação envolveu três etapas básicas. A primeira etapa foi a definição do local das seções a serem executadas. No levantamento altimétrico anteriormente realizado foram detectadas feições de terracamento importantes no contexto evolutivo da região. Optamos, então, pela aquisição das seções sobre os perfis altimétricos no paleopontal (Fig.29).



Figura 29 - Mapa de localização dos perfis geofísicos perpendiculares às principais feições de terracamento na área de estudo.

A etapa seguinte foi a execução das seções geofísicas em campo. Os parâmetros empregados na aquisição envolveram antenas com frequência de 200 MHz, espaçadas em 60 cm (Fig. 30), e intervalo de amostragem de 20 cm, proporcionando um imageamento em torno de 7 m de profundidade, o que gerou uma seção de alta resolução. Foi utilizado o arranjo no modo *Common Off-set*, no qual as antenas, localizadas em um barco e conectadas a um odômetro para o registro da distância percorrida (*Hip Chain*), foram deslocadas continuamente sobre as superfícies de interesse (Fig. 28).



Figura 30 - Disposição das antenas de transmissão e recepção, situadas no interior do barco utilizado para o deslocamento das mesmas. Espaçamento entre as antenas de 60 cm.

Em campo, a aquisição contou com o controle permanente sobre as feições ou objetos pertinentes ao levantamento. Assim, quando do cruzamento sobre superfícies alagadas, variações no relevo, cercas, fios de alta-tensão, coordenadas dos perfis etc., esses dados foram registrados em um arquivo ASCII gerado no programa de aquisição. Esse controle proporcionou, em laboratório, uma melhor interpretação nas linhas adquiridas.

Devido a extensão das seções executadas, no momento da aquisição em campo, as mesmas foram divididas em duas partes. Por problemas com o equipamento, a seção 1 foi levantada em datas distintas, sendo uma delas feita com uma lâmina de água em torno de 0,60 m e outra em terreno seco.

A seção 2 foi dividida no contato entre as unidades pleistocênicas e holocênicas. Ambas subseções foram levantadas englobando as feições de terraceamento para cada unidade geológica.

A etapa final envolveu os trabalhos em laboratório, onde as seções foram processadas objetivando uma melhor interpretação. A técnica utilizada é a mesma aplicada à estratigrafia sísmica (Mitchum *et al.*, 1977), onde a base para a interpretação está na identificação das relações terminais dos refletores.

Segundo Jol & Smith (1991), as fácies de radar (*radar facies*) podem ser definidas como unidades sedimentares deposicionais tridimensionais, mapeáveis, compostas por padrões de reflexões característicos e que diferem das unidades adjacentes. Na interpretação das seções adquiridas as fácies de radar foram definidas com base nas suas terminações, geometria e variação no padrão de reflexão dos refletores em subsuperfície.

3.3.4 – ATIVIDADES LABORATORIAIS

O processamento dos dados coletados em campo foi executado em um microcomputador Pentium II, com disco rígido de grande capacidade e 128 MB de memória RAM. Os arquivos de dados, no formato de aquisição “RD3”, receberam processamentos dentro do *software* Gradix da Interpex Limited. As etapas de processamento constaram dos seguintes procedimentos:

- Importação dos registros de campo;
- Remoção dos ruídos de baixa frequência;
- Edição de traços;
- Alinhamento de traços;
- Remoção do ruído ambiental;
- Filtro de passa-banda trapezoidal;
- Filtro fk;
- Ganho AGC;
- Migração fk;
- Conversão de profundidade;
- Correção topográfica.

Cada um desses passos foi monitorado individualmente no vídeo do computador, com o objetivo do melhor ajuste da seção produzida. Com o término do processamento foram geradas imagens no formato *bitmap* para a apresentação dos dados (Figs. 31,32,33 e 34).

3.3.5 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

Todo o processo de aquisição das seções contou com a utilização de antenas na frequência de 200 MHz. Com isso, obtivemos uma janela em torno de 5 m de profundidade, a qual foi suficiente para identificação da sedimentação holocênica presente na região.

A subseção 1A (Fig.31), levantada com o terreno saturado em água e em muitos locais com lâmina de água em torno de 0,60 m, apresenta dois refletores horizontalizados. Esses refletores representam, do topo para a base, uma camada de lama orgânica (fácies de radar 'A') em contato discordante na base com uma superfície arenosa e no topo com um cordão de dunas transgressivas. Na análise da descrição faciológica do testemunho de sondagem CP-07 (Anexo I) executado sobre esses refletores, foi encontrada uma camada de lama orgânica com 0,50 m de espessura em contato com uma superfície arenosa oxidada.

Na porção final dessa subseção (Fig. 32) é encontrado um refletor em torno de 1,50 m de profundidade. Correlacionado com a descrição do testemunho CP-08, executado sobre a mesma seção, esse refletor foi interpretado como resultante de uma variação na compactação da sedimentação em subsuperfície.

Na parte inicial da subseção 1B (Fig. 32), adquirida com o terreno seco, a continuidade do refletor encontrado na subseção correlacionada apresenta-se com menor intensidade. Isso pode estar

associado à perda de sinal na interface entre o sedimento seco e a franja capilar, onde a onda eletromagnética refletida apresenta um padrão irregular e a refratada fica confinada à camada de água em subsuperfície.

A parte terminal dessa subseção (Fig. 33) é representada por refletores (fácies de radar 'B') com mergulho em direção à unidade geológica mais antiga (Sistema Laguna/Barreira III). Pelo padrão apresentado, e as dimensões das estruturas essa fácies de radar sugere ser da morfologia de dunas transgressivas, caracterizada pela forma irregular e grande porte.

Com base nessa interpretação, podemos assumir que essa fácies de radar 'B' faz parte de um paleo cordão transgressivo acoplado ao Sistema Laguna/Barreira III, desenvolvido no máximo transgressivo de 5,1 ka. Dessa forma, interpretamos que a sua base está em contato discordante com o embasamento pleistocênico. A preservação das estruturas estaria associada à rápida ascensão do nível lagunar na época.

Na análise da subseção 2A, situada sobre o terraço pleistocênico, associada às descrições dos testemunhos CP-01, CP-02 e CP-03, observamos que devido à composição dos sedimentos em subsuperfície ser predominantemente siltico-argilosa, a seção não apresenta uma boa resolução. Isso também pode estar associado à interferência eletromagnética, causada pela proximidade de cercas metálicas e redes de alta tensão.

A subseção 2B (Fig. 34) localizada sobre o terraço lagunar holocênico apresenta dois refletores bem definidos. As fácies de radar estão associadas a camadas distintas de sedimentos. De acordo com as descrições dos testemunhos de sondagem CP-04 e CP-05, a fácies de radar 'C' representa uma sedimentação caracterizada pela presença de lama com areia, e a fácies de radar 'D' representa uma composição essencialmente arenosa.

Nessa mesma subseção, próximo aos 200 m, está bem representada a interferência eletromagnética causada pela passagem próximo a uma cerca, formando um prisma de interferência. A porção final dessa subseção, últimos 300 m, foi executada sobre uma lâmina de água de aproximadamente 0,60 m, demonstrando o bom potencial do equipamento para aquisição de dados junto a corpos lagunares.

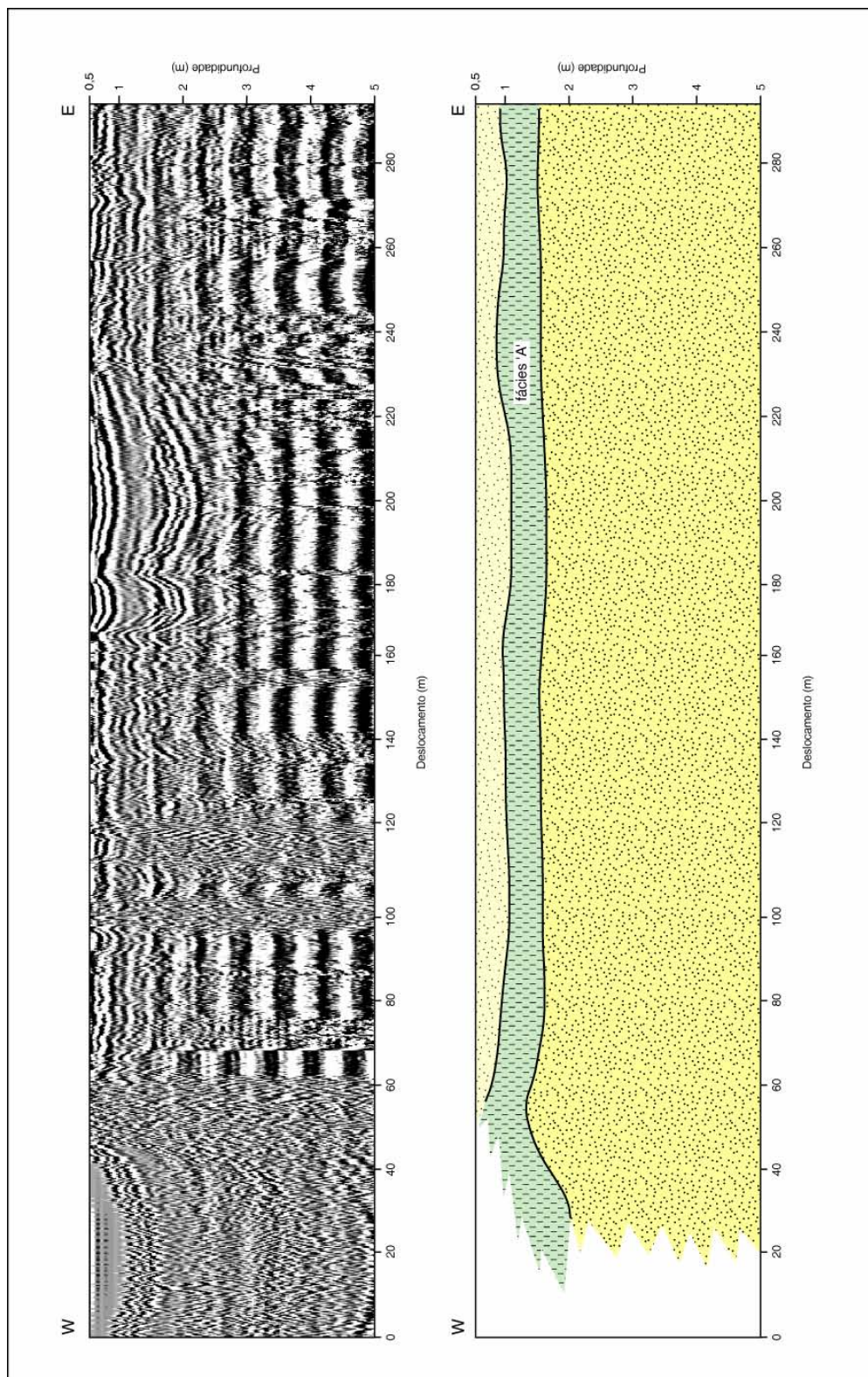


Figura 31 - Porção inicial da subseção 1A. Esse corte apresenta dois refletores horizontalizados que delimitam uma camada de lama orgânica (fácies 'A'). No topo dessa camada encontram-se areias formando uma pequena barreira transgressiva e a base apresenta uma superfície com evidências de exposição subaérea.

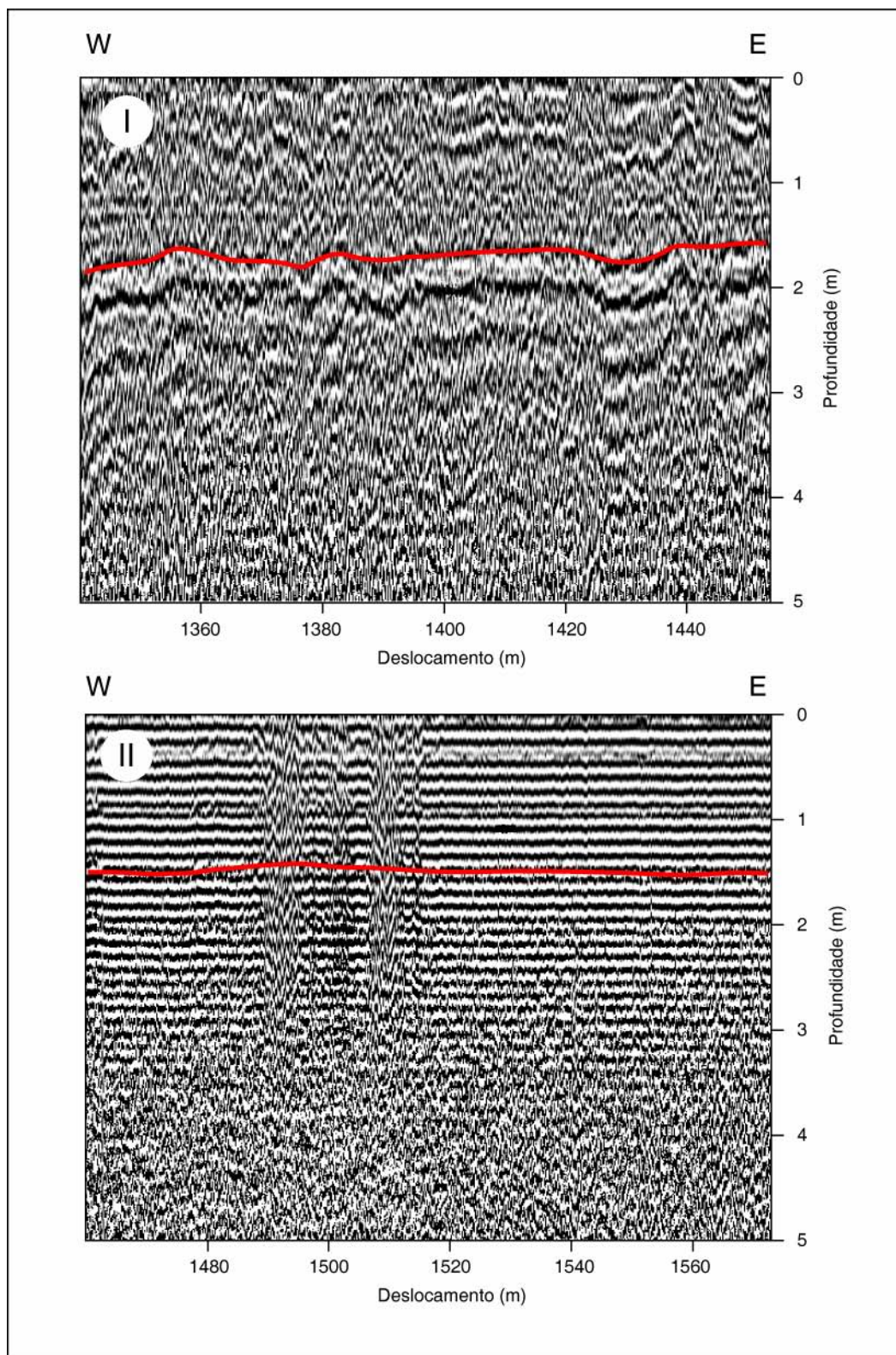


Figura 32 - Cortes das subseções 1A e 1B. I) Porção final da subseção 1A executada sobre lâmina de água. Observa-se a 1,50 m de profundidade a presença de um refletor horizontalizado. II) Porção inicial da subseção 1B executada com o terreno seco, o refletor bem definido no corte (I) apresenta menor resolução. Isso pode estar associado à perda de sinal na interface entre o sedimento seco e a franja capilar.

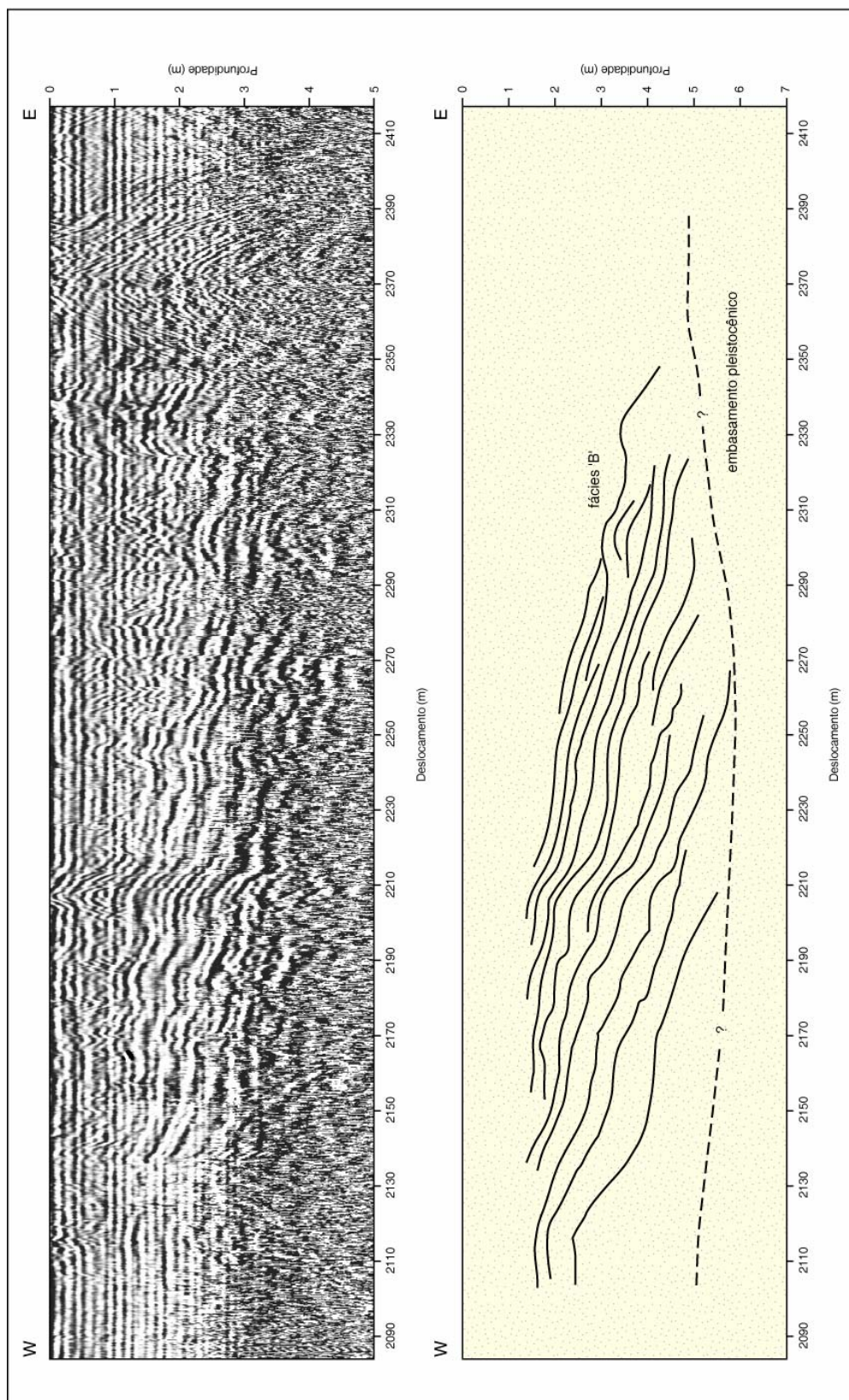


Figura 33 - Corte da porção final da subseção 1B. Observam-se nessa seção a presença de refletores em *downlap* sobre o embasamento pleistocênico. De acordo com o padrão e dimensões das estruturas apresentadas, essa fácies de radar sugere ser resultante da morfologia de dunas transgressivas, caracterizada pela forma irregular e grande porte.

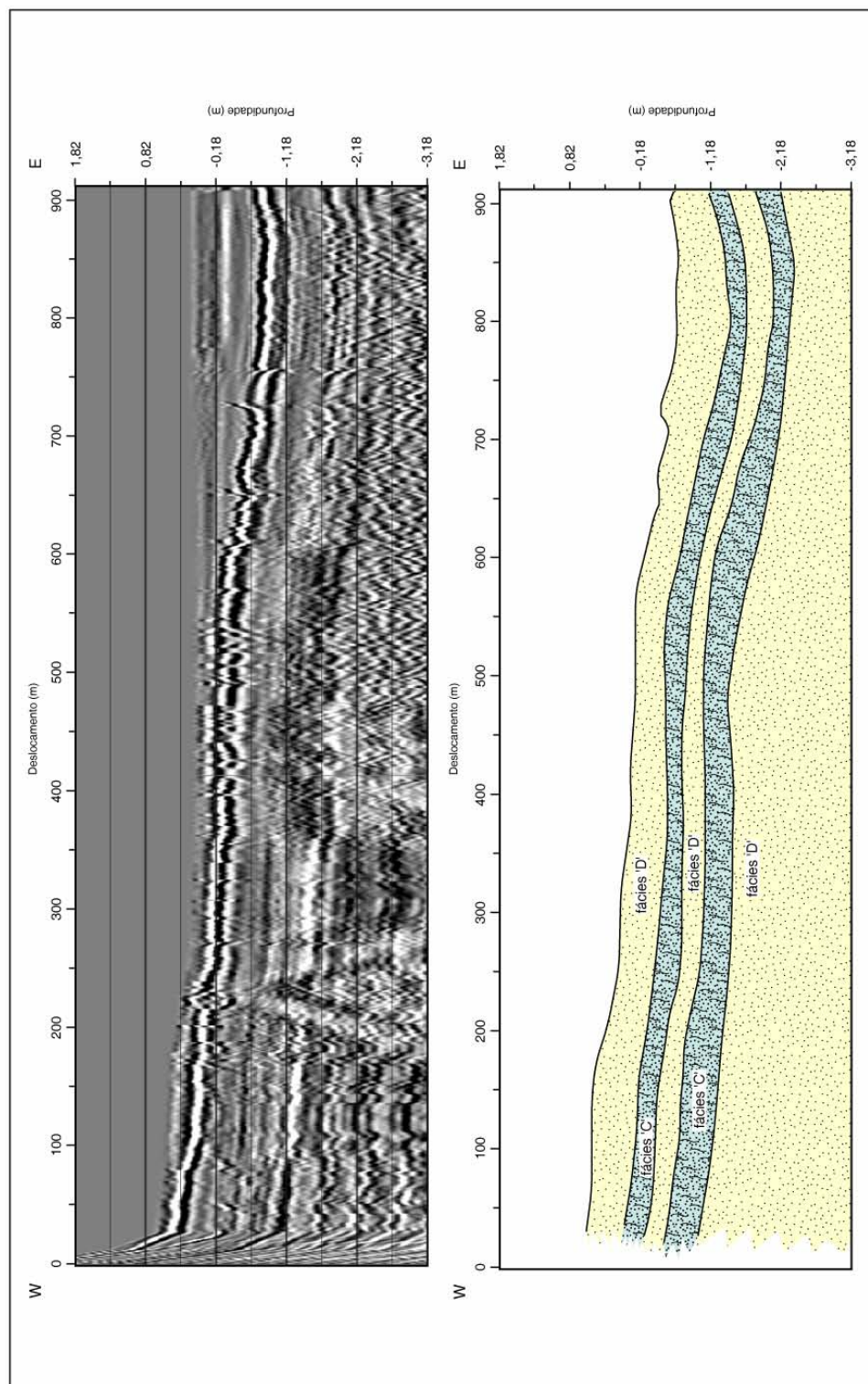


Figura 34 - Subseção 2B. Essa subseção foi executada sobre o terraço lagunar holocênico. À esquerda, observa-se a escarpa formada durante o máximo transgressivo de 5,1 ka, e à direita encontra-se a planície de inundação da Lagoa do Rincão. Notam-se nessa subseção a presença de refletores bem definidos, os quais representam a variação composicional dos sedimentos em subsuperfície; fácies 'C' de composição areno-lamosa e fácies 'D' de composição essencialmente arenosa. Observa-se entre 200-250 m o prisma de interferência gerado pela passagem por uma cerca de arame.

3.4 – PERFILAGEM BATIMÉTRICA

3.4.1 – INTRODUÇÃO

Uma importante feição de terraceamento identificada no sensoriamento remoto é observada desde a margem lagunar atual até a isóbata de -1 m na Laguna dos Patos. Trabalhos anteriores de Villwock (1972, 1977), Toldo Jr. (1989, 1991) e Tomazelli (1990), sugeriram através de observações batimétricas que essa isóbata representa um antigo nível de estabilização na laguna.

O presente levantamento teve como objetivo quantificar essa feição de terraceamento, tanto em sua extensão como em profundidade. Para a avaliação da geomorfologia de fundo, utilizamos uma ecosonda, a qual gerou perfis batimétricos detalhados da feição submersa.

3.4.2 – MATERIAIS E MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO

O levantamento batimétrico contou com a utilização de uma ecosonda Honeywell Elac, modelo 4100 adaptada em um bote a motor (Fig. 35). Esse equipamento emite um pulso acústico através de um transdutor na frequência de 200 kHz, o qual é refletido pela superfície de fundo e recebido novamente pelo transdutor. O sinal recebido é processado e transformado em um perfil de profundidade e distância, que ao mesmo tempo é plotado no próprio equipamento, o que possibilita um acompanhamento simultâneo do perfil adquirido (Fig. 36).



Figura 35 - Fotografia panorâmica na margem da Laguna dos Patos, localização próximo ao perfil batimétrico "P2". Observa-se a extensão regional da escarpa erosiva, aflorando sedimentos (lama e turfa) de um antigo depósito lagunar.

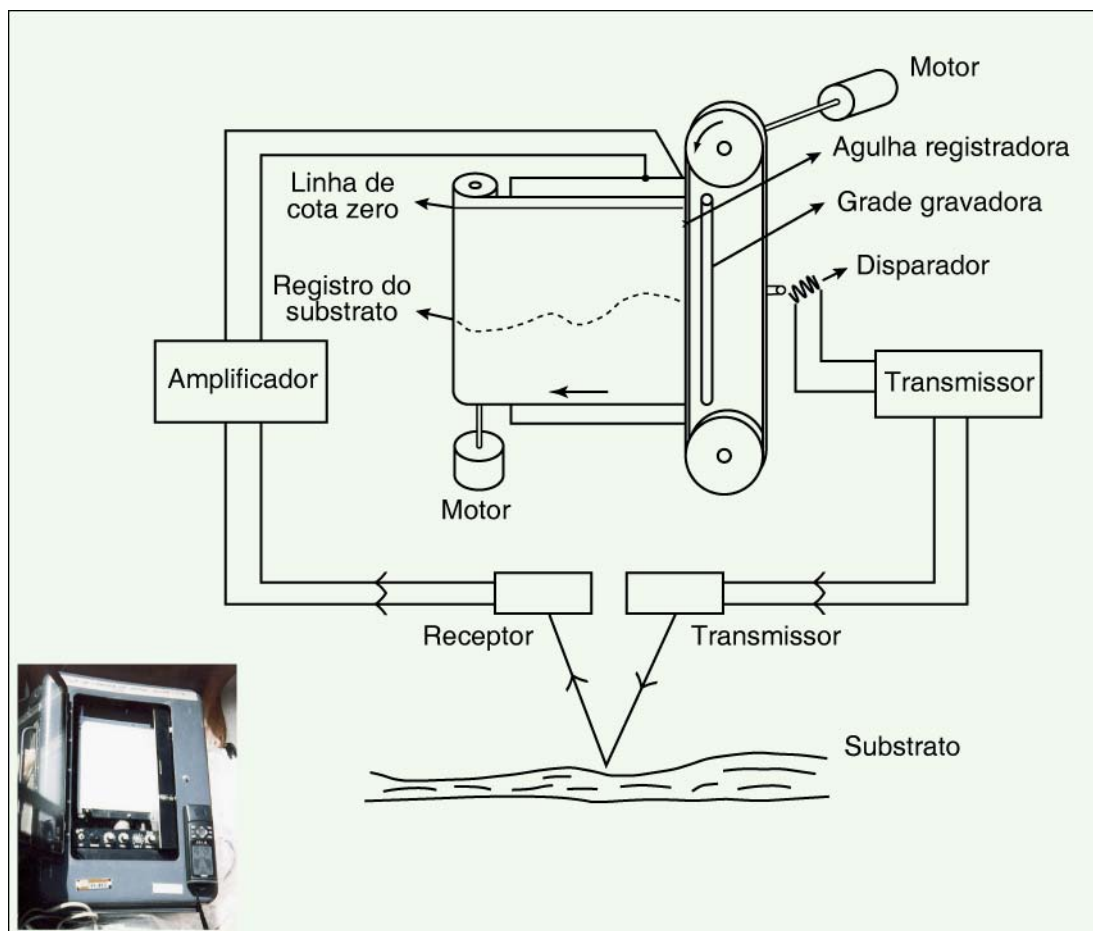


Figura 36 - Diagrama mostrando o sistema básico de configuração e funcionamento do ecobatímetro Honeywell Elac LAZ 4100. No detalhe, fotografia da unidade de aquisição utilizada no levantamento.

O posicionamento, a orientação e a delimitação do perfil foram controlados por um GPS (*Global Position System*) Garmin com 12 canais, o qual possui uma precisão compatível com a escala de trabalho. A navegação foi orientada com o azimute de 090° em relação à margem lagunar, e a cada 100 m deslocados o marcador da ecossonda era ativado. Dessa forma foi possível delimitar a distância deslocada no perfil.

Devido à disponibilidade e facilidade de operação do equipamento, e para uma melhor avaliação do terraço submerso, foram elaborados quatro perfis perpendiculares à linha de praia (P1, P2, P3 e P4, Fig. 37). Os perfis batimétricos foram elaborados de forma a complementar o

perfil altimétrico 1 (Fig. 18), assim obtivemos um perfil contínuo das feições de terraceamento na margem da Laguna dos Patos.



Figura 37 - Mapa de localização dos perfis batimétricos na margem da Laguna dos Patos.

3.4.3 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

Os resultados obtidos com os perfis batimétricos (Figs. 38 e 39) demonstram claramente a morfologia da feição de terraceamento submersa. A escarpa dessa feição de terraceamento encontra-se na isóbata de -1 m e sua distância em relação à margem lagunar atual está em torno de 1.000 m. Nos perfis 2 e 3 observamos que existe na base da escarpa submersa uma pequena plataforma, feição que está relacionada ao efeito de retrabalhamento do processo erosivo que acompanha a formação da escarpa.

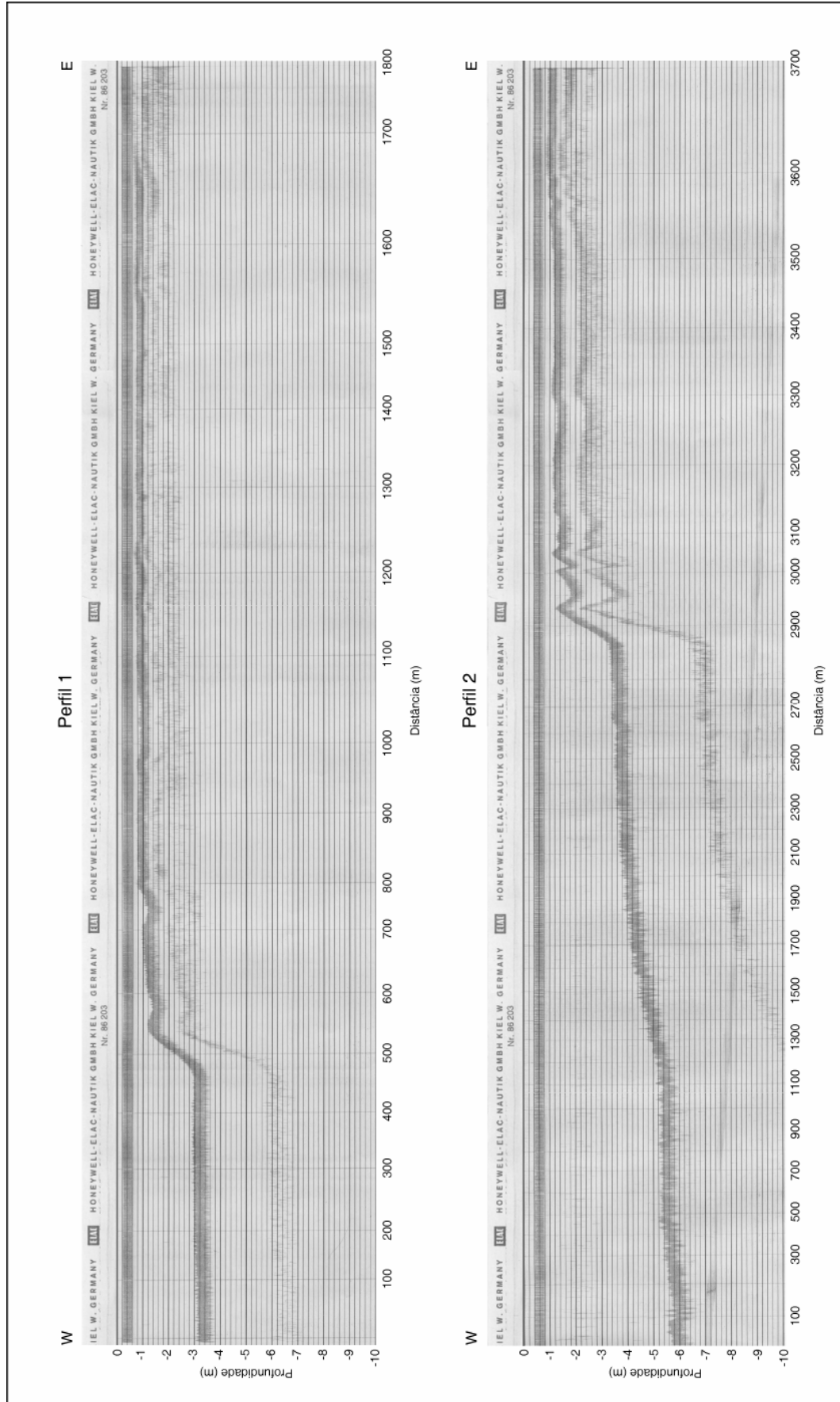


Figura 38 - Seções dos perfis batimétricos 1 e 2. A profundidade do topo da escarpa encontra-se na isóbata de -1 m.

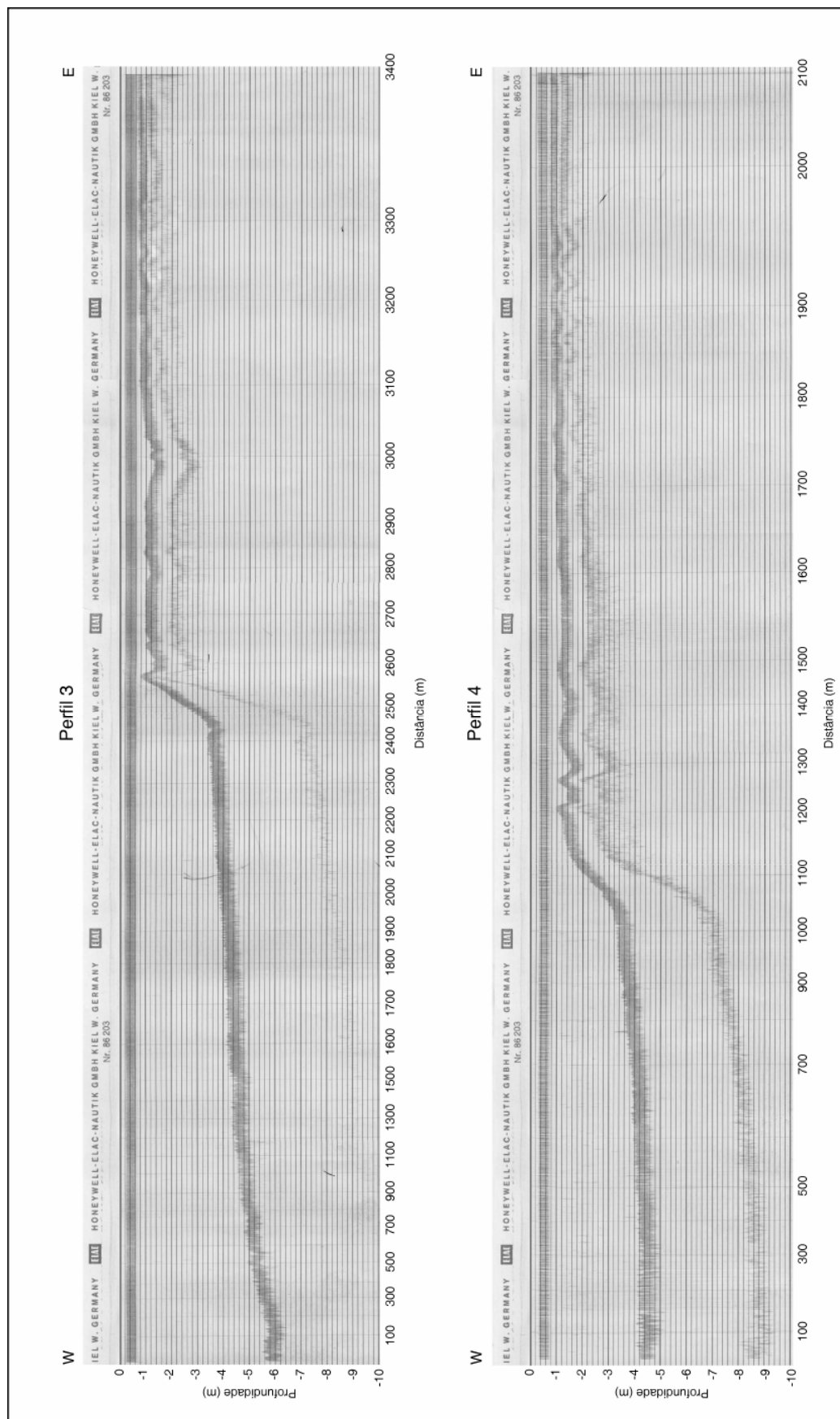


Figura 39 - Seções dos perfis batimétricos 3 e 4. A profundidade do topo da escarpa encontra-se na isóbata de -1 m.

Corroborando os estudos anteriores, os dados batimétricos desse trabalho associados ao estudo em laboratório da formação de plataformas de terraceamento (Sunamura, 1975), evidenciam que essa escarpa submersa, de extensão regional, foi formada em um nível lagunar pretérito mais baixo que o atual.

Outra feição morfológica identificada nos perfis batimétricos é uma barra paralela à escarpa submersa. A formação dessa barra, encontrada na borda da plataforma, está associada à quebra do *trend* de ondas oriundas da margem oposta da Laguna dos Patos. No momento em que o nível de base de ação das ondas toca a borda da plataforma ocorre a desestabilização da onda. Dessa forma, a dinâmica gerada pela quebra da onda promove a formação de uma barra submersa.

3.5 – TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

3.5.1 – INTRODUÇÃO

A inexistência de testemunhos de sondagem na área de estudo dificultou a interpretação estratigráfica das seções geofísicas adquiridas. Para suprir a essa carência de dados faciológicos de subsuperfície, fez-se necessária uma campanha de testemunhagem realizada ao longo dos perfis levantados por GPR.

Essa etapa contou com a execução de 11 testemunhos de sondagem (Fig. 40). A locação dos pontos de testemunhagem baseou-se nos perfis geofísicos preexistentes, contribuindo, dessa forma, para uma melhor interpretação dos refletores em subsuperfície.



Figura 40 - Mapa de localização dos testemunhos de sondagem.

3.5.2 – MATERIAIS E MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO

Os trabalhos de execução dos testemunhos de sondagem contaram com a utilização de três testemunhadores: *Vibracore*, *Percussão* e *Eijkelkamp*. O testemunhador do tipo *Vibracore*, consiste em uma braçadeira de ferro, presa a um tubo de alumínio com 75 mm de diâmetro, conectada a um mangote de vibração ligado em um motor a gasolina, onde, através da vibração transmitida ao tubo de alumínio, esse penetra no solo (Fig. 41). O testemunhador à *Percussão* é composto por uma braçadeira de ferro, a qual é presa a um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro, onde um peso batente, através de batidas na braçadeira, insere o tubo no solo. Nesses dois tipos de testemunhadores a remoção da coluna de sedimentos é feita através do uso de uma talha com o auxílio de um tripé (Fig. 42).

O testemunhador *Eijkelkamp* pode atingir profundidades maiores que os demais equipamentos utilizados, pois é composto por um trado conectado a várias hastes que podem ser aumentadas em 0,50 m de cada vez. Concomitantemente, desce um revestimento no furo em execução (Fig. 43). O material coletado com esse equipamento é análogo ao de uma sondagem de calha, não preservando, portanto, estruturas, apenas permitindo a coleta de material sedimentar a cada 0,50 m.

A locação dos testemunhos de sondagem foi condicionada pelos locais que apresentavam refletores geofísicos com características distintas. Em campo, no local selecionado, a primeira camada de solo, de aproximadamente 0,30 m, foi removida (Fig. 44), iniciando-se a partir daí o processo de testemunhagem. Após a retirada da coluna de sedimentos, os testemunhos foram cortados em seções e tamponados para o transporte, sendo posteriormente abertos em laboratório.



Figura 41 - Testemunho (CP-04) sobre o terraço lagunar holocênico, utilizando um testemunhador *Vibracore*.



Figura 42 - Retirada da seção testemunhada com o auxílio de uma talha. Terraço pleistocênico (testemunho CP-01).



Figura 43 - Testemunho sobre o terraço lagunar holocênico, próximo à margem da Laguna dos Patos, utilizando um testemunhador *Eijkelkamp*.



Figura 44 - Início do processo de testemunhagem. Retirada da cobertura vegetal com os primeiros centímetros de solo.

3.5.3 – ATIVIDADES LABORATORIAIS

Em laboratório, esta etapa iniciou com a abertura dos testemunhos de sondagem. Com o auxílio de uma serra elétrica as seções foram cortadas ao meio.

Depois de abertos, os testemunhos foram descritos procurando-se observar as principais características faciológicas como variações de cor, textura, porosidade e estruturas. Com o objetivo de caracterizar sedimentologicamente as fácies mais significativas, foram coletadas seis amostras para análise granulométrica, sendo duas amostras no testemunho CP-08, o qual apresentou uma discordância na seção geofísica, e três amostras no testemunho CP-07, que possui claramente uma variação de subambiente deposicional, e uma no testemunho CP-12.

As amostras coletadas foram secas em estufa a uma temperatura de 50°C por 24 horas, sendo após quarteadas em frações de aproximadamente 50 g. No processo de peneiragem foi utilizado o intervalo de $\frac{1}{2}$ *phi* da escala de Wentworth (1922). A fração fina (< 4 *phi* ou 0,065 mm) quando menor que 5% do peso total da amostra foi descartada, as frações arenosas retidas (> 4 *phi* ou > 0,065 mm) foram pesadas em balança de precisão até a quarta casa decimal.

O tratamento dos dados granulométricos contou com uma rotina em ambiente computacional através do *software* PANCOM V.91 (Toldo Jr. & Medeiros, 1986), onde, com a entrada dos valores de peso inicial e final e de cada classe textural, são fornecidos pelo programa os valores dos parâmetros estatísticos (Folk & Ward, 1957) para o tamanho médio, mediana, desvio padrão, assimetria, curtose e curtose normalizada para cada amostra (Anexo II). Nessa mesma rotina obtém-se no final a classificação das amostras segundo o diagrama de Shepard (1954).

No testemunho CP-07 foi encontrada uma discordância, onde se verifica um contato abrupto entre uma superfície arenosa oxidada e uma camada de lama orgânica. Nesse contato uma amostra com 0,10 m foi coletada para datação pelo método radiométrico do ^{14}C (Fig. 45).

Um novo método de análise, utilizado pela primeira vez no estudo faciológico de testemunhos na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, foi a *rasterização* através de um *scanner* das seções testemunhadas. Esse método de análise contou com o uso de um *scanner* de mão conectado a um microcomputador (Fig. 46). Sobre a seção testemunhada foi colocada uma placa de vidro. Assim, deslocando o *scanner* vagarosamente geraram-se vários arquivos que, posteriormente, foram unidos formando uma única seção digitalizada em escala real do testemunho. No *software* Photoshop[®] o arquivo de imagem em tons de cinza foi transformado em um arquivo no formato RAW. Considerando o número de linha e colunas (*pixels*) da imagem original, esse novo arquivo foi transformado em um outro *software* doméstico, em uma matriz de tons de níveis de cinza, sendo gerado então um arquivo no formato ASCII (*.dat), que posteriormente foi tratado estatisticamente no *software* Microsoft[®] Excel.

Após o tratamento estatístico foi gerado um gráfico de radiância (escala de tons de cinza), correlacionado com a seção em profundidade. Através dessa radiância foi possível delimitar graficamente variações na litologia e porosidade nos testemunhos.

A apresentação da descrição para cada testemunho foi elaborada em uma planilha (Anexo I), onde constam os dados descritivos para cada seção amostrada. Os dados são correlacionados entre profundidade, amostragem, granulometria, estruturas, radiância, imagem do testemunho e descrição faciológica.



Figura 45 - Amostra de lama orgânica coletada para datação radiométrica por ^{14}C . A coleta foi feita no contato discordante entre a superfície arenosa oxidada e a lama (testemunho CP-07).

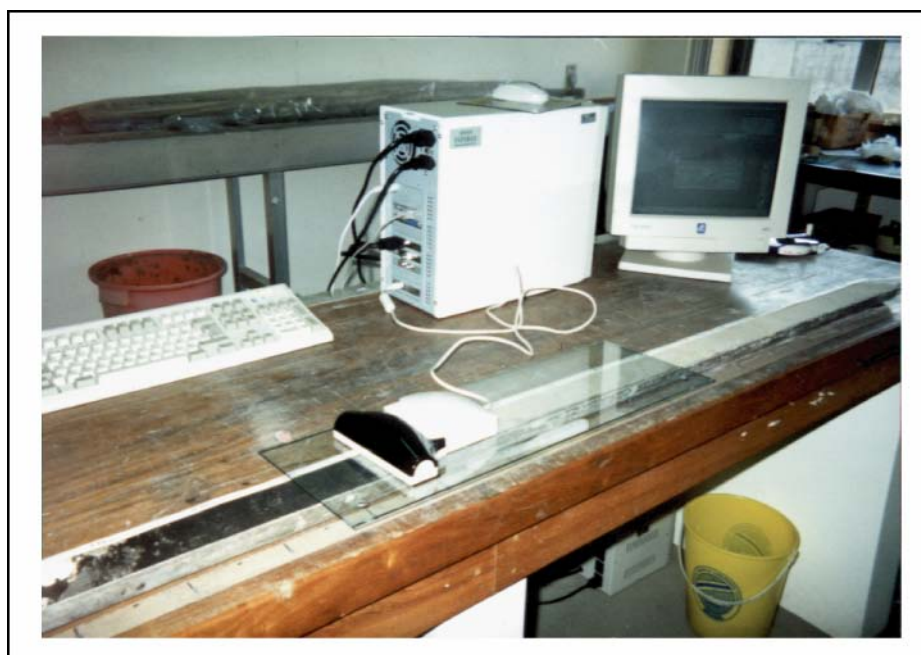


Figura 46 - Sistema utilizado para a rasterização dos testemunhos. O scanner de mão é conectado ao microcomputador e colocado sobre uma placa de vidro em contato com o testemunho.

3.5.4 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

A análise faciológica dos testemunhos (descrições no Anexo I) permitiu interpretar um ambiente deposicional do tipo Laguna/Barreira, com seus subambientes associados. As análises granulométricas indicam areias finas policíclicas. Localmente em alguns testemunhos situados no terraço pleistocênico encontram-se camadas de sedimentos siltico-argilosos. Dessa forma, uma característica encontrada para a diferenciação faciológica entre os terraços foi o maior teor de sedimentos finos nas feições pleistocênicas.

Os testemunhos CP-01, CP-02 e CP-03, situados sobre o terraço pleistocênico apresentam pequena profundidade de penetração, o que reflete a presença em subsuperfície de sedimentos siltico-argilosos mais compactados.

Nos testemunhos CP-04 e CP-05 localizados sobre o terraço holocênico, situado no paleoembaiamento, são identificadas duas superfícies correlacionáveis com a subseção geofísica 2B. Uma superfície identificada é encontrada na profundidade de 0,80 m no testemunho CP-04 e 0,75 m no CP-05. Essa superfície está associada a um contato entre areias siltico-argilosas e areias finas, indicando uma variação de energia no ambiente de deposição.

Outra superfície correlacionável com a subseção geofísica 2B encontra-se entre 1,50 e 2,00 m no testemunho CP-04 e próxima a 1,20 m no CP-05. Esse contato observado no testemunho e na subseção geofísica 2B indica uma mudança de energia no ambiente deposicional, interpretada com base na ausência de sedimentação fina em profundidade.

No testemunho CP-07 foi observada uma seqüência transgressiva, onde se encontra uma discordância em torno de 1,50 m de profundidade (Fig. 47), apresentando uma superfície oxidada em contato

com uma camada de lama orgânica, que indica um afogamento. Sobre essa camada há um recobrimento eólico. Nesse mesmo testemunho é encontrada a 4,40 m de profundidade uma estrutura de estratificação cruzada, possivelmente caracterizando dunas eólicas pleistocênicas devido à profundidade encontrada.

A amostra coletada para datação radiocarbônica por ^{14}C no contato entre a superfície discordante observada no testemunho CP-07 apresentou uma idade convencional de $1,43 \pm 0,08$ ka (*Beta Analytic – 132635*). Esse valor encontrado corresponde à idade mínima do início da sedimentação fina, subsequente ao afogamento da superfície discordante encontrada no contato inferior da camada de lama orgânica.

Devido ao registro apresentado pelo testemunho CP-07, foram feitas três análises granulométricas com o propósito de identificar alguma variação textural em profundidade. As análises (Anexo II) indicam areias texturalmente semelhantes. Na interpretação das análises granulométricas, ficou evidenciada a descrição faciológica elaborada para os pontos de amostragem 'A' e 'C'. As amostras analisadas apresentam-se muito bem selecionadas a bem selecionadas, de acordo com os parâmetros estatísticos.

O testemunho CP-08 é caracterizado por uma coluna de sedimentos completamente arenosa, apresentando, localmente, camadas com variação na porosidade. A análise granulometria (Anexo II) feita em dois pontos, com diferença de compactação nas camadas, indicou areias texturalmente idênticas (areia fina) na classificação de Shepard (1954). Na subseção geofísica 1A é observado nesse ponto de testemunhagem um refletor bem definido. Correlacionado com esse testemunho, o refletor está situado exatamente no corte entre as duas seções. Quando do corte do testemunho em duas seções no campo, foi observada uma variação faciológica na cor dos sedimentos de uma seção para a outra.

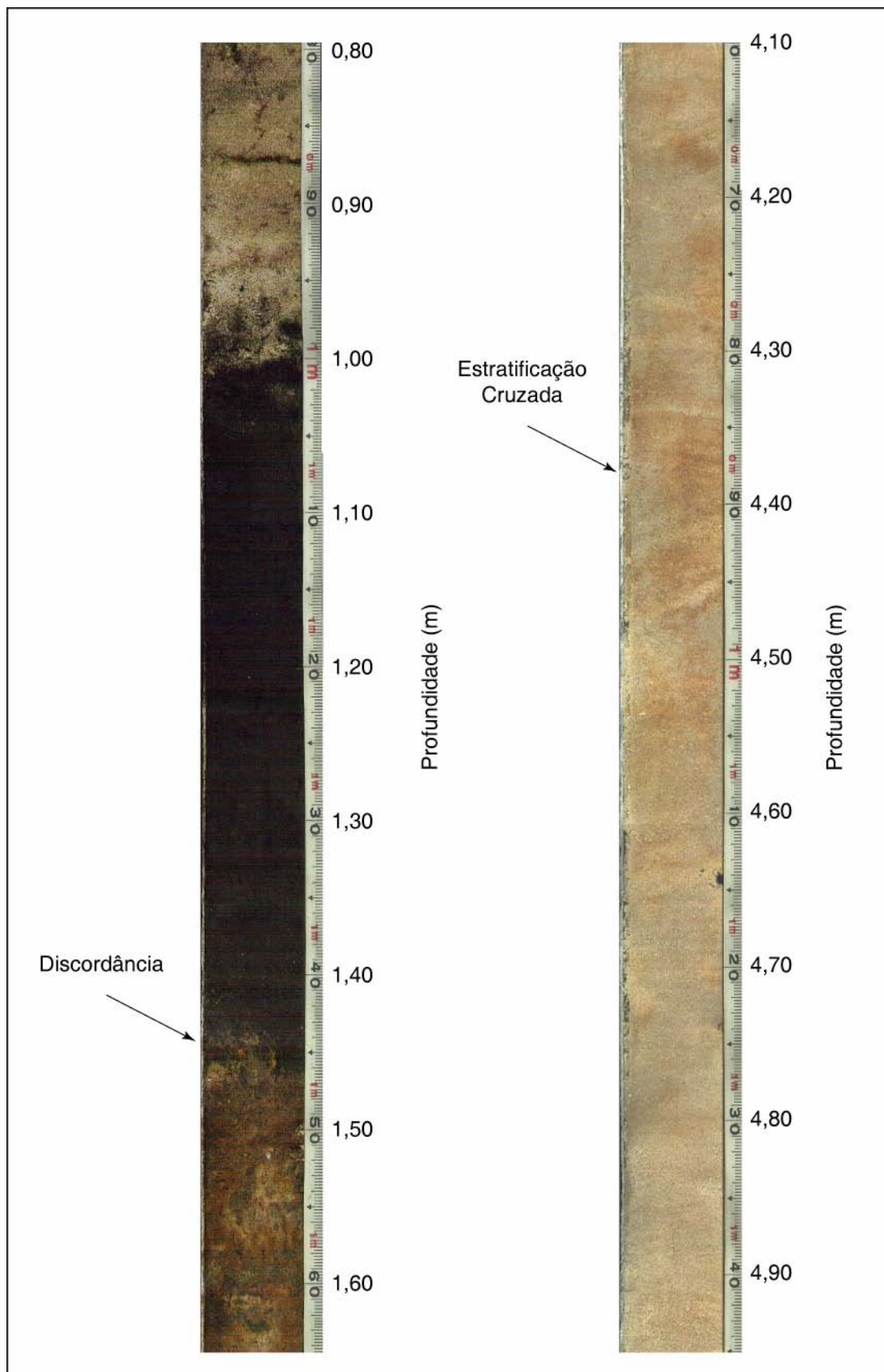


Figura 47 - Seções com feições representativas do testemunho CP-07. A) Detalhe da discordância no contato entre a lama orgânica e uma superfície arenosa oxidada. B) Detalhe de uma estratificação cruzada.

Possivelmente, essa variação está associada a uma diferença na compactação entre as camadas (i.e., variação de porosidade/umidade) em subsuperfície.

A Figura 48 representa um detalhe do testemunho CP-08, onde, correlacionado com o perfil de radiância, é possível identificar a diferença de porosidade entre camadas na seção. Onde há maior porosidade a radiância tende a valores menores. Isso ocorre porque o feixe de luz emitido pelo sensor do *scanner* é menos refletido devido ao maior número de espaços na estrutura do arranjo sedimentar, ou seja, quanto menos luz refletida mais escura é a imagem gerada. Nessa mesma figura é possível identificar o refletor geofísico no corte do testemunho. Nesse ponto é observado um alto índice na radiância.

Os testemunhos CP-09, CP-10, CP-11 e CP-12 perfilados perpendiculares à margem da Laguna dos Patos (Fig. 40), apresentam em profundidade, concomitantes aos testemunhos CP-07 e CP-08, camadas com lâminas texturalmente semelhantes, porém possuindo alteração na porosidade. Uma variação faciológica observada nesses testemunhos está localizada em torno de 0,90 e 1,50 m em profundidade, sendo constituída de níveis pontuais de oxidação associados à presença de restos de vegetais.

Esse nível encontrado nos testemunhos está associado a uma exposição subaérea, com evidências de presença de vegetação. Em todos os locais testemunhados sobre o terraço lagunar holocênico foi identificada essa superfície, indicando uma feição de abrangência regional.

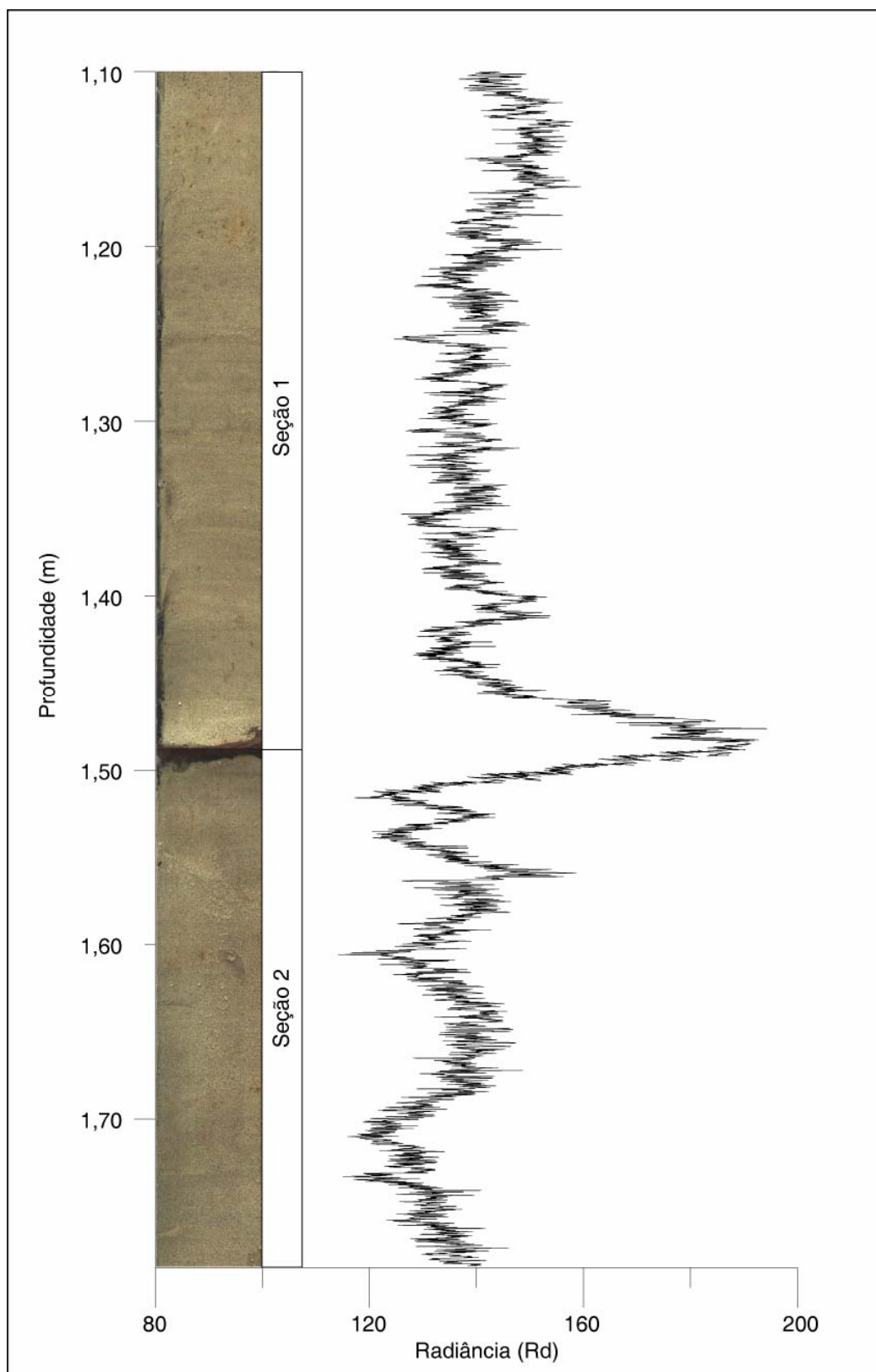


Figura 48 - Detalhe do testemunho CP-08 entre 1,10 e 1,80 m correlacionado com o perfil de radiância. Aproximadamente o corte das duas seções está em torno de 1,50 m coincidindo com a variação faciológica na porosidade e o refletor geofísico. Observa-se no perfil de radiância os picos indicando maior ou menor grau de compactação.

Capítulo 4

Aplicação da Estratigrafia de Seqüências de Alta Resolução

4 – APLICAÇÃO DA ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS DE ALTA RESOLUÇÃO

4.1 – INTRODUÇÃO À TEORIA

O reconhecimento da natureza cíclica no registro estratigráfico, pontuado por interrupções na sedimentação, representa o embasamento no qual a estratigrafia de seqüências está alicerçada.

A estratigrafia de seqüências utiliza como critério de individualização de unidades (seqüências) as interrupções na sedimentação, proporcionando, dessa forma, um arcabouço cronoestratigráfico para a correlação e o mapeamento das rochas. Ela difere, assim, da estratigrafia clássica (litoestratigrafia, N.A.C.S.N., 1983) a qual organiza o registro geológico em unidades definidas na forma de Grupos, Formaões e Membros, descritas pela similaridade de suas características faciológicas (cor, composição, texturas, estruturas, etc.).

A estratigrafia de seqüências pode ser definida, segundo Van Wagoner *et al.* (1990), como o estudo dos estratos sedimentares geneticamente relacionados, situados entre duas superfícies cronoestratigraficamente relevantes. Essas superfícies caracterizam hiatos

ou interrupções na ciclicidade do registro geológico, representados pelas discordâncias ou superfícies de inundação máxima.

Conforme Mitchum *et al.* (1977) uma discordância (*unconformity*), consiste em uma superfície de erosão ou não deposição que separa estratos mais jovens de estratos mais antigos. Essa definição foi rescrita por Van Wagoner *et al.* (1988), acrescentando que ao longo da superfície de discordância deve haver evidências de truncamento erosional subaéreo, erosão submarina correlata ou exposição subaérea, com um significativo hiato envolvido. Nessa definição não estão incluídas as erosões localizadas, de caráter restrito, geradas por processos autocíclicos específicos de cada ambiente sedimentar.

Uma superfície de inundação máxima (*marine flooding surface*) é um contato que separa estratos mais jovens de estratos mais antigos, sobre a qual identificam-se evidências de um abrupto incremento na lâmina de água. Essa transgressão abrupta normalmente é acompanhada de pequena erosão submarina e/ou não deposição, onde é também observado um hiato de tempo, porém menos significativo que o apresentado nas discordâncias (Van Wagoner *et al.*, 1990). Nessa superfície normalmente se encontram fácies marinhas com sedimentação hemipelágica de pouca espessura, acumuladas por taxas de deposição muito baixas, chamadas de seção condensada (Loutit *et al.*, 1988).

A unidade fundamental da estratigrafia de seqüências é a 'seqüência', que pode ser definida, segundo Van Wagoner *et al.* (1988), como uma sucessão de estratos geneticamente relacionados, limitados por discordâncias ou suas concordâncias relativas. Concordância relativa é considerada a superfície que separa estratos mais jovens de estratos mais antigos, ao longo da qual não existem evidências de erosão ou não deposição, não estando ainda envolvido um hiato significativo, podendo a sedimentação ser considerada contínua (Van Wagoner *et al.*, 1990). As concordâncias relativas constituem o prolongamento das discordâncias para

o interior da bacia, onde os rebaixamentos relativos do nível do mar não influenciam significativamente a sedimentação de maneira a produzir um hiato (erosional ou não deposicional) relevante ou mensurável.

Conforme Van Wagoner *et al.* (1990), seqüências são formadas por 'parasseqüências' e 'conjuntos de parasseqüências'. Uma parasseqüência é uma sucessão concordante de camadas ou conjunto de camadas geneticamente relacionadas, limitada por superfícies de inundação marinhas e suas superfícies correlatas, que mostram um padrão de arrazamento para o topo. Um conjunto de parasseqüências é uma sucessão de parasseqüências geneticamente relacionadas, que formam um padrão definido de estaqueamento estratigráfico, limitado, geralmente, por uma superfície de inundação marinha de maior expressão ou suas superfícies correlatas. Os conjuntos de parasseqüências apresentam padrões de empilhamento progradacionais, retrogradacionais ou agradacionais, dependendo da razão entre as taxas deposicionais e de acomodação.

A estratigrafia de seqüências está baseada no princípio de que as seqüências se desenvolvem principalmente em resposta às variações no espaço de acomodação dos sedimentos. Associado a esse fator, o aporte de sedimentos e a fisiografia da bacia contribuem para o padrão de distribuição dos estratos sedimentares.

O espaço de acomodação, de acordo com Jervey (1988), pode ser definido como o espaço disponível para a acumulação ou deposição de sedimentos. Esse espaço de acomodação deve estar contido entre o nível base (nível acima do qual ocorrerá a erosão), que geralmente é referido ao nível relativo do mar e o assoalho da bacia. Dessa forma, o padrão de deposição dos sedimentos é função direta da combinação dos movimentos verticais do nível de base (i.e., nível relativo do mar) e do assoalho da bacia (subsidiência).

Outro fator importante no que diz respeito à arquitetura das seqüências deposicionais é o aporte sedimentar. Se houver um grande aporte sedimentar, poderá ocorrer uma progradação com regressão da linha de costa (regressão normal). Quando a regressão da linha de costa se dá unicamente pelo rebaixamento do nível do mar, independente do aporte sedimentar, ocorre então uma regressão forçada. Quando ocorrer um pequeno aporte sedimentar associado a uma subida relativa do nível do mar haverá uma transgressão da linha de costa, ocasionando uma retrogradação das fácies sedimentares.

Os tratos de sistemas, segundo Brown & Fisher (1977), são considerados como uma associação de sistemas deposicionais contemporâneos. Sistema deposicional foi definido por Fischer & McGowen (1967) como os depósitos inter-relacionados de um determinado ambiente deposicional, observados tridimensionalmente. Como exemplo podemos citar o trato de sistemas flúvio-deltaico, o qual compreende todos os depósitos encontrados nos sistemas deposicionais meandrante e deltaico.

A Escola da Exxon definiu os tratos de sistemas como subdivisões da seqüência, em função de pontos específicos na curva de variação relativa do nível do mar (baseada na modulação da variação eustática sobre a subsidência). A variação relativa do nível do mar (seqüencial ideal) está relacionada a um ciclo ideal, que é representado por uma curva senóide. Essa curva é composta inicialmente por um rebaixamento relativo do nível do mar (geração da discordância basal), seguido de uma estabilização em nível baixo. Ocorre subsequente uma subida até um máximo transgressivo, que culmina com uma estabilização em nível alto e retorna a um novo rebaixamento (gerando uma discordância de topo).

Segundo Posamentier & Vail (1988), Posamentier *et al.* (1988) e Van Wagoner *et al.* (1990), em seqüências marinhas são identificados três tratos de sistemas (Fig. 49); trato de sistemas de mar baixo (*lowstand system tract*), transgressivo (*transgressive system tract*) e de mar alto (*highstand system tract*).

O trato de sistemas de mar baixo está contido entre o rebaixamento do nível relativo do mar inicial, estabilização no nível baixo (*lowstand*), e o início da subida do nível relativo do mar, encontrando-se entre a discordância basal e a superfície transgressiva de uma seqüência. Os depósitos encontrados são os leques de assoalho de bacia, os leques de talude e a cunha de mar baixo.

O trato de sistemas transgressivo é formado entre o início da subida relativa do nível do mar e a maior elevação desse, estando situado entre a superfície transgressiva e a superfície de máxima inundação. Nesse trato, as parasseqüências mostram um estaqueamento retrogradacional, definindo um aumento progressivo no espaço de acomodação.

Por último, o trato de sistemas de mar alto é caracterizado por uma estabilização no nível de mar alto (*highstand*), formado a partir da superfície máxima de inundação, até o limite de seqüência superior, instalado quando do rebaixamento posterior do nível relativo do mar. As parasseqüências indicam um padrão agradacional, passando a progradacional em direção ao topo da seqüência.

Outros trabalhos que reconhecem a ciclicidade do registro geológico, bem como a importância do estabelecimento das correlações cronoestratigráficas, são abordados por Einsele & Seilacher (1982), Galloway (1989) e Perlmutter & Matthews, (1989).

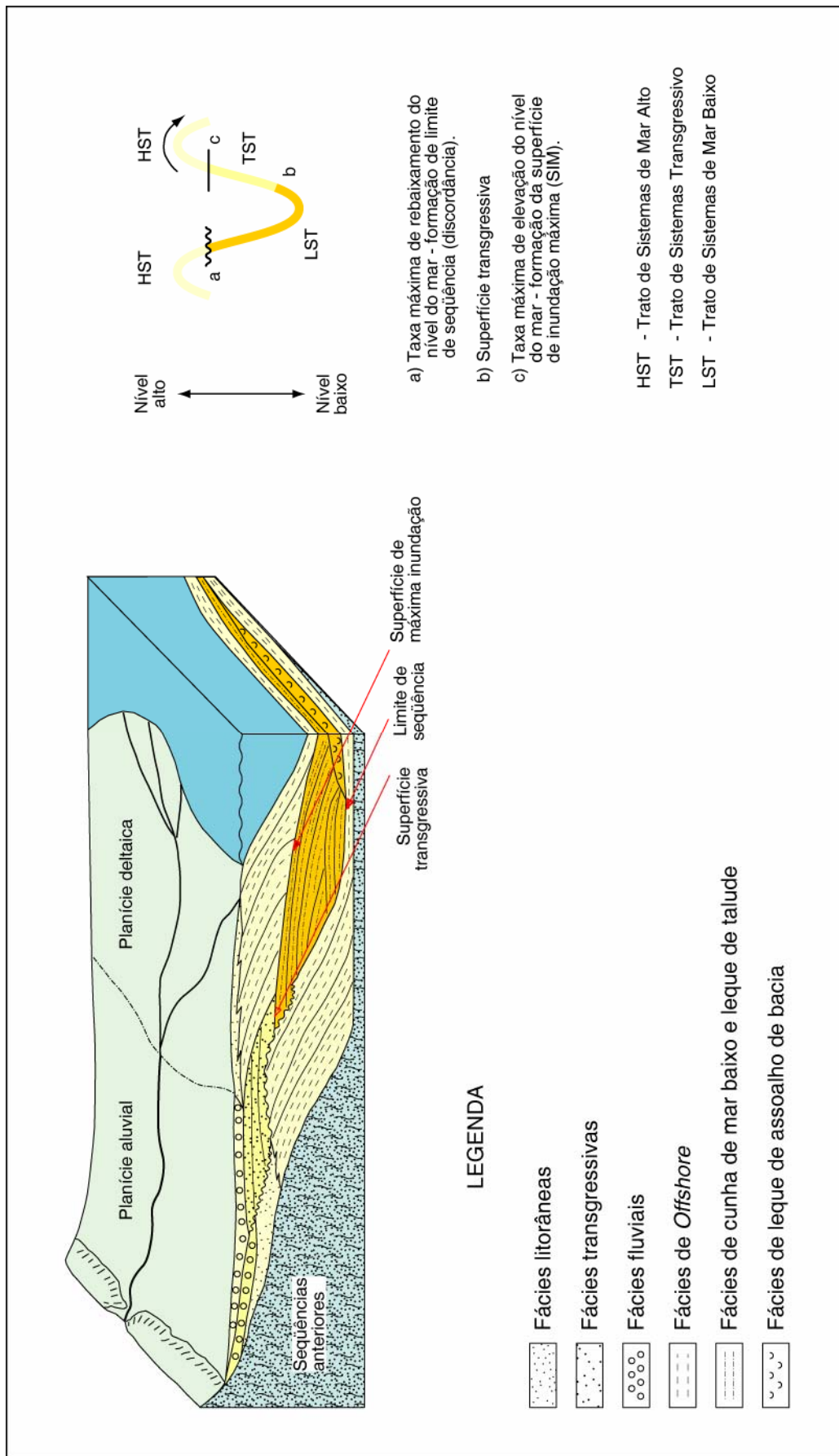


Figura 49 - Modelo ideal de variação do nível do mar (seqüência ideal) e sua relação com tratos de sistema (mod. de Haq, 1991).

4.2 – OBJETIVO PROPOSTO

A tentativa de aplicação, nesse estudo, dos conceitos da estratigrafia de seqüências está baseada nos pressupostos teóricos de Vail *et al.* (1977), Posamentier & Vail (1988), Posamentier *et al.* (1988), Van Wagoner *et al.* (1988) e Posamentier *et al.* (1992). Dessa forma, além da construção de um arcabouço cronoestratigráfico, procurar-se-á a identificação da ciclicidade no registro geológico (tratos de sistemas), propondo um modelo ordenado para a sedimentação.

No contexto dessa Dissertação este capítulo deve ser entendido como um “exercício” de aplicação dos conceitos da estratigrafia de seqüências ao tema de estudo. Esse procedimento está embasado no trabalho de Posamentier *et al.* (1992), o qual sugere que “os conceitos da estratigrafia de seqüências são independentes em escala e tempo”. Assim, utilizamos as feições morfológicas de terraceamento encontradas na área de estudo, próxima à margem da Laguna dos Patos, para testar esse princípio.

As feições de terraceamento estudadas estão inseridas no espaço de tempo dos últimos 5.000 anos, ou seja, no Holoceno. Devido à escala de trabalho e o tempo envolvido nos processos que envolvem a sedimentação local, não seria possível a aproximação de uma seqüência completa. Partimos então para a identificação dos tratos de sistemas, os quais compõem uma seqüência.

4.3 – ELABORAÇÃO DE UM MODELO

Partindo do pressuposto de que o padrão de deposição/erosão dos sedimentos é função direta da combinação dos movimentos verticais do nível de base (i.e., nível relativo do mar e/ou lagunar para o modelo),

definimos que as superfícies de terraceamento correspondem aos limites dos tratos de sistemas. Como a área de estudo, próxima à margem lagunar, possui três principais feições de terraceamento (em escala de tempo), partimos então para uma interpretação da posição dessas feições no contexto cronoestratigráfico.

Na análise das seções geofísicas foi observado que na área de estudo, devido à escala de trabalho, morfologia do terreno e, principalmente, à sedimentação encontrada na margem lagunar, os refletores se apresentam horizontalizados, não sendo possível a identificação das relações de terminação dos mesmos, sendo observadas somente variações no acamadamento. Apenas na parte final da seção 1B é possível a identificação de estruturas apresentando *downlap* sobre o embasamento pleistocênico. Assim, os limites dos tratos de sistemas foram definidos através do estudo sobre os perfis altimétricos e batimétricos, associados aos testemunhos de sondagem sobre a área emersa.

A interpretação das três principais feições de terraceamento, associada a seção geofísica 1B, indicou a presença de quatro tratos de sistemas e um limite de seqüência (Fig. 51). Os tratos definidos cronologicamente do mais antigo para o mais jovem foram: trato de sistemas transgressivo (Pré-5,1 ka), trato de sistemas de nível lagunar alto (*highstand*), trato de sistemas de nível lagunar baixo (*lowstand*) e trato de sistemas transgressivo (atual), análogos aos tratos de sistemas marinhos definidos por Van Wagoner *et al.* (1988).

Através da interpretação obtida na seção geofísica 1B, definimos o trato de sistemas transgressivo (Pré-5,1 ka). Essa observação está fundamentada na identificação de estruturas, apresentando uma morfologia de dunas transgressivas, com *downlap* sobre o embasamento pleistocênico. A sedimentação encontrada na base do testemunho de sondagem CP-12 consiste de areia fina com laminação incipiente.

O trato de sistemas de nível lagunar alto foi definido com base no nível de estabilização da Laguna dos Patos entre 2 e 3 m acima do atual, ocorrido no máximo transgressivo de 5,1 ka. Essa estabilização gerou uma escarpa regional, identificada em toda a margem do corpo lagunar. A sedimentação é caracterizada por areias policíclicas retrabalhadas pela ação de ondas e do vento.

O estudo sobre palinomorfos elaborado por Cordeiro (1991), em um testemunho coletado na Laguna dos Patos, próximo à área deste trabalho, apresenta uma fase de transgressão marinha acentuada ocorrida à cerca de 5 ka com o máximo da transgressão em 4 ka (nível de estabilização). Segundo Cordeiro (1991), a partir de 4 ka inicia-se uma contínua regressão marinha, desalinizando paulatinamente a laguna. Com base nesse estudo assumimos que o limite inferior e superior do trato de sistemas de nível lagunar alto ocorreu, respectivamente, entre 5 e 4 ka.

A identificação de uma plataforma afogada com uma escarpa encontrada próxima a isóbata de -1 m, associada a uma superfície com exposição subaérea (oxidada), sobreposta por uma mudança de fácies abrupta identificada no testemunho CP-07, caracterizou o trato de sistemas de nível lagunar baixo. Como já apresentado no capítulo anterior (3.4 e 3.5), essa feição de terraceamento foi formada em um nível lagunar mais baixo que o atual, anterior a $1,43 \pm 0,08$ ka (*Beta Analytic* – 132635). Esse valor indica a idade mínima de afogamento da superfície que possui indícios de exposição subaérea. Uma feição identificada na base da escarpa submersa, nos perfis batimétricos 2 e 3, corresponde a uma pequena cunha de sedimentação associada à remobilização dos sedimentos no processo erosivo de construção da escarpa.

O trato de sistemas transgressivo (atual) corresponde ao nível médio da Laguna dos Patos. Essa interpretação está embasada nas observações feitas na margem lagunar, onde encontram-se lamas e turfas sendo erodidas, expondo o que foi um pequeno corpo lagunar (Fig. 35).

Esse avanço da linha de praia em direção ao continente apresenta uma superfície de ravinamento, caracterizando uma transgressão. A sedimentação observada consiste no avanço de um cordão transgressivo de pequenas dunas sobre uma paleolaguna (análise do testemunho CP-07, em anexo).

O limite de seqüência definido corresponde a um *limite de seqüência inferior*, caracterizado por uma discordância erosiva formada a partir de um rebaixamento do nível de base (i.e. nível da laguna). Essa superfície erosiva foi identificada com base no critério de exposição subaérea, associada a uma mudança de fácies abrupta indicando um afogamento da planície lagunar.

4.4 – CONCLUSÃO

A sucessão de feições de terraceamento e a superfície discordante, observadas na margem lagunar, são análogas às características das seqüências em grande escala, encontradas nas bacias marginais influenciadas pela variação relativa do nível do mar. Essas feições foram formadas em resposta à variação do nível lagunar.

Assim, podemos concluir que é possível a utilização dos conceitos da estratigrafia de seqüências de alta resolução na interpretação de feições no Holoceno, definindo, dessa forma, ciclos de alta freqüência dentro do registro geológico recente.

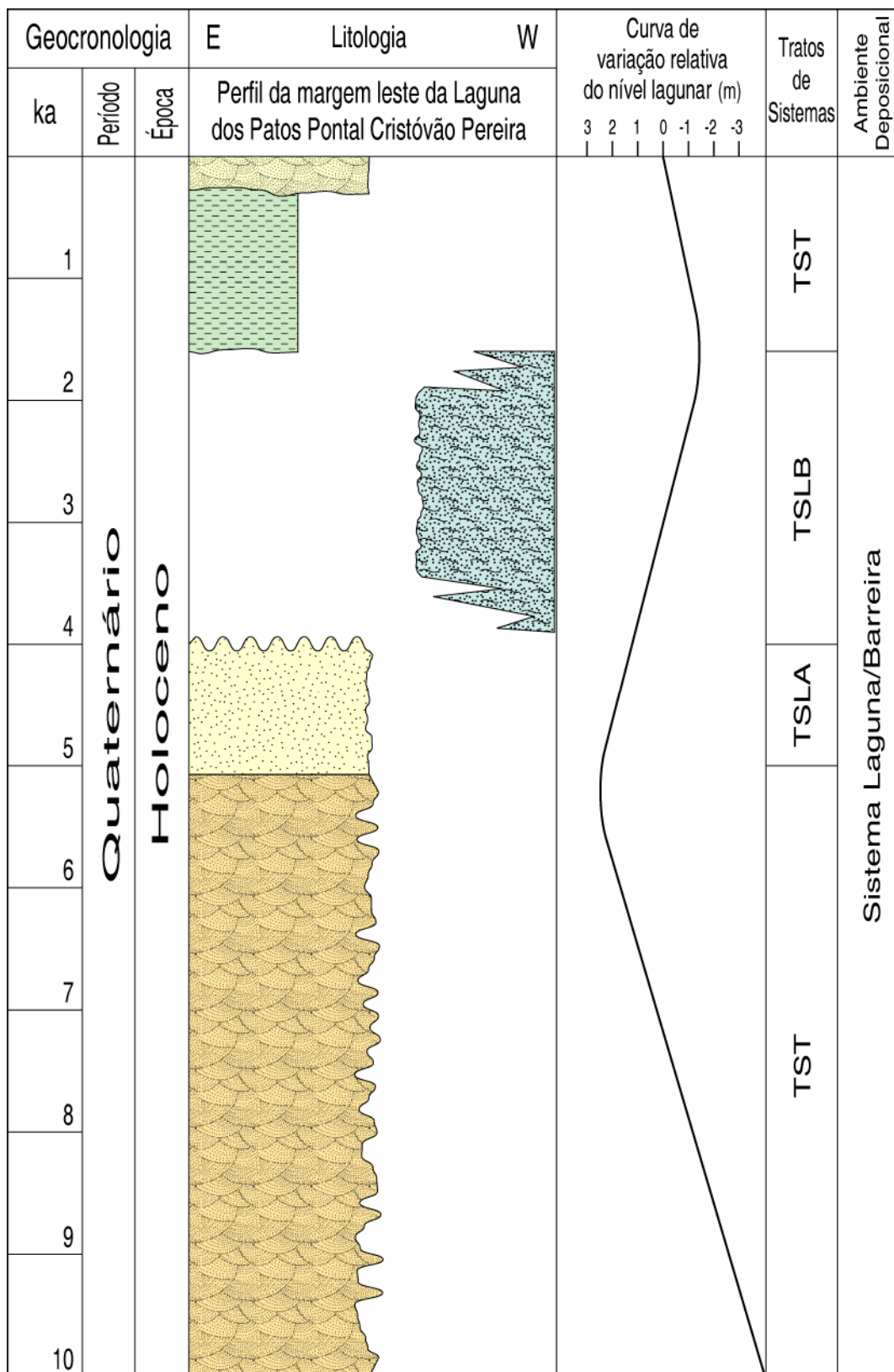


Figura 50 - Esboço da carta cronoestratigráfica proposta para área de estudo. A legenda para a litologia apresentada encontra-se na Figura 51.

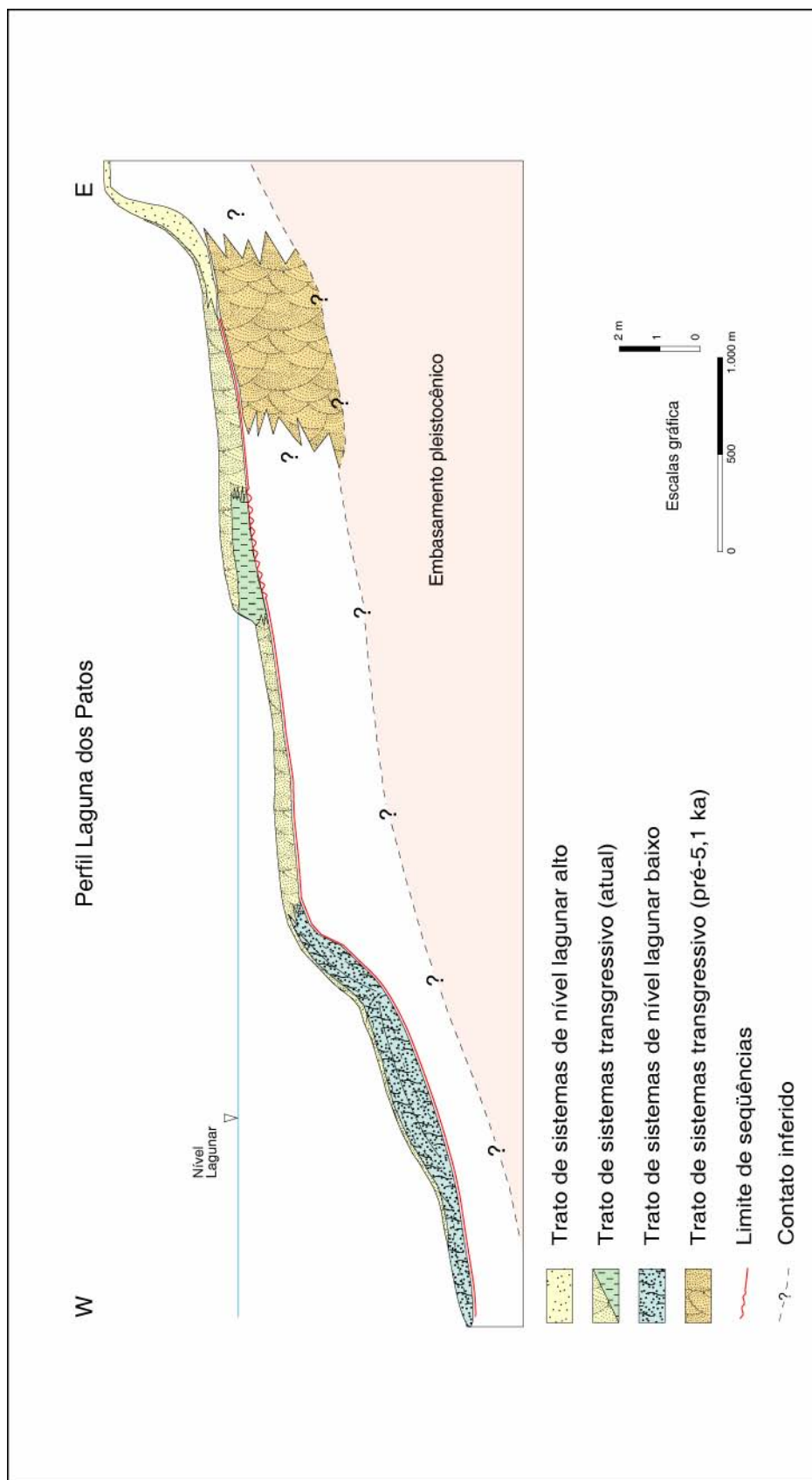


Figura 51 - Modelo esquemático representando os tratos de sistemas para os últimos 5,1 ka na margem leste da Laguna dos Patos. Perfis altimétrico e batimétrico compostos localizados próximo ao Pontal Cristóvão Pereira.

Capítulo 5

Considerações Finais

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 – DISCUSSÕES

A contenda a seguir trata essencialmente do objetivo maior dessa Dissertação, ou seja, a identificação e o histórico evolutivo-estratigráfico das feições de terraceamento existentes na área de estudo.

As feições de terraceamento foram identificadas com base nos trabalhos de Fairbridge (1968) e Sunamura (1975). Segundo esses autores, em um nível estável de um corpo de água (marinho ou lagunar) a ação das ondas esculpe uma escarpa na margem. Associada a essa erosão ocorre a formação de uma plataforma em resposta ao equilíbrio da praia (Fig. 52).

Uma feição de terraceamento localizada no paleoembaiamento do Pontal Cristóvão Pereira se constitui de uma escarpa localizada em uma cota de 7 m, apresentando uma altura de 4 m, associada a uma plataforma com aproximadamente 2.000 m de extensão. Essa feição está relacionada ao terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico (Sistema Laguna/Barreira III), descrito nos trabalhos de Villwock (1984) e Villwock *et al.* (1986). Segundo Tomazelli & Villwock (1991), esse sistema pode ser correlacionado com outros depósitos estudados em outros locais da costa brasileira por Suguio & Martin (1978) e Bittencourt *et al.* (1978), vinculados à

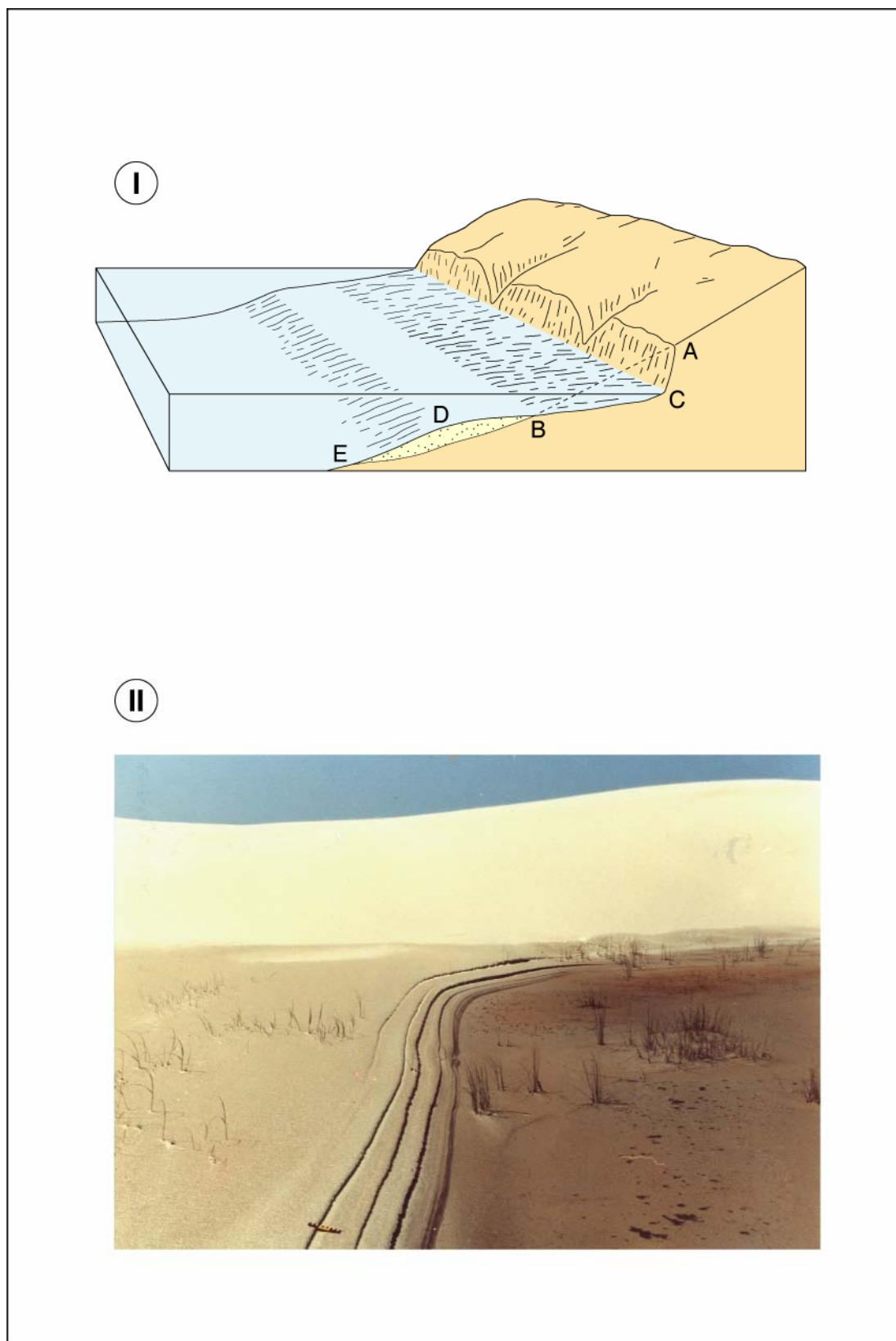


Figura 52 - I) Modelo ideal da feição de terraceamento; (AC) escarpa erosiva, (BC) plataforma de terraceamento, e (BDE) cunha de sedimentação (mod. de Fairbridge, 1968). II) Fotografia de micro-terraços formados pelo abaixamento descontínuo no nível de corpos de água temporários. Campo de dunas em Pinhal (Tomazelli, 1990).

“Penúltima Transgressão” ou “Transgressão Cananéia”, datada de 120 ka por Martin *et al.* (1982).

Outra feição de terraceamento observada, apresentando abrangência regional, identificada em toda a extensão da margem lagunar e na região abrigada pelo paleoembaiamento, possui uma escarpa com 2 m de altura e uma plataforma com extensão variável, dependendo da localização em relação às margens lagunares atuais.

Essa feição desenvolveu-se no Holoceno, no máximo transgressivo atingido a cerca de 5,1 ka. Segundo Villwock (1984) e Villwock *et al.* (1986) essa transgressão esculpiu uma falésia extensa e contínua em todo o flanco leste da “Restinga da Laguna dos Patos”. Essa falésia, com abrangência regional, também é encontrada no flanco oeste da ‘Restinga’.

Atualmente, encontram-se em processo ativo de formação duas feições de terraceamento. A primeira resulta do processo erosivo atuante sob condições de nível médio da Laguna dos Patos. A segunda feição é formada quando ocorre o máximo nível lagunar durante os meses de inverno, e, mais efetivamente, quando esse ocorre associado ao evento cíclico do fenômeno ‘*El Niño*’, quando o nível da laguna pode elevar-se de 1-1,50 m acima do nível médio. Isso pode ser observado nas figuras 12 e 14. Cabe salientar que junto a essa margem lagunar ocorre um cordão de pequenas dunas transgressivas, as quais podem ser observadas no perfil altimétrico 1 na Figura 18.

Uma outra importante feição identificada nesse estudo encontra-se submersa na Laguna dos Patos. Essa feição de terraceamento já foi observada em trabalhos de análise batimétrica e interpretação de fotografias aéreas por Villwock (1972, 1977), Toldo Jr. (1989) e discutida por Tomazelli (1990). Esses autores sugerem que essa isóbata de -1 m provavelmente delimita uma posição pretérita de estabilização temporária do nível lagunar.

Consideramos a avaliação dessa feição de terraceamento como de fundamental importância no contexto evolutivo-estratigráfico da região, bem como um dado importante na corroboração da parte terminal da curva de variação relativa do nível do mar para a costa do Rio Grande do Sul, esboçada por Tomazelli (1990).

A preservação dessa feição de terraceamento pode ser explicada através do estudo de Toldo Jr. (1994), onde se verifica que o número de dias em que essa região está sujeita à ação de ondas com potencial de energia capaz de remobilizar os sedimentos de fundo, é de 29 dias por ano, sendo que esses dias ocorrem, principalmente, nos períodos em que o nível lagunar está acima do nível médio, minimizando o efeito de abrasão da onda com o fundo.

A batimetria, apresentada no Capítulo 3, revela uma escarpa afogada situada em torno de 1.000 m da margem lagunar. Essa escarpa está situada em uma isóbata de -1,20 m, possuindo uma diferença de nível próxima a 2 m. Apresenta na sua base (Fig. 38 – Perfil 2 e Fig. 39 – Perfil 3) uma plataforma de equilíbrio praiar como descrita nos trabalhos de Fairbridge (1968) e Sunamura (1975), caracterizando dessa forma uma feição formada a partir de um nível de estabilização temporário da Laguna dos Patos.

A determinação da idade em que esse nível esteve mais baixo que o atual está baseada no controle stratigráfico utilizado nesse estudo. Uma amostra de lama orgânica encontrada em um testemunho de sondagem (CP-07), em contato discordante com uma superfície arenosa oxidada com características de exposição subaérea foi datada por ^{14}C , apresentando uma idade de $1,43 \pm 0,08$ ka (*Beta Analytic* – 132635). Essa camada de lama é correlacionada a um extenso afloramento de lama orgânica e turfa, que atualmente está sendo exposto pela erosão da margem lagunar (Figs. 14 e 35). A datação encontrada corresponde à idade mínima de afogamento da superfície que estava exposta acima do nível pretérito,

indicando que a partir do início do afogamento instalou-se, neste local, um sistema laguna/barreira de pequena escala.

Outra informação importante a ser considerada na avaliação desse nível lagunar pretérito mais baixo provém de dados maregráficos coletados durante os últimos 100 anos. Os dados de marégrafos aqui utilizados foram compilados de trabalhos em regiões ao norte e ao sul do Rio Grande do Sul, em áreas que possuem como substrato o embasamento cristalino, ou seja, áreas consideradas tectonicamente bastante estáveis.

Emery (1991) apresenta um trabalho onde avalia um grande número de estações de marégrafos, situados em vários locais na América do Sul. Como referência tomamos três estações mais próximas da área de estudo, Imbituba - SC, La Paloma e Montevideo no Uruguai. Essas estações apresentam uma elevação relativa do nível do mar na ordem de 0,7, 1,3 e 1,2 mm/ano respectivamente. Outro estudo que utiliza dados de marégrafos no Uruguai é apresentado no Boletim Informativo Regional Nº 12 da OSNLR de autoria de ISLA (1997). Esse trabalho indica taxas de elevação relativa do nível do mar na ordem de 0,62 mm/ano para Punta del Este (1901-1992), e 0,69 mm/ano para Montevideo (1902-1994).

Como a Laguna dos Patos possui um canal permanente de ligação com o Oceano Atlântico, é de se esperar que qualquer variação no nível do mesmo terá uma resposta dentro do corpo lagunar. Se extrapolarmos para o passado a taxa média de ascensão do nível do mar registrada nas estações maregráficas acima mencionadas, obteremos um nível lagunar mais baixo que o atual, capaz de formar a feição de terraceamento afogada, próximo a 2 ka.

Os dados acima contrariam os trabalhos apresentados por Toldo Jr. (1989) e Cordeiro (1991), nos quais os autores concluem que o aumento do nível lagunar ocorreu nos últimos 300 anos. Cordeiro (1991) relaciona esse aumento ao maior aporte de águas continentais proveniente

da rede fluvial que desemboca na Laguna dos Patos. Essa hipótese é descartável, pois não há nenhum registro histórico de um grande aumento no nível lagunar e de taxas pluviométricas em poucas centenas de anos.

Segundo Toldo Jr. (1994), o tempo de residência da água na Laguna dos Patos é de 108 dias. Se considerarmos a hipótese de aumento no nível lagunar pela maior taxa pluviométrica, estaremos afirmando que nos últimos 300 anos as chuvas não diminuiram a ponto de o nível lagunar voltar a sua cota média, ou seja, estaríamos com uma alta e constante taxa pluviométrica nos últimos séculos para manter o nível lagunar alto.

No litoral norte do Estado, Tomazelli (1990) identificou na Laguna de Tramandaí feições de terraceamento afogadas, através de observações de fotografias aéreas e da carta batimétrica dessa laguna. Nesse estudo o autor propõe que essas feições representam um nível de estabilização na laguna mais baixo do que o atual encontrado na isóbata de -1 m.

Um estudo que trata da evolução geológica da Laguna de Tramandaí é apresentado por Dillenburg (1994). Nesse trabalho foi executada uma série de testemunhos de sondagem na margem lagunar. Na análise da descrição de seis desses testemunhos, identificamos a presença de uma superfície em torno de 1,50 m de profundidade com características de variação no ambiente deposicional. No testemunho T-5, é apresentada uma idade radiocarbônica de $1,82 \pm 0,09$ ka (*Beta Analytic* - 59296), em uma amostra de lama orgânica coletada próximo a 1,50 m de profundidade. Essa datação pode ser correlacionável com a da amostra coletada próximo à margem da Laguna dos Patos, no testemunho CP-07, indicando um provável afogamento da planície adjacente na Laguna de Tramandaí.

Como a Laguna de Tramandaí possui um canal permanente de ligação com o Oceano Atlântico, é de se esperar que variações no nível do mesmo sejam refletidas no corpo lagunar, como já foi apontado por

Tomazelli (1990). Assim, podemos associar essas variações em subsuperfície, na profundidade de 1,50 m, com a discordância observada na margem da Laguna dos Patos. Dessa forma, fica evidenciado que o modelo de variação relativa do nível lagunar proposto neste trabalho está diretamente ligado à variação relativa do nível do mar, sendo também correlacionável com a região da Laguna de Tramandaí.

Segundo Bradley (1992), as variações de ^{14}C na atmosfera estão associadas às variações solares e/ou ao campo geomagnético através do tempo geológico e, conseqüentemente, apresentam flutuações climáticas. A produção de ^{14}C na atmosfera superior está relacionada ao bombardeamento de átomos de nitrogênio na atmosfera por nêutrons. Os nêutrons apresentam uma máxima concentração próximo a 15 km de altitude e são produzidos pela radiação cósmica, penetrando na atmosfera superior. Essa radiação cósmica é influenciada pelo campo magnético da Terra e tende a concentrar-se próxima aos pólos geomagnéticos. Os átomos de ^{14}C formados são rapidamente oxidados para $^{14}\text{CO}_2$, os quais descem e misturam-se com o dióxido de carbono restante na atmosfera.

Ao analisarmos o gráfico da Figura 53, no qual estão plotadas as variações de ^{14}C e do campo magnético da Terra para os últimos 7 ka, observamos que a curva de ajuste apresentada é correspondente à curva de variação relativa do nível lagunar proposto para a área de estudo. Ao considerarmos que variações no campo geomagnético influem na produção de ^{14}C e conseqüentemente no aumento de CO_2 (efeito estufa) e que os mesmos estão relacionados a mudanças climáticas no planeta, podemos correlacionar o pico de menor intensidade no campo magnético da Terra e maior produção de ^{14}C entre 5,2 e 7 ka com o máximo transgressivo de 5,1 ka da curva de variação relativa do nível do mar, proposto por diversos autores.

Assim, o pico de maior intensidade do campo magnético da Terra e menor produção de ^{14}C está relacionado ao mínimo regressivo da curva de variação relativa do nível lagunar proposto nesta Dissertação para próximo a 2 ka.

Na composição dos perfis altimétricos e batimétricos executados na área de estudo identificamos três feições de terraceamento com significado temporal. A primeira das feições foi formada durante o máximo transgressivo de 5,1 ka, a segunda foi gerada durante a regressão estabilizada próxima a 2 ka e a última é esculpida atualmente durante a variação do nível lagunar controlado pela sazonalidade. Esse traçado vai de encontro ao esquema dos terraços lagunares holocênicos na margem leste da Laguna dos Patos, proposto por Tomazelli (1990).

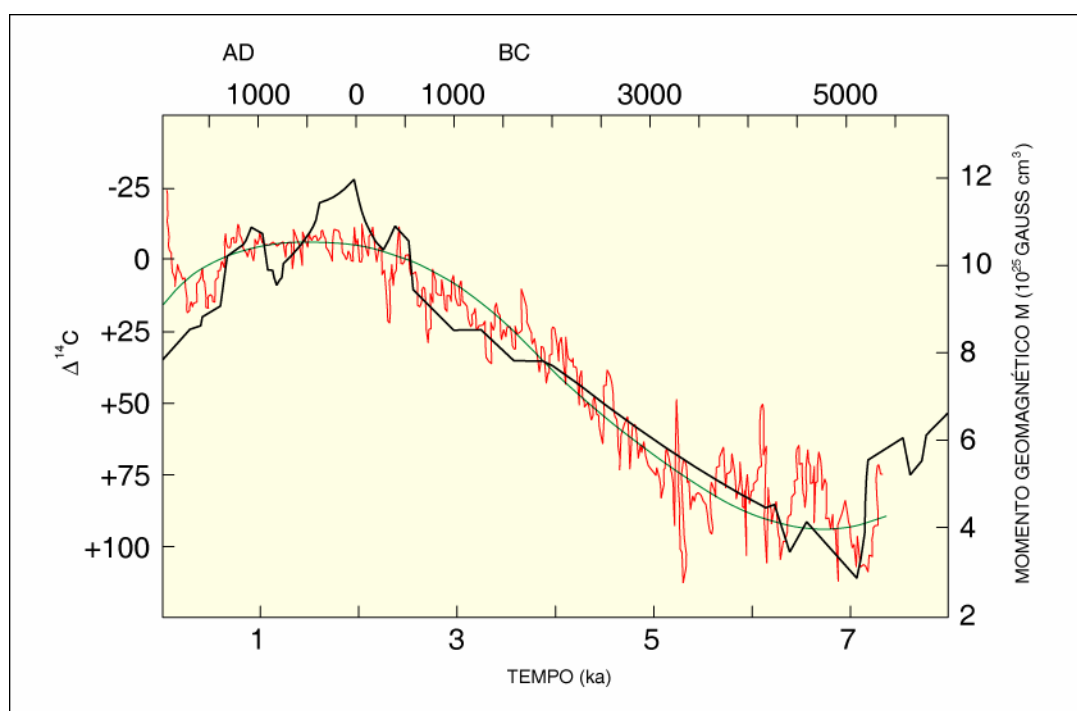


Figura 53 - Registro dos desvios na concentração relativa de ^{14}C na atmosfera (linha vermelha), calculada através de datações radiocarbônicas em anéis de árvores com idade conhecida. A linha verde representa a função de ajuste entre os dados. Na linha preta é apresentada as variações no campo magnético da Terra segundo Bucha, (1970). Como o campo magnético aumenta em intensidade (~7 até ~2 ka) o fluxo de raios cósmicos para a Terra é reduzido, causando uma diminuição na produção de ^{14}C (modificado de Eddy, 1977).

5.2 – CONCLUSÕES

No presente estudo identificamos três principais feições morfológicas de terraceamento em uma região considerada como área-chave na interpretação da evolução geológica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Essas feições representam oscilações no nível de base (i.e., nível lagunar) da Laguna dos Patos, sendo possível correlacionar algumas dessas variações com registros encontrados em toda a costa oceânica brasileira.

A utilização de ferramentas capazes de quantificar essas feições morfológicas, tanto em altimetria quanto em extensão, proporcionou a elaboração de um modelo evolutivo para a região.

A aplicação da estratigrafia de seqüências de alta resolução proporcionou a construção de um esboço cronoestratigráfico para a área de estudo, bem como a elaboração de uma curva relativa do nível lagunar para os últimos 5.000 anos.

Essa curva relativa do nível lagunar (Fig. 50), baseada nos registros encontrados na área de estudo, apresenta um máximo e um mínimo. O máximo da curva é correlacionável com várias outras curvas propostas por Martin *et al.* (1979), Suguio *et al.* (1985), Tomazelli (1990), Dillenburg (1994) e Angulo *et al.* (1999), nos quais é proposto um máximo em torno de 5,1 ka. O mínimo da curva, o que parece ser um registro observado unicamente no Rio Grande do Sul, é correlacionado somente com a curva proposta por Tomazelli (1990) e apresenta uma maior resolução para o mínimo regressivo próximo a 2 ka.

Ficou evidenciado que a margem lagunar atual, na área estudada, possui um comportamento semelhante aos sistemas

laguna/barreira clássicos, apresentado na forma de um modelo em escala reduzida. Esse ambiente deposicional é análogo ao observado em margens oceânicas, ocorrendo na região devido às dimensões da Laguna dos Patos, semelhante a um mar interior.

O GPR (*Ground Penetration Radar*) mostrou ser uma ferramenta importante para o estudo em subsuperfície na Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Principalmente na identificação de fácies eólicas e lagunares, demonstrou ser um equipamento muito útil para a melhor compreensão da estratigrafia de regiões costeiras.

Uma outra ferramenta utilizada pela primeira vez na análise de testemunhos de sondagem da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, apresentada nesse estudo, foi a rasterização da seção amostrada com um *scanner*, proporcionando a identificação de variação composicional e principalmente de porosidade.

Concluimos, portanto, acreditando que esse estudo contribui de forma positiva para o enriquecimento do conhecimento geológico de uma parcela da região do Litoral Médio do Rio Grande do Sul, acrescentando novos dados e elaborando um novo modelo para futuros estudos que se proponham a um maior detalhamento da região.

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, J.A.; MARTINS, I.R. & MARTINS, L.R. 1981. Estudo da Lagoa dos Patos. **Pesquisas**, Porto Alegre, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.14, p. 44-66.
- ANGULO, R.J.; GIANNINI, P.C.F., SUGUIO, K. & PESSENDA, 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**, Amsterdam, v.159, p. 323-339.
- ARAÚJO, F.F.S. 1996. **Uso de GPR e IP-Espectral na avaliação da contaminação industrial numa área do Pólo Petroquímico de Camaçari**. Salvador. Dissertação de Mestrado em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (inédito).
- ASMUS, H.E. 1981. Geologia das bacias marginais atlânticas mesozóicas-cenozóicas do Brasil. In: VOLKHEIMER, W. (ed.). **Cuencas sedimentares del Jurássico y Cretácico de América del Sur**. Buenos Aires: v.1, p. 127-155.
- ASMUS, H.E. 1983. A Bacia de Pelotas no esquema evolutivo da margem continental brasileira. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1, Porto Alegre, 1983. **Anais...** Porto Alegre: SBG, p. 245-252.
- ASMUS, H.E. & PORTO, R. 1972. Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, Belém, 1972. **Anais...** Belém: SBG, v.2, p. 67-90.
- ASMUS, H.E. & GUAZELLI, W. 1981. Descrição sumária das estruturas da margem continental brasileira e áreas adjacentes: hipótese sobre o tectonismo causador e implicações para os prognósticos do potencial de recursos minerais. In: ASMUS, H.E. (ed.). **Estrutura e tectonismo da margem continental brasileira e suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais**. Série Projeto Remac, 9. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES/DINTEP, p. 187-269.
- BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J. & MARQUES, E.J.J. 1999. A Utilização do GPR na Identificação de Paleofeições do Registro Estratigráfico no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 7, Porto Seguro, 1999. **Anais...** Porto Seguro: ABEQUA. (CD-ROM – viiabequa_zcp033.pdf).

- BERES, M.; GREEN, A.; HUGGENBERGER, P. & HORSTMAYER, H. 1995. Mapping the architecture of glaciofluvial sediments with three-dimensional georadar. **Geology**. Boulder, v.23, n. 12, p. 1087-1090.
- BIRD, E.C.F. 1968. Coastal lagoon dynamics. In: FAIRBRIDGE, R.W. (ed.). **Encyclopedia of Geomorphology**. New York: Reinhold Book, p. 139-144.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; VILASBOAS, G.S. & FLEXOR, J.M. 1979. The marine formation of the coast of the state of Bahia. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY. São Paulo, 1978. **Proceedings...** São Paulo, IGCP, p. 232-253.
- BOTELHO, M.A.B. & ARAÚJO, F.F.S. 1996. Emprego do Radar para a Detecção de Fraturas em Corpos Graníticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996. **Anais...** Salvador: SBG, v.2, p. 391-393.
- BOTELHO, M.A.B.; ARAÚJO, F.F.S. & VICENTE, H.F. 1996. Detecção de Cavernas e Estruturas de Dissolução em Rochas Carbonáticas Usando Radar (GPR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996. **Anais...** Salvador: SBG, v.2, p. 388-390.
- BRADLEY, R.S. 1992. **Quaternary Paleoclimatology**. London: Chapman & Hall, 472 p.
- BRIDGE, J.S.; ALEXANDER, J.; COLLIER, R.E.L.; GAWTHRPE, R.L. & JARVIS, J. 1995. Ground Penetrating Radar and Coring used to study the Large-scale structure of point-bar deposits in three dimensions. **Sedimentology**, Oxford, v.42, p. 839-852.
- BRISTOW, C.S. 1994. A new look at the Lower Greensand using ground-penetrating radar. **Geology Today**, v.10, p. 27-27.
- BRISTOW, C.S. 1995. Facies Analysis in the Lower Greensand using ground-penetrating radar. **Journal of Geological Society**, London, v.152, p. 591-598.
- BROWN, L.F. & FISHER, W.L. 1977. Seismicstratigraphic interpretation of depositional systems: Examples from Brazilian rift and pull-apart basins. In: PAYTON, C.E. (ed.). **Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, p. 213-248. (AAPG Memoir 26).
- BUCHA, V. 1970. Influence of the Earth's magnetic field on radiocarbon dating. In: OLSSON, I.U. (ed.). **Radiocarbon variations and absolute chronology**. New York: Wiley, p. 501-511.

- CORDEIRO, S.H. 1991. **Palinologia de Sedimentos da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil**. Porto Alegre. 123 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DAVIS, J.L. & ANNAN, A.P. 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, v.37, p. 531-551.
- DELANEY, P. 1965. Fisiografia e Geologia da Subsuperfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação Especial da Escola de Geologia**, UFRGS. Porto Alegre, v.6, p. 1-195.
- DILLENBURG, S.R. 1988. **Contribuição à Evolução Paleogeográfica Quaternária da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 77 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DILLENBURG, S.R. 1994. **A Laguna de Tramandaí: Evolução Geológica e Aplicação do Método Geocronológico da Termoluminescência na Datação de Depósitos Sedimentares Lagunares**. Porto Alegre. 143 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- EDDY, J.A. 1977. Climate and the changing sun. **Climatic Change**, v.1, p. 173-190.
- EINSELE, G. & SEILACHER, A. 1982. **Cyclic and Event Stratification: Symposium**. Berlin: Springer-Verlag, 550 p.
- EMERY, K.O. & AUBREY, D.G. 1991. **Sea Levels, Land Levels and Tide Gauges**. New York: Springer-Verlag, 237 p.
- FAIRBRIDGE, R.W. 1968. Terraces - Lacustrine. In: FAIRBRIDGE, R.W. (ed.). **Encyclopedia of Geomorphology**. New York: Reinhold Book, v.3, p. 1138-1140.
- FISCHER, W. & MCGOWEN, J.H. 1967. **Depositional systems in the Wilcox Group of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas**. Gulf Coast Association of Geologists Society, Trans., v.17, p. 213-248.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. 1957. Brazos River Bar: A Significance of Grain Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.27 (1), p. 3-26.
- FONTANA, R.L. 1989. Investigações geofísicas sobre o cone de Rio Grande, Bacia de Pelotas, Brasil. In: SIMPÓSIO SULBRASILEIRO DE GEOLOGIA, 4. Porto Alegre, 1989. **Atas... 2: XIII**. Porto Alegre: SBG, p. 161-170.

- FONTANA, R.L. 1990. Desenvolvimento termomecânico da Bacia de Pelotas e parte sul da Plataforma de Florianópolis. In: GABAGLIA, G.P.R. & MILANI, E.J. (eds.). **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, p. 377-400.
- FRAGOSO-CÉSAR, A.R.S. 1980. O Cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-sul-riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Balneário Camboriú, 1980. **Anais...** Balneário Camboriú: SBG, v.5, p. 2879-2892.
- GALLOWAY, W.E. 1989. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. **American Petrology and Geology Bulletin** 73, p. 125-142.
- GHIGNONE, J.I. 1960. Reconhecimento Gravi-magnético na Bacia de Pelotas. **Boletim Técnico da Petrobrás**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, v.3, n.2 p. 73-79.
- GODOLPHIM, M.F. 1976. **Geologia do Holoceno Costeiro do Município de Rio Grande – RS**. Porto Alegre. 146 p., il, mapas. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GONÇALVES, A.; OLIVEIRA, M.A.M. & MOTTA, S.O. 1979. Geologia da Bacia de Pelotas e da Plataforma de Florianópolis. **Boletim Técnico da Petrobrás**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, v.22, n.3, p. 157-174.
- HAQ, B.U. 1991. Sequence Stratigraphy, Sea Level Change, and Significance for the Deep Sea. In: MACDONALD, D.I.M. (ed.). **Sedimentation, Tectonics and Eustasy**. Oxford: International Association of Sedimentologists, p. 3-39. (Special Publication 12).
- HERZ, R. 1977. **Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos – Contribuição metodológica ao estudo de processos lagunares e costeiros do Rio Grande do Sul através da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto**. São Paulo. pag. Irreg., il. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- HETEREN, S.V.; FITZGERALD, D.M.; MCKINLAY, P.A. & BUYNEVICH, I.V. 1998. Radar facies of paraglacial barrier systems: coastal New England, USA. **Sedimentology**, Oxford, v.45, p. 181-200.
- HOFFMANN, G.R.; AREND, L.M.; SILVEIRA, J.C.B.; BELLOMO, H.R. & NUNES, J.L.M. 1992. **Rio Grande do Sul: aspectos da geografia**. Porto Alegre, Martins Livreiro, 104 p.

- ISLA, F.I. 1997. Boletín Informativo Regional Nº 12 – OSNLR – Grupo Regional ASOS – Intergovernmental Oceanographic Commission – UNESCO. 8 p.
- JERVEY, M.T. 1988. Quantitative geologic modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.S.C; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (eds.). **Sea-level changes: an integrated approach**. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 47-69. (Special Publication 42).
- JOL, H.M. & SMITH, D.G. 1991. Ground Penetrating Radar of Northern Lacustrine Deltas. **Canadian Journal Earth Science**, v.28, p. 1939-1947.
- JOL, H.M.; SMITH, D.G. & MEYERS, R.A. 1996. Digital Ground Penetrating Radar (GPR): a new Geophysical tool for coastal Barrier Research (Examples from Atlantic, Gulf and Pacific Coasts, U.S.A.) **Journal of Coastal Research**, Kansas, v.12, n.4, p. 960-968.
- JOST, H. 1971. **O Quaternário da região norte da planície costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 81 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- JOST, H. & SOLIANI Jr., E. 1976. **Plano Integrado para o Desenvolvimento do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: Mapeamento Geológico e Geomorfológico**. Porto Alegre: Secretaria de Coordenação e Planejamento – Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul. 121 p.
- KETZER, J.M.M.; ARAÚJO, F.F.S. & CORRÊA, I.C.S. 1996. Estratigrafia de Seqüências de alta resolução a partir de imagens de GPR: exemplo de seqüência Rio do Rastro/Sanga do Cabral, Triássico da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996. **Anais...** Salvador: SBG, v.1, p. 227-230.
- KETZER, J.M.M. 1997. **Cronoestratigrafia das Unidades Gonduânicas Preservadas sobre o Escudo Sul-rio-grandense (Formação Caneleiras)**. Porto Alegre. 215 p.: il. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- KLEMME, H.D. 1980. Types of petroliferous basins. In: FOSTER, N. H. & BEAUMONT, E. A. 1987 – Geologic Basins, I: Classification, modelling and predictive stratigraphy. **Treatise of Petroleum Geology, Reprint Series, 1**. Tulsa, Ok, AAPG, p. 87-101.

- KÖPPEN, H.D. 1948. **Climatologia**. México, Fundo de Cultura e Economia, 380 p.
- LOUTIT, T.S.; HARDENBOL, J.; VAIL, P.R. & BAUM, G.R. 1988. Condensed sections: the key to age dating and correlation of continental margin sequences. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.S.C; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (eds.). **Sea-level changes: an integrated approach**. Tusla: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 183-216. (Special Publication 42).
- MADEIRA, C.V.; MELLO, C.L.; PILON, J.A. & MOURA, J.R. 1997. O Uso do GPR na Estratigrafia de Depósitos Coluviais na Região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 6. Curitiba, 1997. **Anais...** Curitiba: ABEQUA, v.1 , p. 194-198.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M. 1979. Le Quaternaire Marin du litoral brésilien entre Cananéia (SP) et barra de Guaratiba (RJ). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY, São Paulo, **Proceedings...** São Paulo: IGCP, p. 296-331.
- MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. & VILASBOAS, G.S. 1982. Primeira ocorrência de corais pleistocênicos da costa brasileira: datação do máximo da penúltima transgressão. **Ciência da Terra**, v.1, p. 16-17.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES. GEIPOT. 1977. **Plano diretor de navegação interior do Rio Grande do Sul: Anexo f – Cadastros de Hidrovias**. Porto Alegre, GEIPOT, 578 p.
- MITCHUM, R.M.; VAIL, P.R. & THOMPSON, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 2: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C.E. (ed.). **Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration**. Tusla: American Association of Petroleum Geologists, p. 53-62. (AAPG Memoir 26).
- N.A.C.S.N. (North American Commission on Stratigraphy Nomenclature). 1983. **North American Stratigraphy Code**. Tusla: American Association of Petroleum Geologists Bulletin 67, p. 841-875.
- NIMER, E. 1977. Clima. In: IBGE – **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, IBGE, p. 35-79.
- PERLMUTTER, M.A. & MATTHEWS, M.D. 1989. Global cyclostratigraphy – a model. In: CROSS, T.A. (ed.). **Quantitative Dynamic Stratigraphy**. New Jersey: Prentice Hall, p. 233-260.

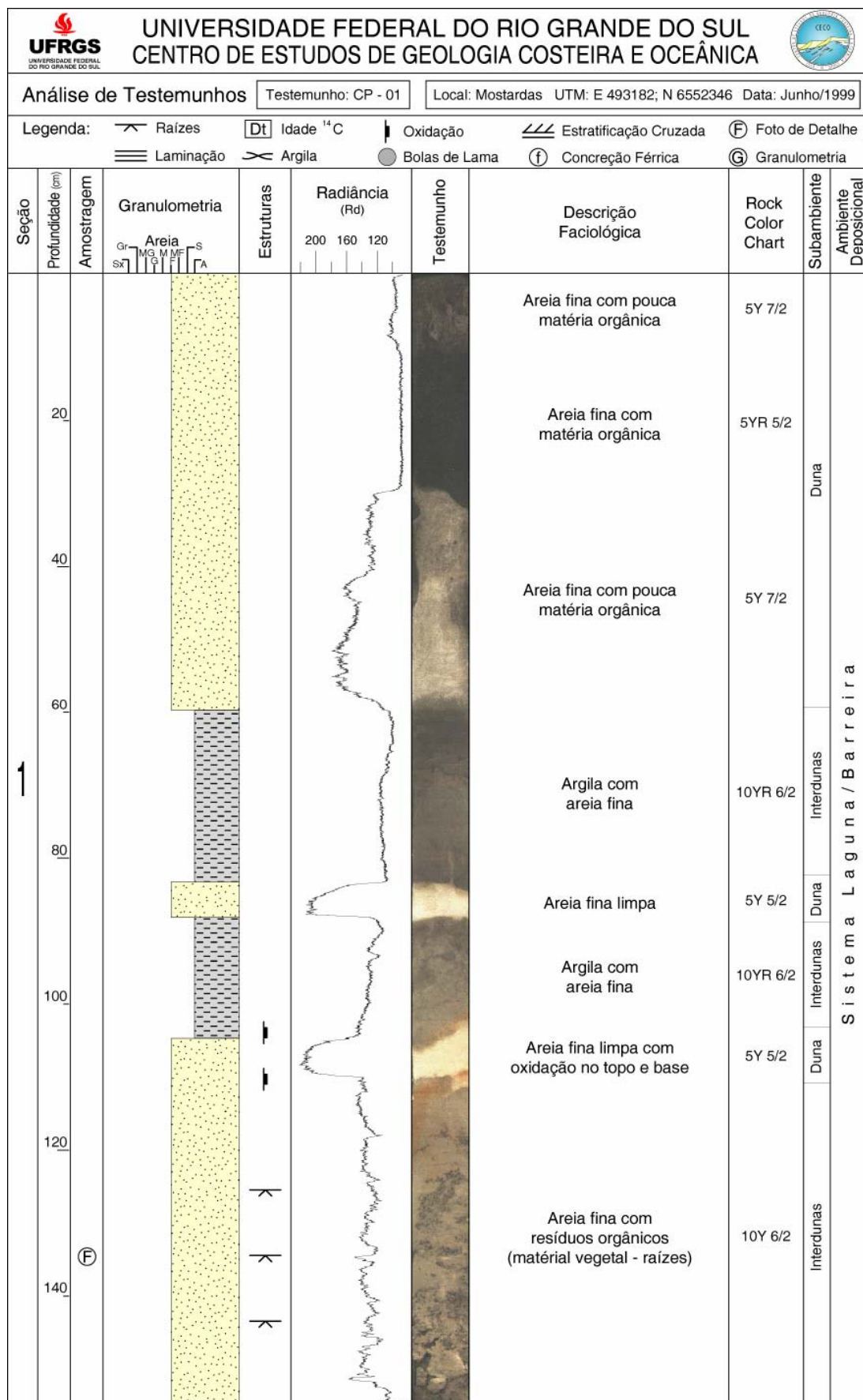
- PORSANI, J.L. & RODRIGUES, A.R. 1995. O Método GPR aplicado à caracterização de reservatórios: um exemplo no afloramento Açú – Bacia Potiguar – RN. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 4, Rio de Janeiro, 1995. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, v.II, p. 843-845.
- POSAMENTIER, H.W. & VAIL, P.R. 1988. Eustatic controls on clastic deposition II – Sequence and Systems Tract Models. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.S.C; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (eds.). **Sea-level changes: an integrated approach**. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 125-154. (Special Publication 42).
- POSAMENTIER, H.W.; JERVEY, M.T. & VAIL, P.R. 1988. Eustatic controls on clastic deposition I – Conceptual Framework. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.S.C; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (eds.). **Sea-level changes: an integrated approach**. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 109-124. (Special Publication 42).
- POSAMENTIER, H.W.; ALLEN, G.P. & JAMES, D.P. 1992. High Resolution Sequence Stratigraphy – The East Coulee Delta, Alberta. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.62, n.2, p. 310-317.
- SHEPARD, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-sil-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.24, n.3, p. 151-158.
- SOLIANI Jr., E. 1973. **Geologia da região de Santa Vitória do Palmar, RS, e a posição estratigráfica dos fósseis de mamíferos pleistocênicos**. Porto Alegre. 88 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- STEPHENS, M. 1994. Architectural element analysis within the Kayenta Formation (Lower Jurassic) using ground-probing radar and sedimentological profiling, southwestern Colorado. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v.90, p. 179-211.
- STRAHLER, A.N. 1977. **Geografia Física**, 2. ed. Barcelona: Omega. 767 p.
- SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1978. Quaternary marine formations of São Paulo and Southern Rio de Janeiro. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY, São Paulo, 1978. **Special Publication, 1...** São Paulo, IGP, Project 61, p. 55.

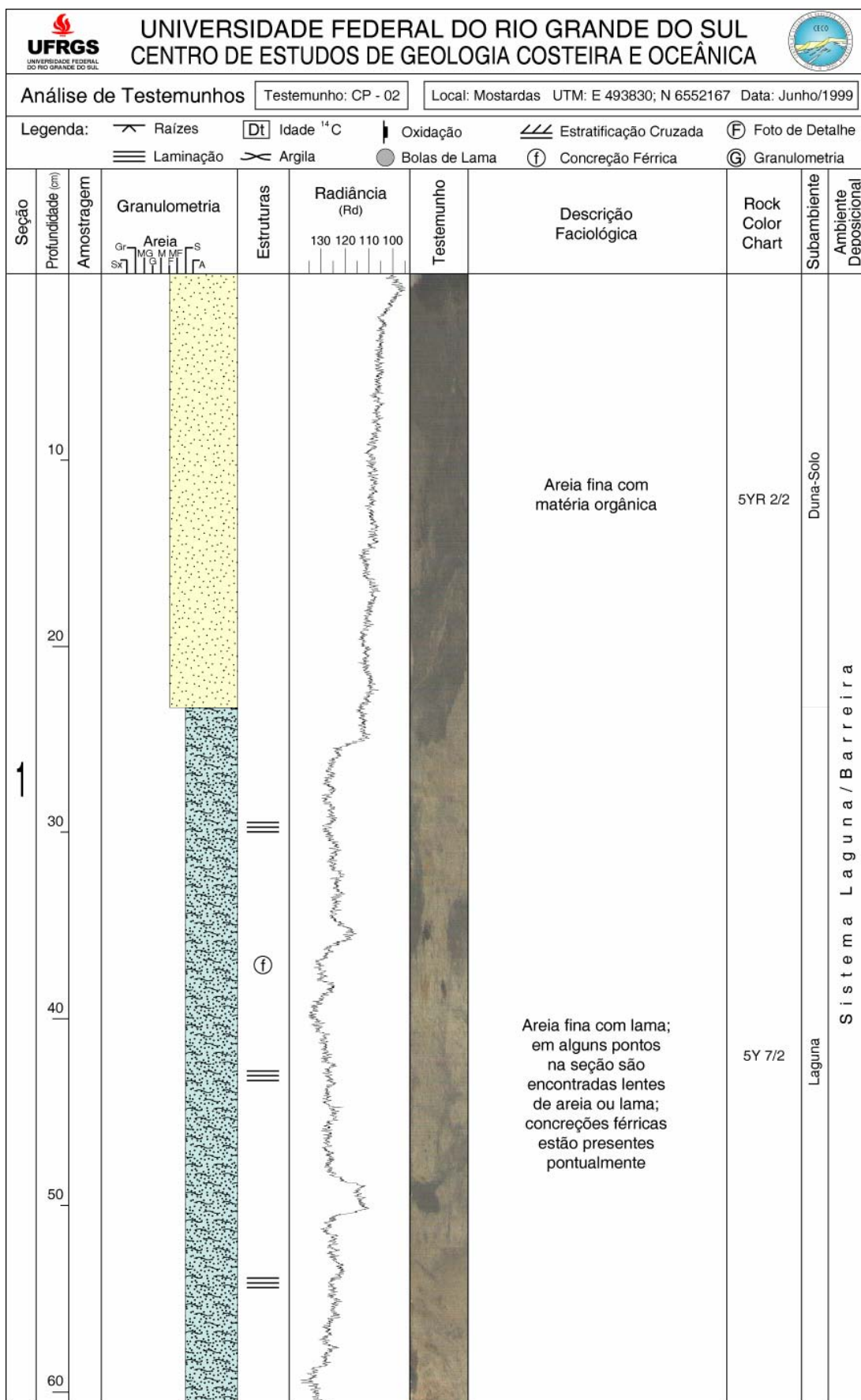
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M. & AZEVEDO, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, v.15, n.4, p. 273-286.
- SUNAMURA, T. 1975. A Laboratory Study of Wave-cut Platform Formation. **Journal of Geology**, v.83, p. 389-397.
- TOLDO Jr., E.E. & MEDEIROS, R.K. 1986. Programa Interpola em Linguagem Basic para Análise Estatística e Propriedades Texturais de Amostras Sedimentares em Computador. **Pesquisas**, Porto Alegre, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.18, p. 91-100.
- TOLDO Jr., E.E. 1989. **Os Efeitos do Transporte Sedimentar na Distribuição dos Tamanhos de Grão e Morfodinâmica da Lagoa dos Patos**. Porto Alegre. 137 p. mapas, il. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TOLDO Jr., E.E. 1991. Morfodinâmica da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, Porto Alegre, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.18, n.1, p. 58-63.
- TOLDO Jr., E.E. 1994. **Sedimentação, Predição do Padrão de Ondas, e Dinâmica Sedimentar da Antepraia e Zona de Surfe do Sistema Lagunar, da Lagoa dos Patos, RS**. Porto Alegre. 189 p.: il. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TOLDO Jr., E.E.; 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**, Porto Alegre, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.18, n.2, p. 99-103.
- TOMAZELLI, L.J. 1985. Contribuição ao Conhecimento das Fácies de Ambiente Praial a partir de Elementos do Pleistoceno Costeiro do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2, Florianópolis, 1985. SBG. **Anais...** Florianópolis: SBG, p. 325-338.
- TOMAZELLI, L.J. 1990. **Contribuição ao Estudo dos Sistemas Depositionais Holocênicos do Nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul – com ênfase no sistema eólico**. Porto Alegre. 270 p.: il. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

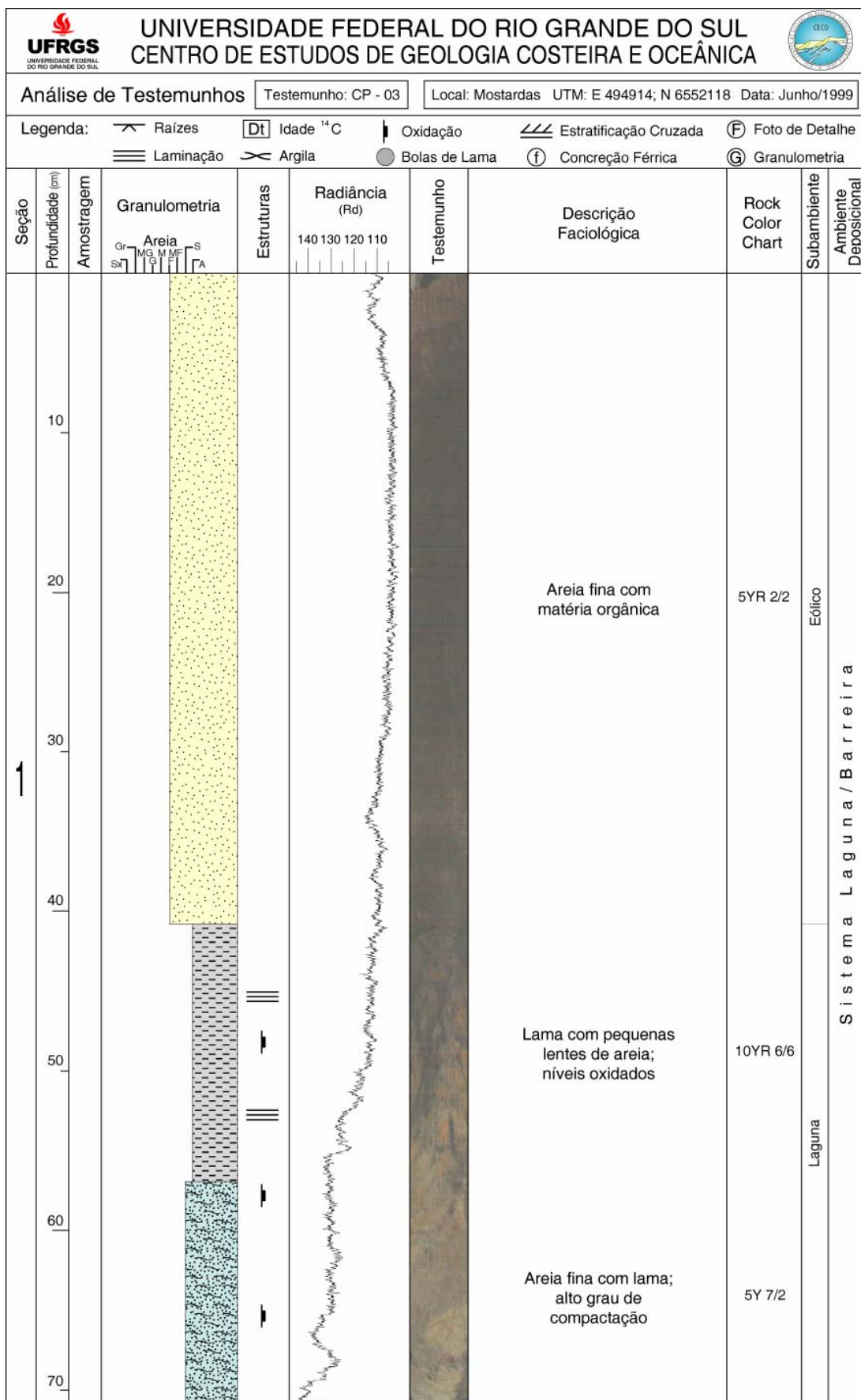
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A.; LOSS, E.L. & DEHNHARDT, E.A. 1982. Caracterização de um depósito praial pleistocênico na Província Costeira do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. **Anais...** Salvador: SBG, v.4, p. 1514-1523.
- TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. 1991. Geologia do Sistema Lagunar Holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, Porto Alegre, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.18, n.1, p. 13-24.
- 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**. Porto Alegre: Edições CIGO/UFRGS, p. 375-406.
- VAIL, P.R.; MITCUM, R.M. & THOMPSON, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C.E. (ed.). **Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, p. 63-81. (AAPG Memoir 26).
- VAN WAGONER, J.C.; POSAMENTIER, H.W.; MITCHUM, R.M.; VAIL, P.R.; SARG, J.F.; LOUTIT, T.S. & HARDENBOL, J. 1988. An overview of sequence stratigraphy and key definitions. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.S.C; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (eds.). **Sea-level changes: an integrated approach**. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 39-45. (Special Publication 42).
- VAN WAGONER, J.C.; MITCHUM, R.M.; CAMPION, K.M. & RAHMANIAN, V.D. 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. Tulsa: **AAPG Methods in Exploration Series 7**, 55 p.
- VILLWOCK, J.A. 1972. **Contribuição à Geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 113 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VILLWOCK, J.A.; MARTINS, I.L.R. & FORMOSO, M.L.L. 1972. Contribuição ao Estudo da Mineralogia de Argilas dos Sedimentos de Fundo da Lagoa dos Patos. **Estudos Sedimentológicos**, Natal, v.2, n. 1/2, p. 13-34.
- VILLWOCK, J.A. 1977. **Aspectos da Sedimentação da Região Nordeste da Lagoa dos Patos**. Porto Alegre. 189 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

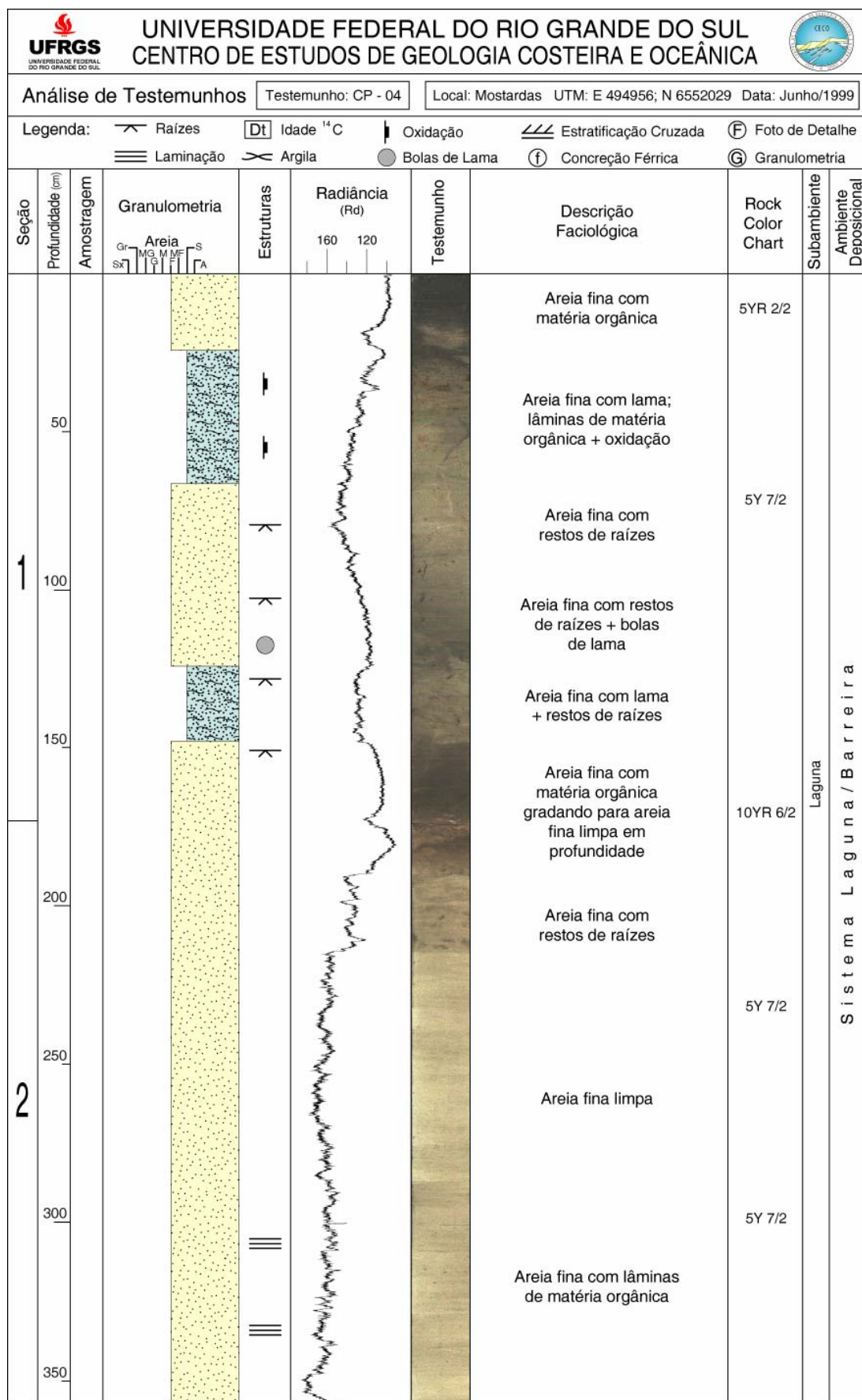
- VILLWOCK, J.A. 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. **Pesquisas**, Porto Alegre, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.16, p. 5-49.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; HORN F^o, N.O.; BACHI, F.A. & DENHARDT, B.A. 1986a. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: RABASSA, J. (ed.). **Quaternary of South America and Antartic Peninsula**. A.A. Balkema, Rotterdam: v.4, p. 79-97.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J.; BACHI, F.A.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; EV, L.F.; STRIEDER, A.J. & GODOLPHIM, M.F. 1988. **Mapa Geológico – Folhas Cristóvão Pereira e Mostardas**. Porto Alegre. Escala 1:100.000. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; BACHI, F.A.; DENHARDT, B.A.; GODOLPHIM, M.F. & HORN F^o, N.O. 1994. **Mapa Geológico da Província Costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Escala 1:1.000.000. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- WARNER, B.G.; NOBES, D.C. & THEIMER, B.D. 1990. An application of ground penetrating radar to peat stratigraphy of Ellice Swamp, southwestern Ontario. **Canadian Journal of Earth Science**. Dartmouth, v.27, p. 932-938.
- WENTWORTH, C.R. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v.30, p. 377-392.
- ZELTZER, F. 1976. **Geologia e Paleogeografia da Restinga da Laguna dos Patos – RS**. Porto Alegre. 118 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ZENKOVITCH, V.P. 1959. On the genesis of the cusplate spits along lagoon shores. **Journal of Geology**, v.67, n.3, p. 269-277.

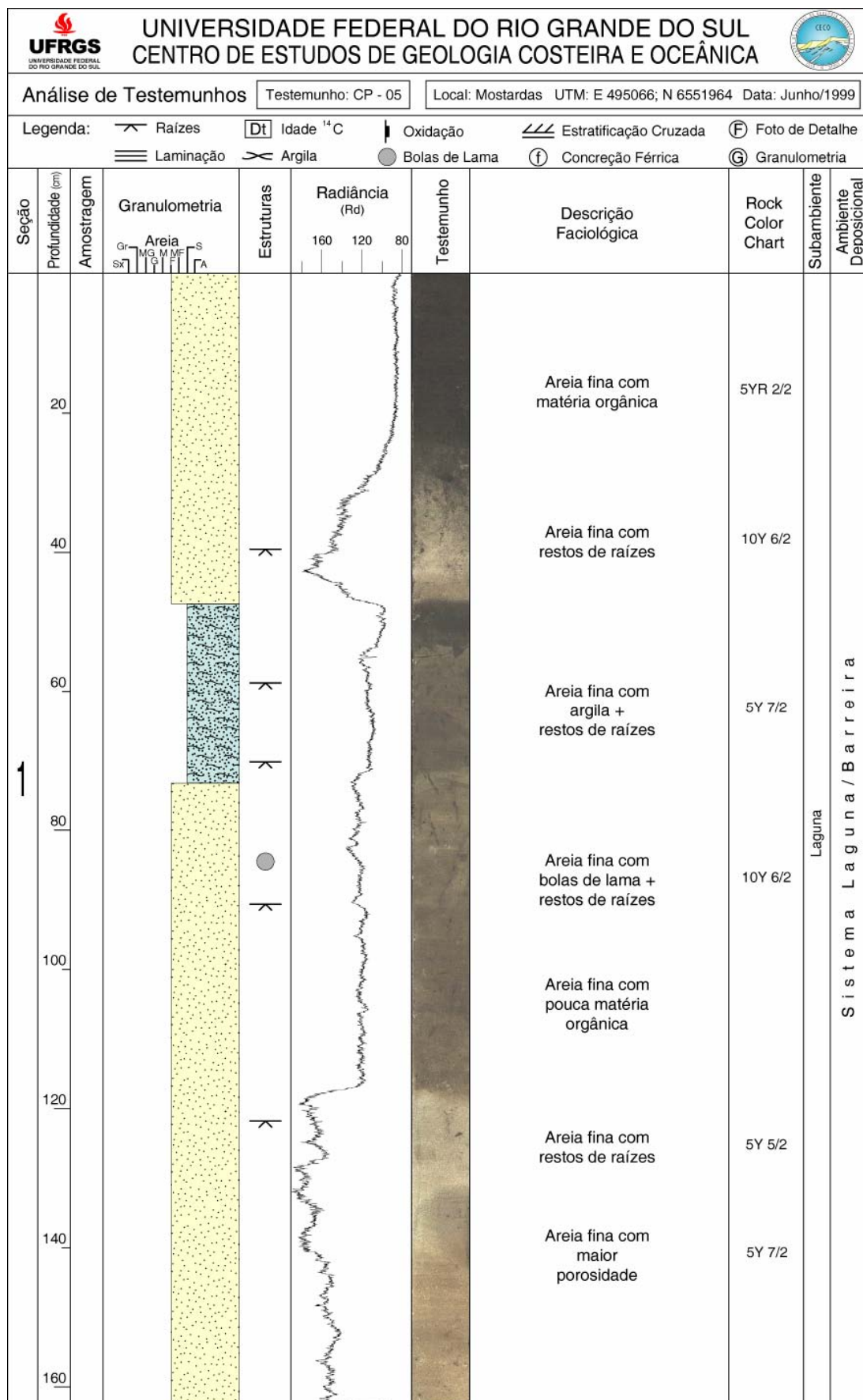
Anexo I

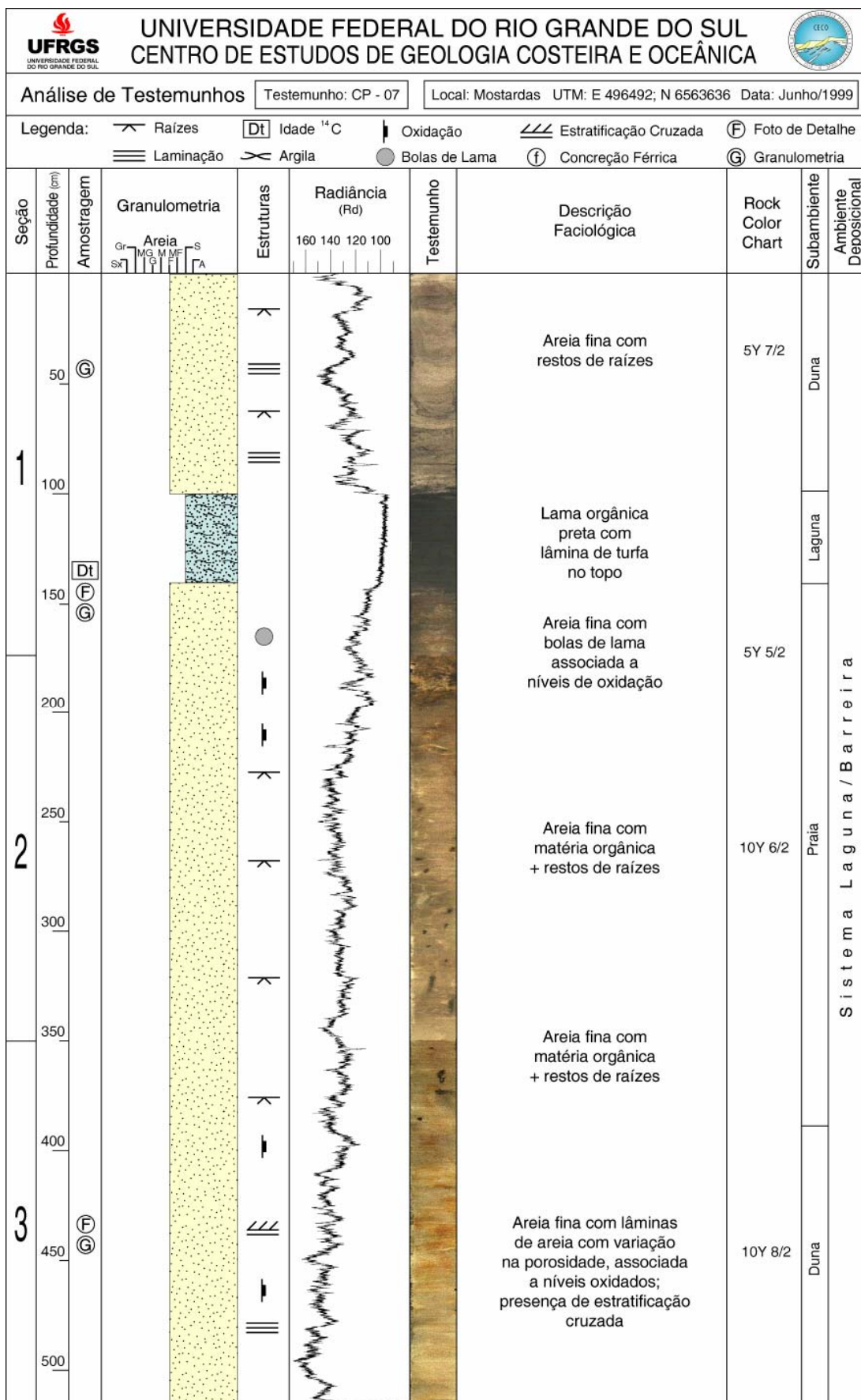


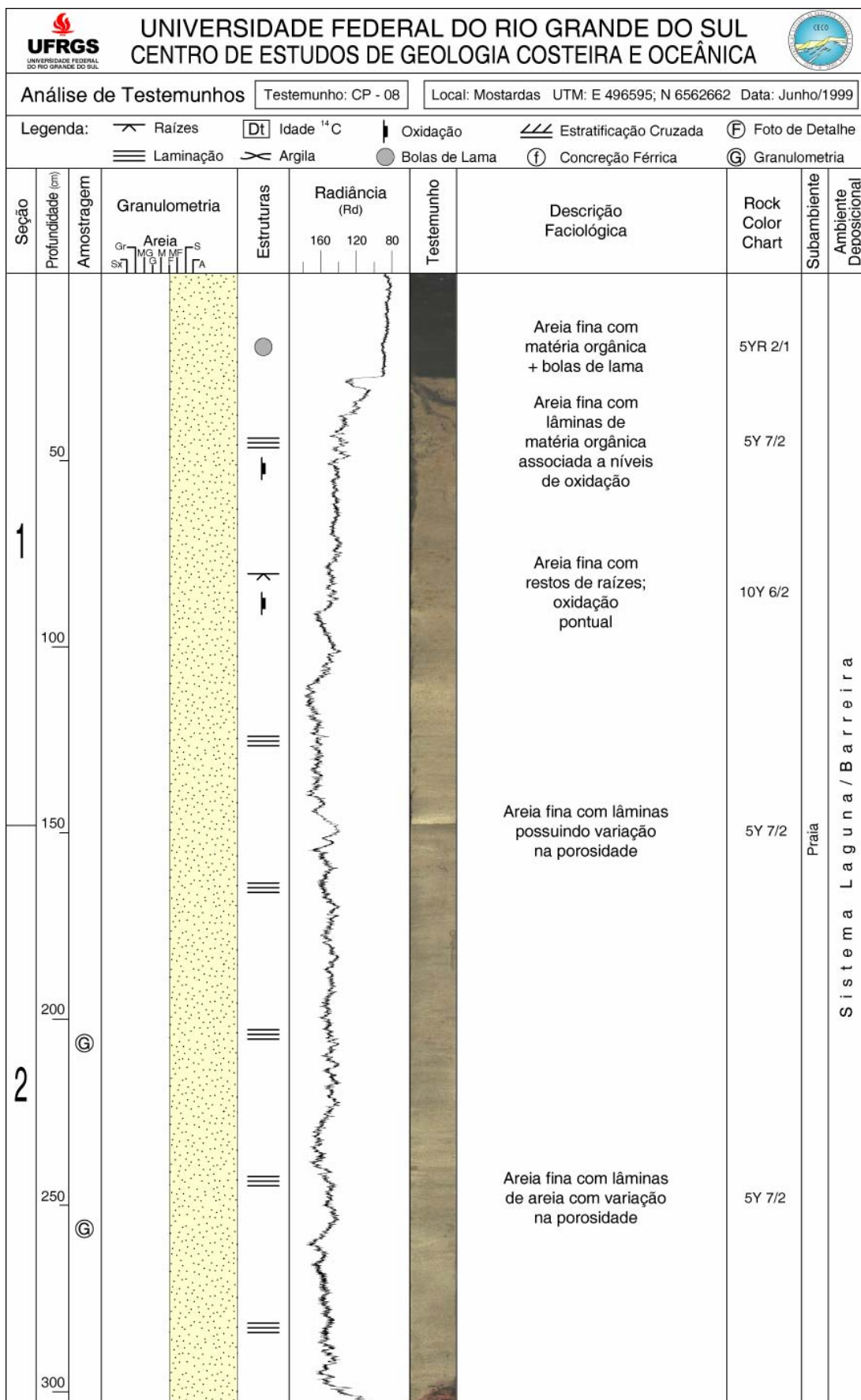


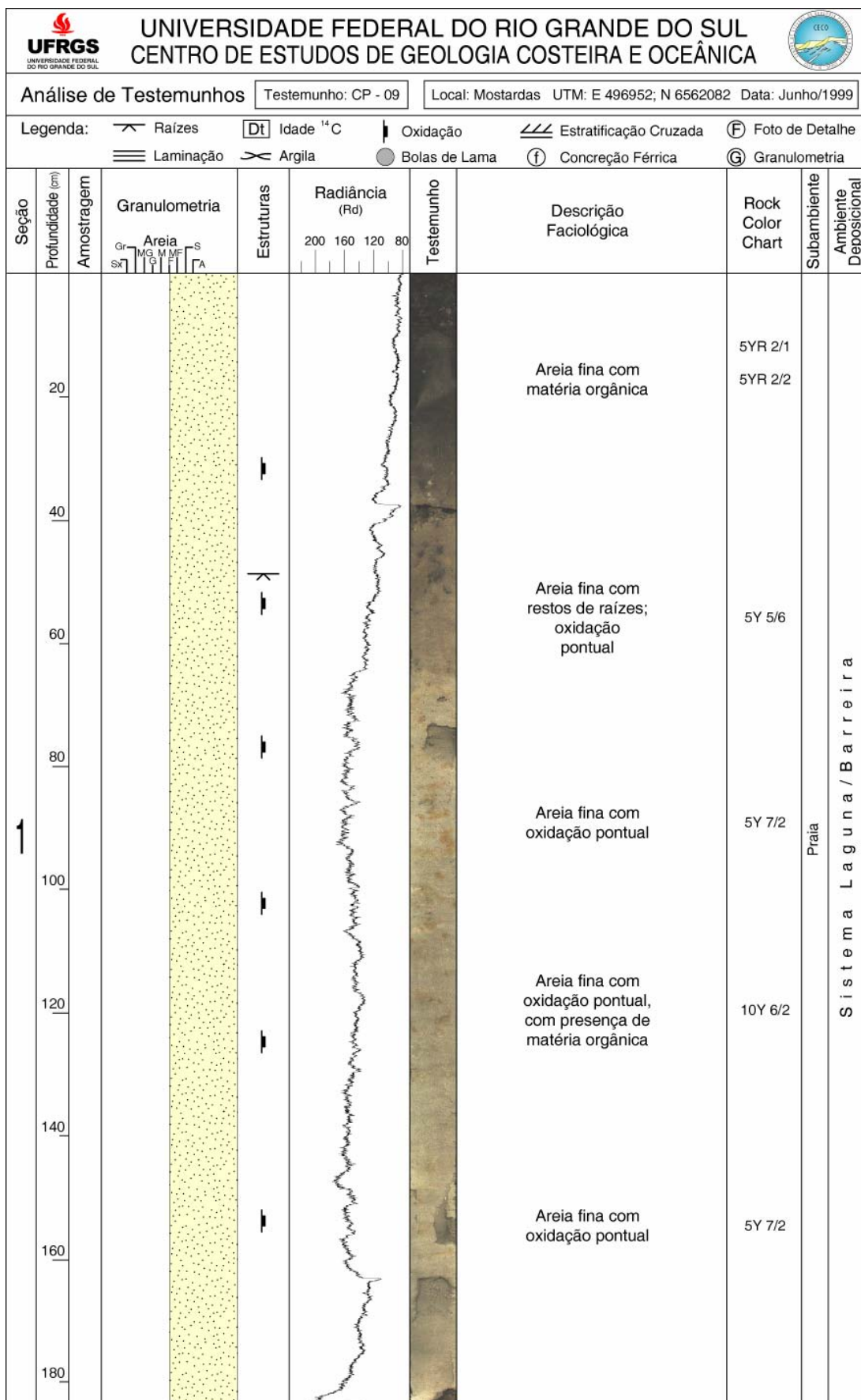


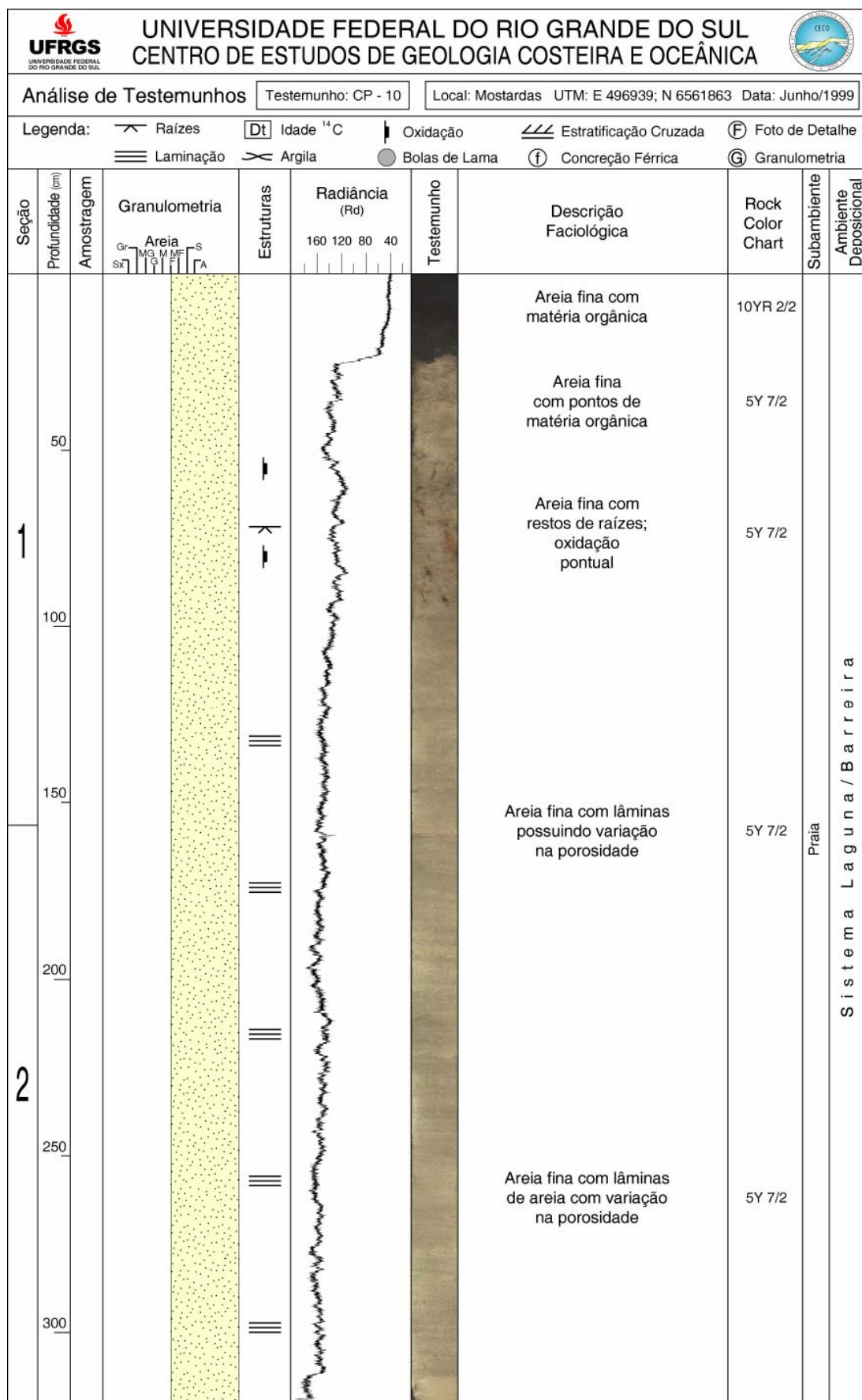


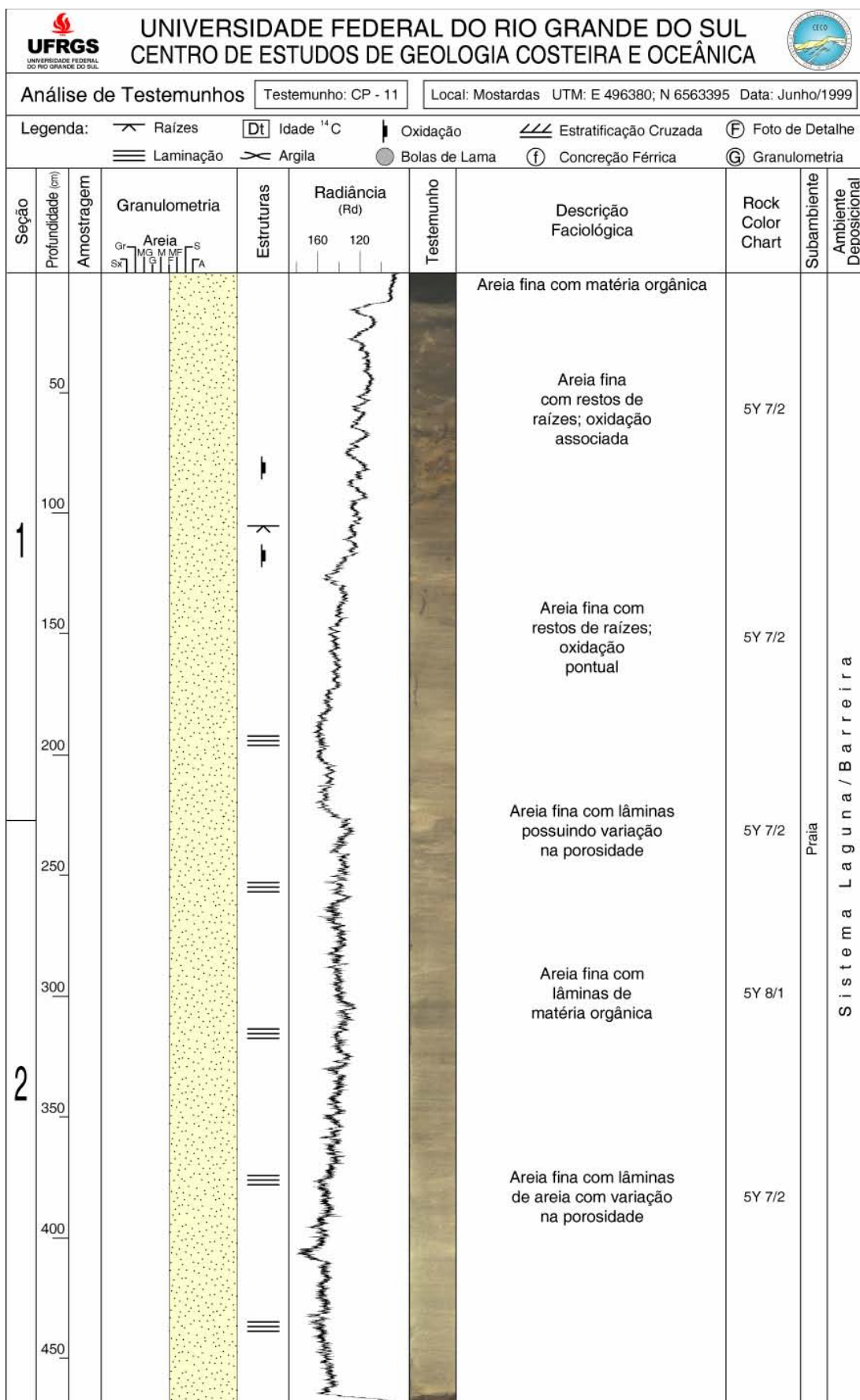


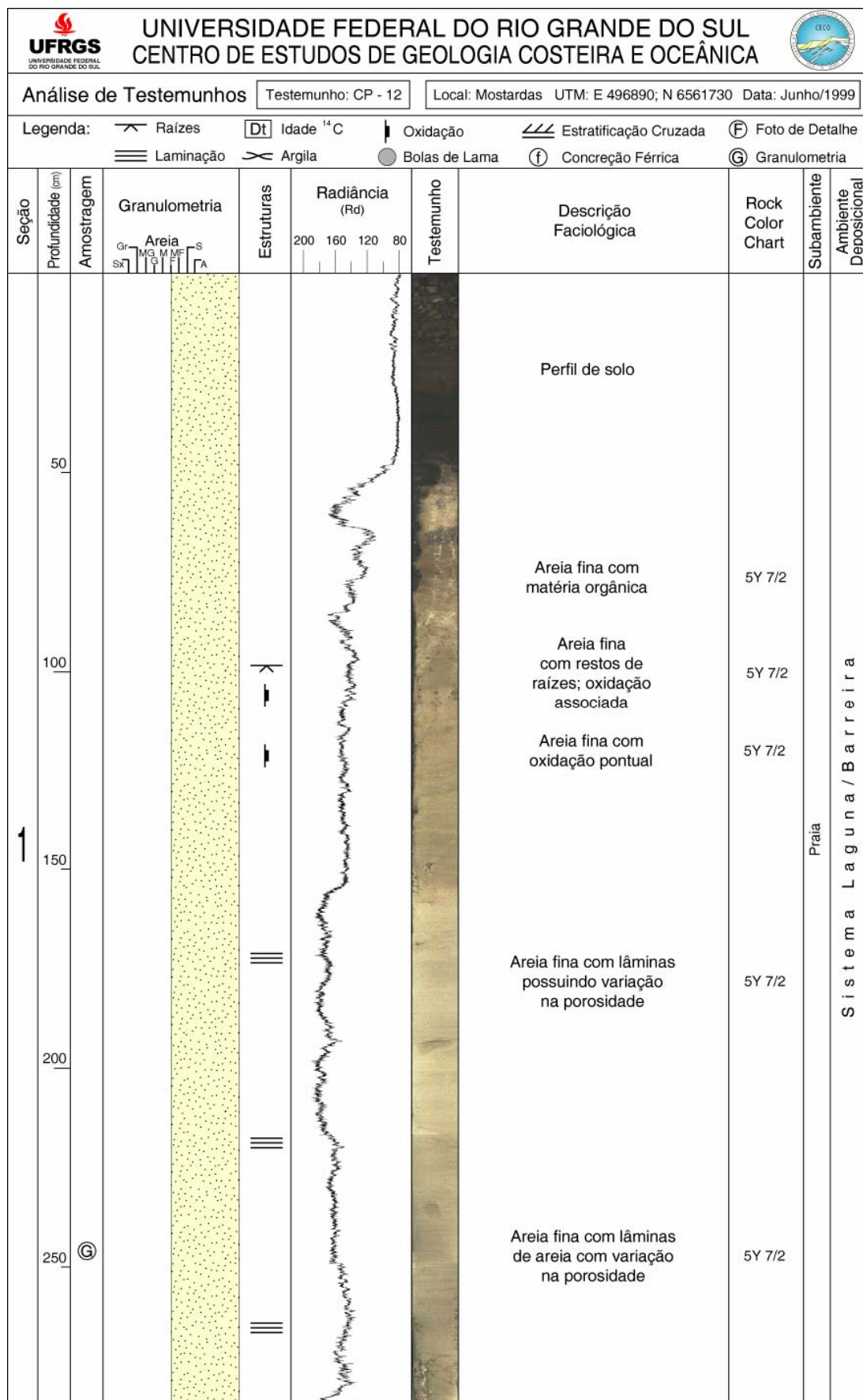












Anexo II

SAG - SISTEMA DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA
PANCOM - PROGRAMA DE ANÁLISE COMPLETA V. 91

Análise Granulométrica

Testemunho: CP - 07

Amostra CP-07 (A) Profundidade: 0,40 - 0,50 m

Diâmetro (mm)	PHI	Peso	Frequência Simples	Frequência Acumulada
0,5000	1.0	0,0180	0,08	0,08
0,3536	1.5	0,4310	1,80	1,88
0,2500	2.0	4,9104	20,55	22,43
0,1768	2.5	13,8625	58,00	80,43
0,1250	3.0	4,5857	19,19	99,62
0,0884	3.5	0,0709	0,30	99,91
0,0625	4.0	0,0204	0,09	100,00

Cálculo dos Parâmetros Estatísticos (Folk & Ward, 1957):

Mediana: 2,2376933
 Média: 2,2247865
 Desvio Padrão: 0,3848779
 Assimetria: -0,0334157
 Curtose: 1,2396939
 Curtose Normalizada: 0,5535104

Classificação pela Mediana:

- Areia Fina

Classificação pela Média:

- Areia Fina

Classificação Textural (Shepard, 1954):

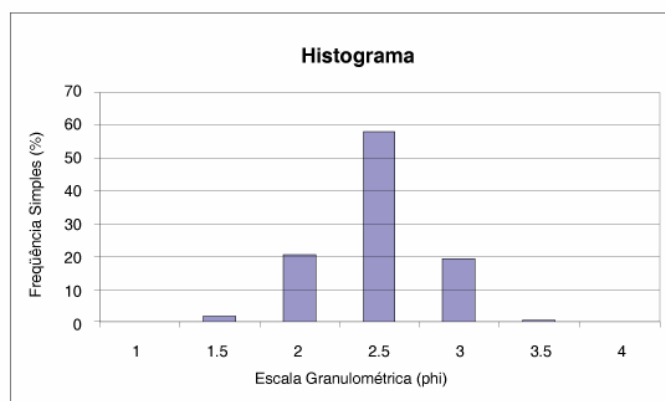
- Areia

Classificação da Amostra Segundo os Parâmetros Estatísticos:

- Bem Seleccionada
 - Leptocúrtica
 - Aproximadamente Simétrica

Classificação por Frequências Simples:

Cascalho 0,00 %
 Areia 100,00 %
 Silte 0,00 %
 Argila 0,00 %





UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA



SAG - SISTEMA DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA
PANCOM - PROGRAMA DE ANÁLISE COMPLETA V. 91

Análise Granulométrica

Testemunho: CP - 07

Amostra CP-07 (B) Profundidade: 1,47 - 1,57 m

Diâmetro (mm)	PHI	Peso	Frequência Simples	Frequência Acumulada
0,5000	1.0	0,1084	0,40	0,40
0,3536	1.5	0,3106	1,14	1,54
0,2500	2.0	5,6725	20,82	22,36
0,1768	2.5	13,2365	48,58	70,93
0,1250	3.0	7,4563	27,36	98,30
0,0884	3.5	0,3332	1,22	99,52
0,0625	4.0	0,1311	0,48	100,00

Cálculo dos Parâmetros Estatísticos (Folk & Ward, 1957):

Mediana: 2,2845466
Média: 2,2902281
Desvio Padrão: 0,4284032
Assimetria: -0,0074532
Curtose: 1,0162350
Curtose Normalizada: 0,5040261

Classificação pela Mediana:

- Areia Fina

Classificação pela Média:

- Areia Fina

Classificação Textural (Shepard, 1954):

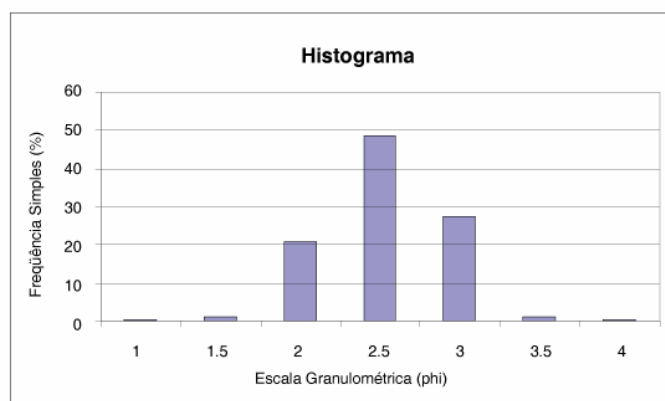
- Areia

Classificação da Amostra Segundo os Parâmetros Estatísticos:

- Bem Seleccionada
- Mesocúrtica
- Aproximadamente Simétrica

Classificação por Frequências Simples:

Cascalho 0,00 %
Areia 100,00 %
Silte 0,00 %
Argila 0,00 %





UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA



SAG - SISTEMA DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA
PANCOM - PROGRAMA DE ANÁLISE COMPLETA V. 91

Análise Granulométrica

Testemunho: CP - 07

Amostra CP-07 (C) Profundidade: 4,35 - 4,45 m

Diâmetro (mm)	PHI	Peso	Frequência Simples	Frequência Acumulada
0,5000	1.0	0,0540	0,17	0,17
0,3536	1.5	1,1239	3,45	6,62
0,2500	2.0	7,4239	22,79	26,40
0,1768	2.5	15,1374	46,46	72,86
0,1250	3.0	8,3502	25,63	98,49
0,0884	3.5	0,3528	1,08	99,57
0,0625	4.0	0,1395	0,43	100,00

Cálculo dos Parâmetros Estatísticos (Folk & Ward, 1957):

Mediana: 2,2539752

Média: 2,2476900

Desvio Padrão: 0,4487442

Assimetria: -0,0262499

Curtose: 1,0033647

Curtose Normalizada: 0,5008398

Classificação pela Mediana:

- Areia Fina

Classificação pela Média:

- Areia Fina

Classificação Textural (Shepard, 1954):

- Areia

Classificação da Amostra Segundo os Parâmetros Estatísticos:

- Bem Seleccionada

- Mesocúrtica

- Aproximadamente Simétrica

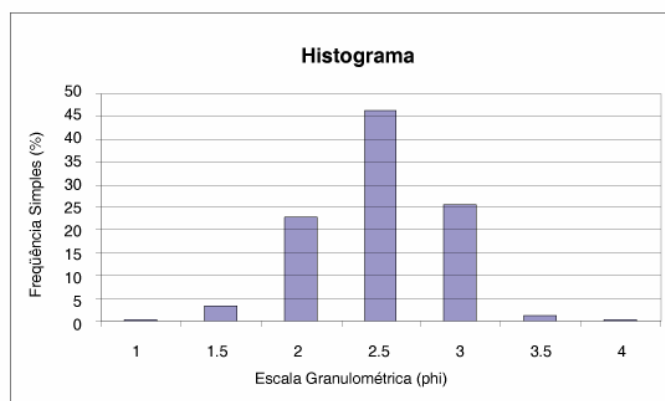
Classificação por Frequências Simples:

Cascalho 0,00 %

Areia 100,00 %

Silte 0,00 %

Argila 0,00 %





UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA



SAG - SISTEMA DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA
PANCOM - PROGRAMA DE ANÁLISE COMPLETA V. 91

Análise Granulométrica

Testemunho: CP - 08

Amostra CP-08 (A) Profundidade: 2,25 - 2,35 m

Diâmetro (mm)	PHI	Peso	Frequência Simples	Frequência Acumulada
0,5000	1.0	0,0062	0,03	0,03
0,3536	1.5	0,0820	0,37	0,40
0,2500	2.0	1,4672	6,59	6,99
0,1768	2.5	13,4814	60,59	67,58
0,1250	3.0	6,4590	29,03	96,61
0,0884	3.5	0,7099	3,19	99,80
0,0625	4.0	0,0455	0,20	100,00

Cálculo dos Parâmetros Estatísticos (Folk & Ward, 1957):

Mediana: 2,3549409
Média: 2,4040573
Desvio Padrão: 0,3473225
Assimetria: 0,1536407
Curtose: 0,9606217
Curtose Normalizada: 0,4899577

Classificação pela Mediana:

- Areia Fina

Classificação pela Média:

- Areia Fina

Classificação Textural (Shepard, 1954):

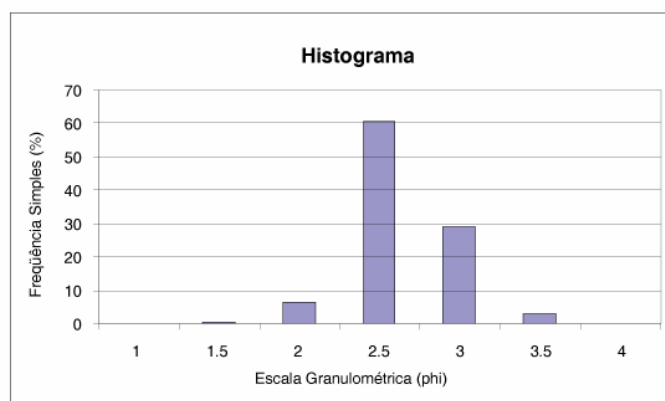
- Areia

Classificação da Amostra Segundo os Parâmetros Estatísticos:

- Muito Bem Seleccionada
- Mesocúrtica
- Assimetria Positiva

Classificação por Frequências Simples:

Cascalho 0,00 %
Areia 100,00 %
Silte 0,00 %
Argila 0,00 %





SAG - SISTEMA DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA
PANCOM - PROGRAMA DE ANÁLISE COMPLETA V. 91

Análise Granulométrica

Testemunho: CP - 08

Amostra CP-08 (B) Profundidade: 2,53 - 2,63 m

Diâmetro (mm)	PHI	Peso	Frequência Simples	Frequência Acumulada
0,5000	1.0	0,0014	0,01	0,01
0,3536	1.5	0,0526	0,25	0,26
0,2500	2.0	0,6482	3,13	3,39
0,1768	2.5	9,0286	43,54	46,93
0,1250	3.0	9,1676	44,21	91,14
0,0884	3.5	1,7851	8,61	99,75
0,0625	4.0	0,0512	0,25	100,00

Cálculo dos Parâmetros Estatísticos (Folk & Ward, 1957):

Mediana: 2,5347173

Média: 2,5329223

Desvio Padrão: 0,3762346

Assimetria: 0,0683013

Curtose: 0,8678544

Curtose Normalizada: 0,4646264

Classificação pela Mediana:

- Areia Fina

Classificação pela Média:

- Areia Fina

Classificação Textural (Shepard, 1954):

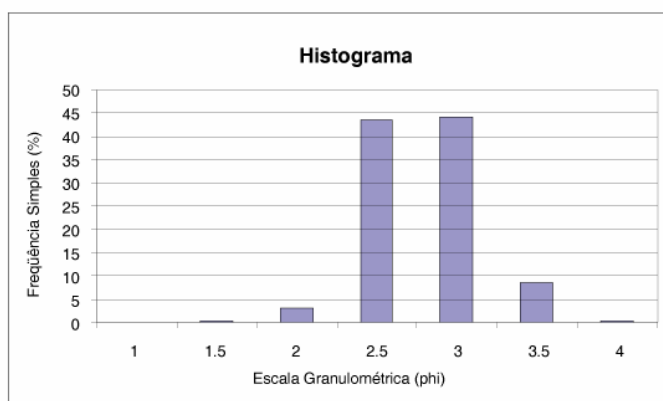
- Areia

Classificação da Amostra Segundo os Parâmetros Estatísticos:

- Bem Seleccionada
- Platicúrtica
- Aproximadamente Simétrica

Classificação por Frequências Simples:

Cascalho 0,00 %
Areia 100,00 %
Silte 0,00 %
Argila 0,00 %





SAG - SISTEMA DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA
PANCOM - PROGRAMA DE ANÁLISE COMPLETA V. 91

Análise Granulométrica

Testemunho: CP - 12

Amostra CP-12 (A) Profundidade: 2,40 - 2,50 m

Diâmetro (mm)	PHI	Peso	Frequência Simples	Frequência Acumulada
0,5000	1.0	0,0000	0,00	0,00
0,3536	1.5	0,0080	0,02	0,02
0,2500	2.0	0,8129	2,34	2,36
0,1768	2.5	10,7320	30,90	33,26
0,1250	3.0	21,3052	61,34	94,60
0,0884	3.5	1,2633	3,64	98,23
0,0625	4.0	0,6136	1,77	100,00

Cálculo dos Parâmetros Estatísticos (Folk & Ward, 1957):

Mediana: 2,6364596
Média: 2,5902536
Desvio Padrão: 0,3266894
Assimetria: -0,1863073
Curtose: 0,8758373
Curtose Normalizada: 0,4669047

Classificação pela Mediana:

- Areia Fina

Classificação pela Média:

- Areia Fina

Classificação Textural (Shepard, 1954):

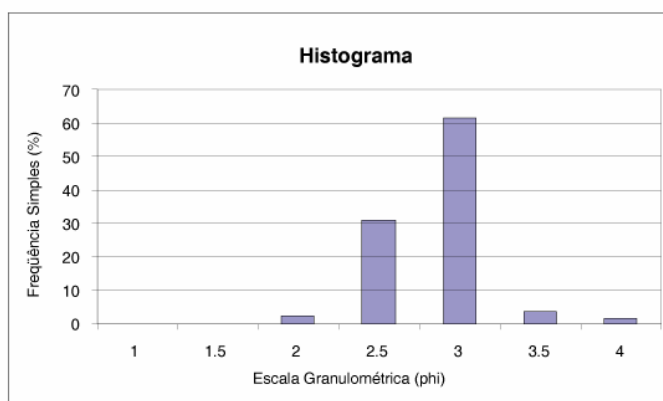
- Areia

Classificação da Amostra Segundo os Parâmetros Estatísticos:

- Muito Bem Seleccionada
- Platicúrtica
- Assimetria Negativa

Classificação por Frequências Simples:

Cascalho 0,00 %
Areia 100,00 %
Silte 0,00 %
Argila 0,00 %



Anexo III



Anexo IV
