

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

**Geomorfologia do Complexo de Cordões Litorâneos Lagunares do
Pontal da Feitoria - Margem Oeste-Sul da Laguna dos Patos.**

Rogério Portantiolo Manzolli

Porto Alegre

2011

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

**Geomorfologia do Complexo de Cordões Litorâneos Lagunares do
Pontal da Feitoria - Margem Oeste-Sul da Laguna dos Patos.**

ROGÉRIO PORTANTIOLO MANZOLLI

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

ORIENTADOR: Luiz José Tomazelli

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr. (IG-UFRGS)

Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza (IG-UFRGS)

Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari (IO-FURG)

Porto Alegre

2011

Manzoli, Rogério Portantiolo

Geomorfologia do complexo de cordões litorâneos lagunares do Pontal da Feitoria – margem oeste sul da laguna dos Patos. / Rogério Portantiolo Manzoli. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2010.

[83 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2010.

Orientação: Prof. Dr. Luiz José Tomazelli

1. Geomorfologia. 2. Cordões litorâneos. 3. Lagoa Pequena. 4. Pontal da Feitoria. I. Título

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Miriam Alves CRB 10/1947

Agradecimento

Quero expressar meu agradecimento a todas as pessoas com as quais convivi durante o período de duração deste trabalho, pois cada uma delas, à sua maneira, contribuiu com uma parcela importante para a conclusão desta dissertação. Em especial, gostaria de agradecer:

- Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de aprimorar e expandir meus conhecimentos e também agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento da bolsa de estudo.

- Ao Prof. Dr. Carlos Roney Armanini Tagliani pelo grande incentivo na busca por novos conhecimentos e também pela ajuda na escolha da ideia e do tema da dissertação.

- Ao Prof. Dr. Luiz José Tomazelli pela orientação, paciência, sabedoria e estímulo a mim dedicados.

- Aos Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza e Me. Maria Luiza Correa da Camara Rosa pela ajuda incondicional na aquisição dos dados geofísicos e, também, pelos ensinamentos.

- A todos os professores do programa de Pós-graduação.

- À todos os colegas de pós-graduação, Heitor, Claudinha, Gabriela (peixe), Silvio Eduardo entre outros. Em especial gostaria de agradecer ao Felipe Caron (Mad professor) e ao Leonardo de Lima (Dr. planície costeira) por todos ensinamentos, tanto práticos, quanto holísticos. Também gostaria de agradecer ao Miguel da Guia (grande abutre) pela ajuda no levantamento topográfico.

- A meus grandes e incontestáveis amigos Luiz Gustavo (Kuki) e Márcio (o Peter).

- A toda minha família, que sempre me apoio em minhas decisões, em especial a minha mãe, Loiva, pelas “compotas de pêssegos” que auxiliavam a matar a fome nas saídas de campo, ao meu pai, Delaci, pelo empréstimo do “caminhãozinho” que possibilitou realizar as coletas, as minhas irmãs, Cristiane (Bigu) e Patrícia, além de meus cunhados, David e Marcelo.

- A meus sogros, Clairi e Delmar Portz por tudo o que eles me proporcionaram.

- E a minha fiel e amada companheira de todas as horas Luana, pela sua paciência, compreensão e aceitação da minha metodologia de trabalho.

Obrigado!

Resumo

O trabalho aqui apresentado disserta sobre a geomorfologia do complexo de séries de cordões litorâneos lagunares do Pontal da Feitoria, região adjacente à Lagoa Pequena, situada na margem oeste da porção sul da Laguna Lagoa dos Patos.

Através da análise de dados de superfície (sensoriamento remoto e reconhecimento de campo) e subsuperfície (perfis geofísicos e testemunhos sedimentares) foi possível determinar a existência de 4 séries de cordões litorâneos lagunares distintos.

Utilizando-se como base o mapa geológico desenvolvido pelo CPRM-CECO e somando-se os dados de superfície, gerados pelo geoprocessamento das fotos aéreas e das imagens de satélite, elaborou-se um mapa geológico da região de estudo, em que a unidade morfoestratigráfica praia e crista lagunares (Q4pc) foi dividida em 4 subunidades. Para se diferenciar estas subunidades incluiu-se um sufixo “s” (série) seguido de um número sequencial de 1 a 4, no qual o 1º corresponde ao depósito mais antigo e, o 4º, ao atual.

Para caracterizar cada uma das séries de cordões litorâneos realizou-se a coleta de dados de subsuperfície. Utilizou-se um radar de penetração no solo (GPR) para a aquisição de perfis geofísicos. Foram adquiridos 25 perfis, perfazendo um total de 5.366 m de registro. Complementar a estes perfis foram coletados 5 testemunhos sedimentares que contribuíram na caracterização faciológica das diferentes séries. Além disso, a coleta de testemunhos tem o objetivo de obter amostras para a datação radiométrica; no entanto, apenas um dos testemunhos apresentou material datável, tendo sido verificado uma idade de 29.430 ± 160 anos passados (AP). Também foi feito um levantamento topográfico sobre o complexo de séries de cordões.

Os dados disponíveis permitiram a elaboração de um modelo esquemático para a área de estudo. Este modelo ajuda a evidenciar que houve uma mudança no regime dinâmico e, conseqüentemente, no padrão de deposição sedimentar da 1ª série de cordões (Q4pcs1). Também se pode inferir que a formação da 1ª série de cordões está associada à Lagoa Pequena, enquanto que a formação das demais séries de cordões está associada à Laguna dos Patos.

Palavras-Chave: Geomorfologia, Cordões Litorâneos, Lagoa Pequena, Pontal da Feitoria.

Lista de Figuras

Fig. 1 - a) Mapa de localização da área de estudo, na margem oeste da porção sul da Laguna dos Patos (coordenadas UTM, 22J – WGS 1984). b) Imagem de satélite da região da Lagoa Pequena com destaque à área de estudo, delimitada pelo quadro vermelho.	3
Fig. 2 - Mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, mostrando a distribuição dos principais sistemas deposicionais (extraído de Tomazelli e Villwock, 2000). 5	5
Fig. 3 - Mapa geológico da região da Lagoa Pequena (CPRM, 2006).....	7
Fig. 4 - Correlação entre a altura e a largura das estruturas sedimentares de praias e dunas, indicando a posição relativa dos cordões litorâneos com outras estruturas. Modificado de Carter (1986).....	11
Fig. 5 - Histograma do ciclo sazonal de vazão dos principais rios (Jacuí, Taquari e Camaquã) que deságuam na Laguna Lagoa dos Patos no período de 1940 a 1997 (Modificado de Vaz <i>et al.</i> , 2006).....	12
Fig. 6 - Demonstra as marés meteorológicas associadas ao regime de ventos, onde em (a) predomina os ventos de SO, que causam uma elevação do nível do mar na região costeira e rebaixamento do nível da Laguna na região da Ponta da Feitoria, e em (b) predomina os ventos de NE que causam o inverso.	13
Fig. 7 - Escala vertical indica a variação de altura em m do nível da laguna na região do Pontal da Feitoria, o eixo horizontal indica o tempo de atuação do vento, sendo o quadro a) vento NE e o quadro b) vento SO. Modificada de Castelão e Möller (2003).	14
Fig. 8 - Variação do nível da laguna obtido através de modelagem durante o evento ENOS de 1998. a) resposta no 1º dia de modelagem; b) após 10 dias. (Modificado de Fernandes <i>et al.</i> , 2002).....	14
Fig. 9 - Localização dos pontos de medição dos ventos e da predição de ondas durante o ano de 1988. (Modificado de Toldo Jr. <i>et al.</i> , 2006).....	15
Fig. 10 - Mosaico de fotos aéreas verticais obtidas pelo exercito brasileiro de 1953 (1:60.000).	17
Fig. 11 – Mapa com a altimetria da área de estudo (SRTM).	18
Fig. 12 – Localização dos testemunhos sedimentares e dos perfis geofísicos numerados. a) Vista geral (coordenadas: UTM 22J; WGS 1984). b), c), d), e) localização em detalhe dos testemunhos TUR 1 e TUR 2, TUR 3, TUR 4 e TUR 5.....	19

Fig. 13 - a) Braçadeiras e martelo batente. b) retirada do testemunho sedimentar com o auxílio do Tripé e da Talha.....	20
Fig. 14 - Procedimento de vedação do cano antes da recuperação do mesmo.....	21
Fig. 15 - Procedimento para obtenção dos perfis de GPR realizados caminhando. Em a) com a antena de 400 MHz e em b) com a antena de 200 MHz.....	24
Fig. 16 - Procedimento para a obtenção dos perfis de GPR realizados com o auxílio de um veículo.....	24
Fig. 17 - Mapa Geológico elaborado para a área de estudo.....	27
Fig. 18 - Fotografia exibindo o tipo de vegetação sobre os Depósitos de Planície Lagunar II (Q2pl2).....	28
Fig. 19 - Comparação da área vegetada sobre o depósito de Dunas Lagunares (Q2pe2), a) foto aérea de 1953 e b) imagens de satélite de 2006.....	29
Fig. 20 - Fotografia exibindo o tipo de vegetação sobre os depósitos da Planície Lagunar III (Q3pl3).....	30
Fig. 21 - Fotografia exibindo a Mata de Restinga associada às cristas dos Cordões Litorâneos Lagunares.....	31
Fig. 22 - Fotografia exibindo os Campos Alagadiços associados às cavas dos Cordões Litorâneos Lagunares.....	31
Fig. 23 - a) Localização do perfil topográfico (Linha vermelha); b) Perfil topográfico, eixo vertical representa a altura em relação ao NRM e eixo horizontal representa o comprimento do perfil.....	32
Fig. 24 - Linhas de Tendência do perfil topográfico: Linear (Linha Preta) e Média Móvel com período igual a 5 (Linha Laranja).....	32
Fig. 25 - a) Modelo de Elevação do Terreno. Eixo vertical demonstra a altura acima do NRM (m), coordenadas geográficas em UTM (22J, WGS84). b) Localização da área que foi gerado o MET.....	33
Fig. 26 - a) Radargrama 150 (NO-SE), obtido com a antena de 400 MHz. O eixo superior do radargrama apresenta o comprimento total em metros, o eixo da esquerda a altura em relação ao NRM, e o eixo da direita a profundidade; b) Traçado dos principais refletores; c) localização dos perfis geofísicos.....	36
Fig. 27 - a) Mapa com a localização dos perfis geofísicos (numerados) e do perfil topográfico (linha vermelha). b) Mapa em perspectiva da localização do perfil topográfico (linha vermelha) e gráfico representando a topografia. Eixo vertical representa a altitude em relação	

ao NRM e o eixo horizontal representa o comprimento do perfil. c) Radargramas 80, 81 e 82 coletados com a antena de 200 MHz, unidos em um registro contínuo (Radargrama 800) que foi subdividido em três segmentos. O eixo superior deste apresenta o comprimento, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM Já o eixo à direita reproduz a profundidade dos radargramas. Todas as medidas que aparecem nas figuras estão em m. A orientação dos radargramas encontra-se indicada nos cantos superiores. As linhas amarelas demarcam os locais da união dos perfis. A seta azul indica o ponto da mudança de direção. Escala Horizontal 1:840 (cm). Escala Vertical 1:155 (cm).38

Fig 28 - a) Testemunho sedimentar TUR 3. b) Mapa de locação do testemunho e dos perfis geofísicos. C) radargramas 88, 89 e 90, obtidos com a antena de 200 MHz. O eixo superior dos radargramas apresenta o comprimento total do perfil, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo à direita reproduz a profundidade dos radargramas. As orientações dos radargramas encontram-se indicadas nos cantos superiores. As setas indicam a localização do testemunho sedimentar. Todas as medidas encontram-se em metros..... 41

Fig 29 - a) Descrição faciológica do testemunho sedimentar TUR 4. b) Mapa de locação do testemunho sedimentar e dos perfis geofísicos. C) Radargramas 103 e 104 com a antena de 200 MHz e 100, 101 e 102 com antena de 400 MHz. O eixo superior dos radargramas apresenta o comprimento total do perfil, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo à direita reproduz a profundidade dos radargramas. A orientação dos radargramas encontra-se indicada nos cantos superiores. A seta indica a localização do testemunho sedimentar. Todas as medidas se encontram em metros..... 44

Fig 30 - a) Testemunho sedimentar TUR 5. b) Mapa com a alocação do testemunho e dos perfis geofísicos. C) Radargramas 83, 84 e 85, obtidos com a antena de 200 MHz. O eixo superior dos radargramas apresenta o comprimento total do perfil, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo à direita reproduz a profundidade dos radargramas. A orientação dos radargramas encontra-se indicada nos cantos superiores. A seta indica a localização do testemunho sedimentar. Todas as medidas encontram-se em metros.47

Fig 31 - a) Radargrama 105; b) Radargrama 109; c) Radargrama 112; d) Radargramas 124 e 125 (unidos sob a linha amarela); O eixo superior representa o comprimento do perfil, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo a direita reproduz a profundidade dos radargramas. Todas as medidas estão em metros. A orientação dos radargramas encontra-

se indicada nos cantos superiores. Escala Horizontal 1:850 (cm). Escala Vertical 1:92,5 (cm).	49
Fig. 32 – A linha vermelha ilustra o perfil 112. A seta laranja indica a distância de 150 m; a “chave laranja” indica a mudança de crista para leste; as setas azuis indicam a mudança de direção para oeste.	51
Fig. 33 – A linha vermelha indica os perfis 124 e 125; a linha azul demonstra o possível local do contato entre a 1 ^o e a 2 ^o série de cordões; Linha laranja demonstra o possível local do contato entre a 2 ^o e a 3 ^o série; e a linha azul demonstra o possível local do contato entre a 3 ^o e a 4 ^o série.	52
Fig. 34 - a) Testemunho sedimentar TUR 2. b) Mapa com a locação do testemunho e dos perfis geofísicos. c) Radargramas 106, 107 e 108 com a antena de 400 MHz. O eixo superior dos radargramas apresenta o comprimento total do perfil, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo à direita reproduz a profundidade dos radargramas. A orientação dos radargramas encontra-se indicada nos cantos superiores. A seta indica a localização do testemunho sedimentar. Todas as medidas encontram-se em metros.	55
Fig. 35 - a) Testemunho sedimentar TUR 1. b) localização do testemunho sedimentar e dos perfis geofísicos. c) radargramas 118 e 119 com a antena de 400 MHz. O eixo superior dos radargramas apresenta o comprimento total, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo a direita reproduz a profundidade dos radargramas. Todas as medidas encontram-se em metros. A orientação dos radargramas encontra-se indicada nos cantos superiores. A seta indica a localização do testemunho sedimentar.	59
Fig. 36 - Modelo esquemático dos perfis topográficos com os testemunhos sedimentares. a) Perfil 123; b) Perfil 345; c) imagem de satélite com a localização dos perfis (perfil 123, linha laranja e perfil 345, linha azul).	61
Fig. 37 – Gráfico demonstrando a correlação entre a frequência das antenas utilizadas neste estudo, a constante dielétrica utilizada no processamento e a resolução em cm (modificado de Travassos, 2010).	66
Fig. 38 – Padrões de estruturas identificáveis pelo GPR (modificado de Collinson e Thompson, 1989, apud Neal, 2004).	66

Lista de Tabelas

Tab. 1 - Descrição dos testemunhos sedimentares.	22
Tab. 2 - Descrição dos Perfis obtidos com o Radar de Penetração no Solo.....	26
Tab. 3 - Tabela com a permissividade elétrica e a velocidade de propagação de alguns materiais geológicos para uma onda eletromagnética com 100 MHz de frequência (modificado de Davis e Annan, 1989 apud Barbosa, 1999).....	65

Sumário

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	v
1 Introdução	1
2 Área de estudo	2
2.1 Contexto Geopolítico	2
2.2 Contexto Geológico	4
2.2.1 Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS)	4
2.2.2 Suprimento Sedimentar	8
3 Arcabouço Teórico	9
3.1 Cordões Litorâneos	9
3.2 Características Hidrodinâmicas da Laguna dos Patos	11
4 Materiais e Métodos	16
4.1 Levantamento Geológico de Superfície e Geoprocessamento	16
4.2 Levantamento Geológico de Subsuperfície	20
4.2.1 Amostragem através de Testemunho Sedimentar	20
4.2.2 Levantamento Geofísico: Radar de Penetração do Solo (GPR – Ground Penetration Radar)	22
5 Resultados	27
5.1 Levantamento Geológico de Superfície e Geoprocessamento	27
5.2 Levantamento Geológico de Subsuperfície	34
6 Discussões e Interpretações	60
6.1 Testemunhos Sedimentares, Perfis Geofísicos e Topografia	60
6.2 Diferenças entre as antenas do GPR	64
6.3 Diferenciação das Unidades Morfoestratigráficas	67
7 Considerações Finais	68
8 Referências Bibliográficas	69

1 Introdução

O desenvolvimento de cordões litorâneos reflete uma ação combinada de diversos fatores, onde os que mais se destacam são o suprimento de sedimentos, as características do regime de ventos e ondas e as eventuais mudanças do Nível Relativo do Mar (NRM).

As variações do NRM vêm sendo estudadas há algumas décadas, porém os pesquisadores ainda não conseguiram chegar a um consenso para o Holoceno tardio, mais especificamente nos últimos 7.000 anos. Isto porque as evidências encontradas por pesquisadores em distintas partes do planeta, inclusive em diferentes partes da costa brasileira, demonstram diferenças entre as possíveis cotas do nível do mar.

Assim como o suprimento de sedimento, as características do regime de ventos e ondas estão associadas às condições específicas de cada região, na qual as variações climáticas de alta frequência, como as oscilações cíclicas ligadas ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), influenciam diretamente nestas condições.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) vem sendo estudada por diversos pesquisadores de diferentes áreas e entidades de ensino/pesquisa, no intuito de entender sua formação e correlacionar sua evolução com as flutuações do NRM. O complexo Lagunar Patos-Mirim protege uma imensa diversidade de feições geomorfológicas que guardam a história evolutiva da PCRS.

Para se reconstituir a história da evolução geomorfológica de uma área, envolvendo as unidades morfoestratigráficas (superfícies e os materiais componentes), é necessário estabelecer as relações de antiguidade entre elas e identificar os critérios para correlacioná-las por áreas suficientemente amplas (Suguio, 1999). Segundo o conceito original de Frye e Willman (1962, apud Suguio, 1999), uma unidade morfoestratigráfica é um corpo sedimentar identificável, antes de mais nada, pela forma exibida em superfície e distinguível ou não pela litologia e/ou idade, das unidades adjacentes.

A necessidade de um aprimoramento do conhecimento da gênese e evolução da laguna e do estuário da Lagoa dos Patos é de grande importância para o planejamento e manejo deste ambiente.

Neste contexto, o trabalho aqui apresentado tem como objetivo realizar a descrição e interpretação geomorfológica da região adjacente à Lagoa Pequena, na margem oeste da porção sul da Laguna Lagoa dos Patos. Através da análise de dados de superfície e

subsuperfície, será dada ênfase ao estudo do complexo de cordões litorâneos lagunares desenvolvidos no entorno do corpo lagunar.

2 Área de estudo

2.1 Contexto Geopolítico

A área de estudo está localizada no município de Turuçu, mais especificamente entre o Rio Turuçu e a Ponta da Feitoria, na porção sul da margem oeste da Laguna Lagoa dos Patos (Fig. 1).

Esta região se encontra na célula sul da Laguna dos Patos, quase no limite virtual entre a laguna e o estuário. Este limite é dado pelo Pontal dos Lençóis, a leste, e pelo Pontal da Feitoria a oeste, onde este é o delimitador da Laguna dos Patos com a Lagoa Pequena.

A Lagoa Pequena fica situada entre os municípios de Turuçu e Pelotas, tendo como coordenadas: 6.508.957 e 396.846 a Norte, 6.500.050 e 396.232 a Sul, 6.506.500 e 394.004 a Oeste e 6.506.254 e 401.055 a Leste. Cobrindo uma área aproximada de 5.100 hectares, com 8.800 m em seu maior comprimento (Norte/Sul) e 5.950 m em sua maior largura (Leste/Oeste), a Lagoa Pequena possui duas ligações com a Laguna dos Patos. A mais larga se dá através do Canal da Feitoria, que possui uma desembocadura com 300 m em sua porção norte e 1.200 m na sua porção sul, onde existe uma pequena ilha, denominada de Ilha do Juncal. A segunda ligação da Lagoa Pequena com a Laguna dos Patos é o chamado Canal do Arroio Corrientes, que possui aproximadamente 20 m em sua maior largura. Esporadicamente, dependendo da dinâmica da Laguna dos Patos, este canal é interrompido, permitindo o acesso de veículos à parte sul do Pontal da Feitoria (Comunicação pessoal com pescadores e moradores locais).

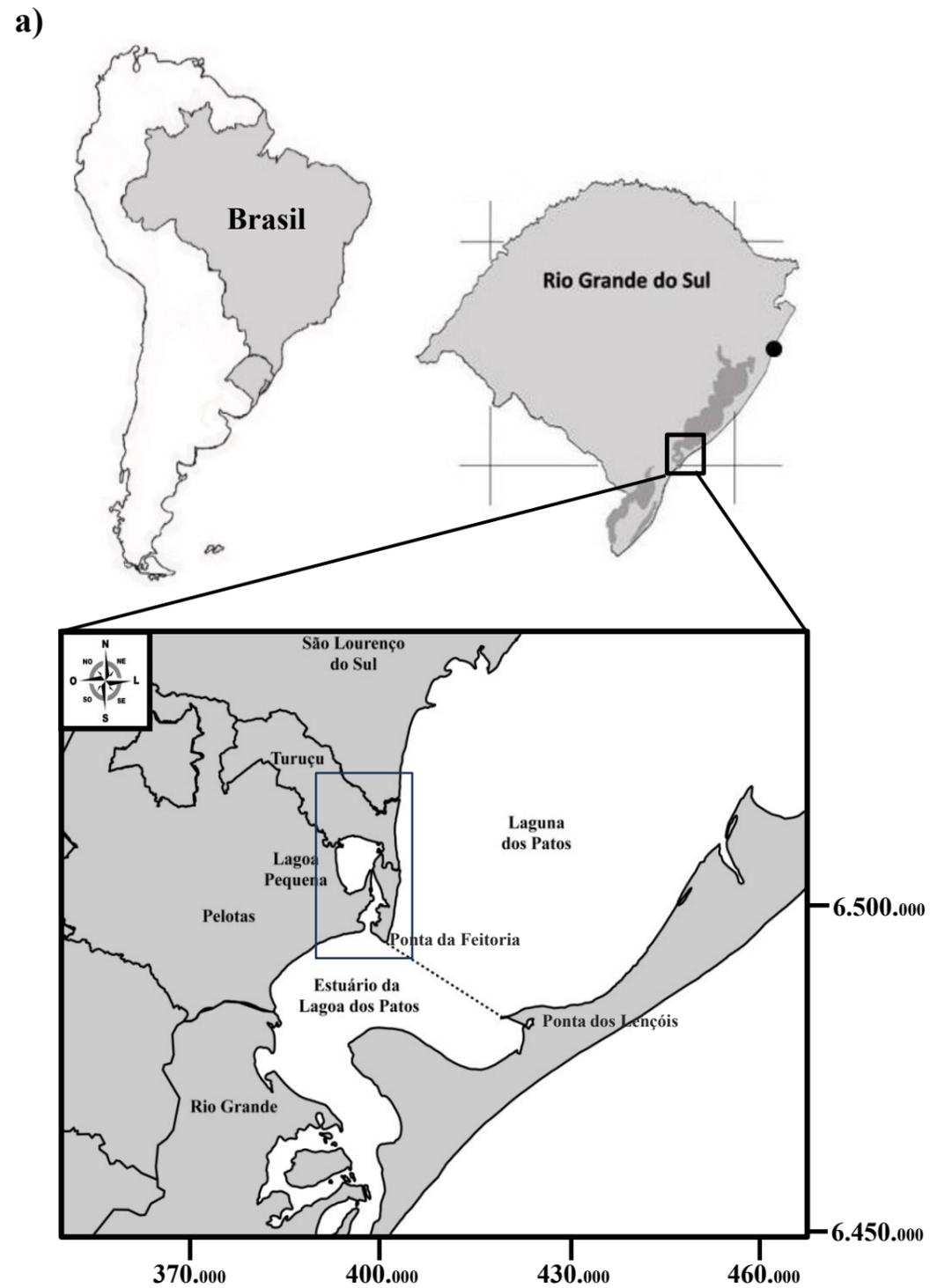


Fig. 1: a) Mapa de localização da área de estudo, na margem oeste da porção sul da Lagoa dos Patos (coordenadas UTM, 22J – WGS 1984). b) Imagem de satélite da região da Lagoa Pequena com destaque à área de estudo, delimitada pelo quadro preto.

2.2 Contexto Geológico

2.2.1 Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS)

A PCRS com aproximadamente 620 km de extensão, constituída por um conjunto de elementos tectono-estruturais, sedimentares e geomorfológicos, cobre cerca de 33.000 km², alcançando em alguns setores mais de 100 km de largura, sendo a maior Planície Costeira do país. Estas dimensões permitiram a preservação dos registros geológicos e geomorfológicos do Cenozóico e, em especial, do Quaternário (Tomazelli & Villwock, 2000).

Em sua parte norte a PCRS encontra-se adjacente ao planalto, o qual é composto por rochas vulcânicas e sedimentares da Bacia do Paraná, com idades Paleozóicas e Mesozóicas, e que, localmente, chegam até 1.000 m de altitude. Já no trecho sul, rochas ígneas e metamórficas do escudo pré-cambriano formam planaltos mais baixos (Tomazelli e Dillenburg, 2007).

A PCRS cresceu, durante o Quaternário, através do desenvolvimento de um amplo sistema de leques aluviais situado em sua parte mais interna, próximo às áreas fontes e do acréscimo lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira (Fig. 2) (Villwock et al., 1986; Villwock & Tomazelli, 1995).

A consolidação da Barreira Múltipla Complexa descrita por Villwock (1977, 1984) e, conseqüentemente, a formação do sistema Lagunar Patos-Mirim se concretizou a partir do último máximo transgressivo do Pleistoceno (Sistema Barreira III) alcançado há cerca de 120 ka.

Há cerca de 20 ka ocorreu um evento global que desencadeou o último grande evento glacial do quaternário. Este grande evento glacial rebaixou o NRM a uma cota 130 m abaixo do nível atual. Neste período de regressão marinha e na fase inicial da transgressão que se seguiu, houve a exposição da atual Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (Corrêa, 1995). Durante este período de tempo, alguns dos rios que deságuam na Laguna dos Patos passaram a escavar vales fluviais, tanto no leito da laguna quanto na plataforma continental.

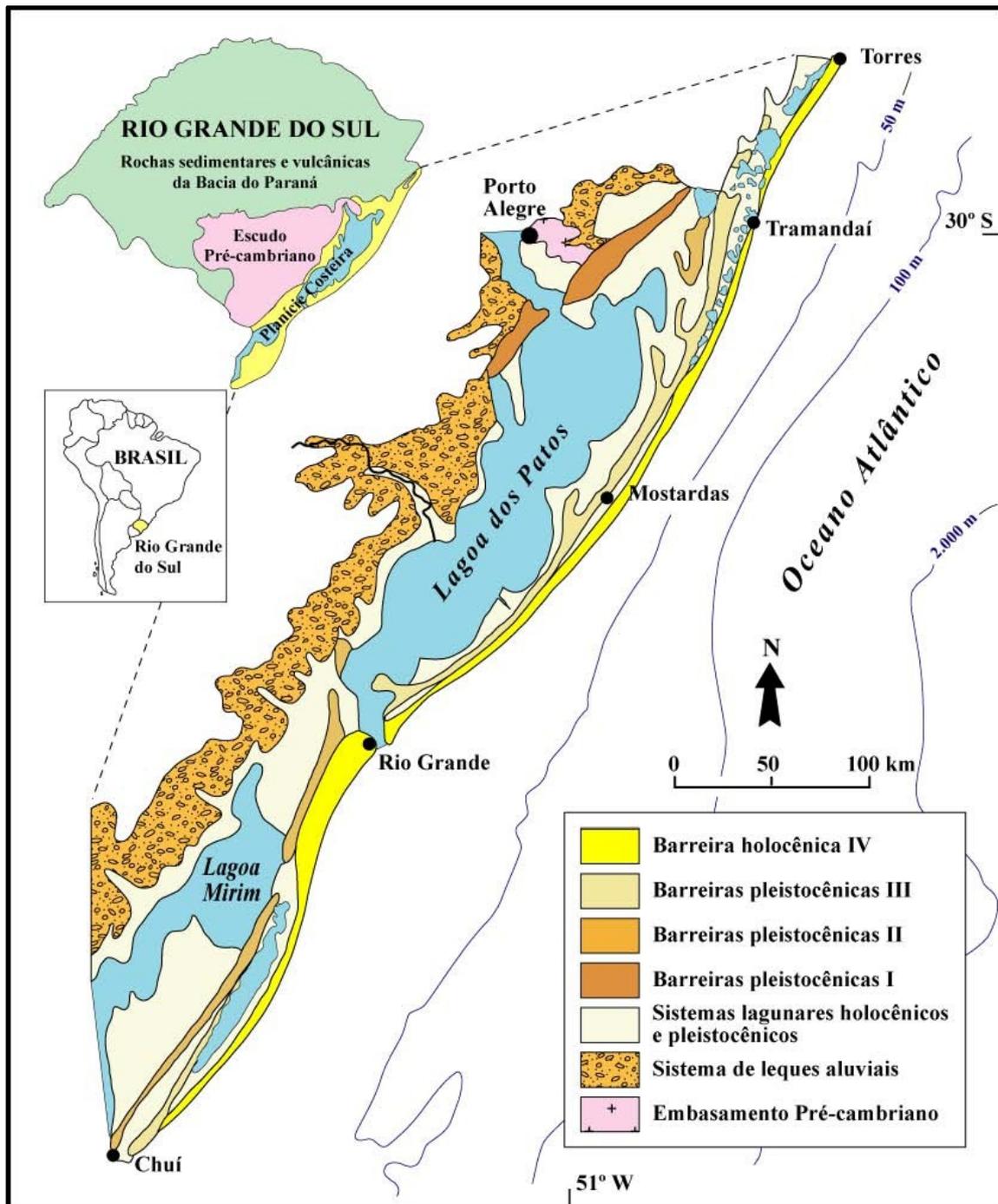


Fig. 2 - Mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, mostrando a distribuição dos principais sistemas deposicionais (extraído de Tomazelli e Villwock, 2000).

A transgressão subsequente ao último episódio glacial (Transgressão Pós-Glacial) possibilitou a formação, na PCRS, de uma barreira transgressiva que progradou durante a fase regressiva que se seguiu. Esta progradação deu origem a Barreira IV a qual se desenvolveu, principalmente, através da construção de cordões litorâneos (*beach ridges*), cujas características ainda podem ser observadas ao norte de Tramandaí e ao sul da cidade de Rio Grande (Tomazelli & Villwock, 2000).

Associado à formação da Barreira IV na parte oceânica da PCRS, desenvolveu-se um ambiente deposicional intralagunar correlato cronologicamente. Este ambiente gerou um sistema de deposição com diferentes feições geomorfológicas, destacando-se: séries de cordões litorâneos lagunares, deltas de maré lagunar, terraços lagunares, pontais, entre outras. As extraordinárias dimensões da Laguna dos Patos permitiram acomodar uma heterogeneidade de ambientes deposicionais que variam geomorfologicamente, tanto em escala espacial quanto em escala temporal.

O desenvolvimento da Laguna dos Patos gerou um ambiente deposicional de características únicas, pois apesar dela apresentar depósitos sedimentares associados a ambientes lagunares, suas extraordinárias dimensões a deixam com aparências de um pequeno mar restrito, promovendo ambientes deposicionais associados à alta energia.

O sistema deposicional mais promissor na preservação e, conseqüentemente, identificação de paleoambientes holocênicos é proporcionado por ambientes tectonicamente estáveis e climaticamente sensíveis, como os lacustrinos, os lagunares e os mares restritos. Neste contexto, a Laguna dos Patos, sendo a maior laguna costeira do mundo, possui a capacidade de preservar muito bem os registros geológicos e geomorfológicos do Quaternário.

A costa do Rio Grande do Sul está localizada em uma posição intraplaca, a qual pode ser considerada relativamente estável (Tomazelli e Dillenburg, 2007).

O mapa geológico utilizado como base para este trabalho foi o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, desenvolvido pelo Programa Geologia do Brasil – Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, subprograma Mapas Geológicos Estaduais – realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), apresentado na escala de 1:750.000. É um produto derivado do Projeto Carta do Brasil ao Milionésimo – Sistema de Informações Geográficas – SIG (CPRM, 2006). Na figura 3 é apresentado o mapa geológico correspondente à área de estudo.

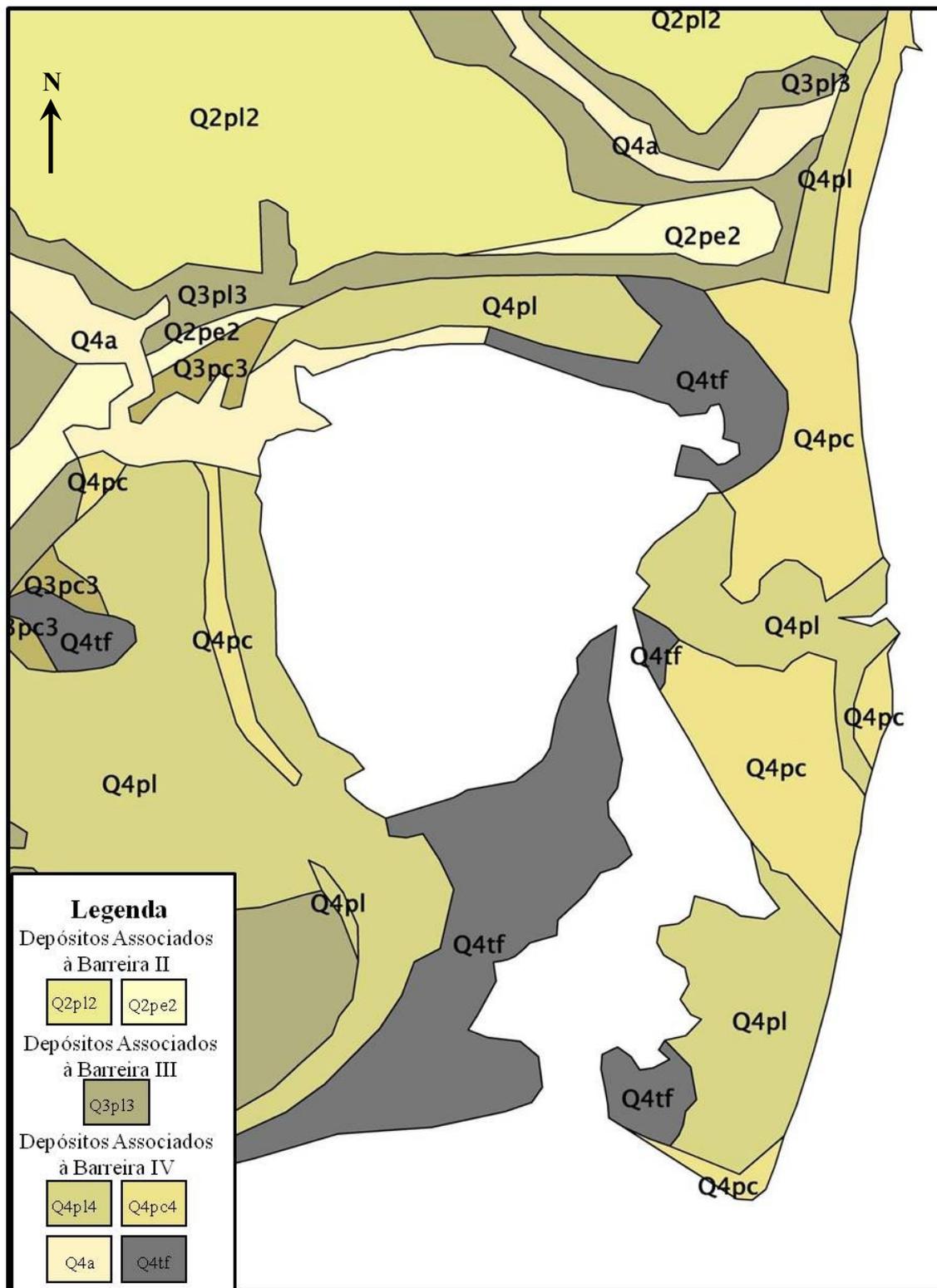


Fig. 3 - Mapa geológico da região da Lagoa Pequena (CPRM, 2006).

2.2.2 Suprimento Sedimentar

O suprimento sedimentar é um dos principais fatores que controlam a formação de cordões litorâneos, marcando regiões costeiras prográdantes. Segundo Posamentier *et al.* (1992), esta condição pode ocorrer de duas maneiras: (1) quando o influxo de sedimento supera a taxa de subida do NRM (regressão normal) ou (2) quando ocorre um rebaixamento do NRM (regressão forçada).

Na metade sul da margem oeste da Lagoa dos Patos, o suprimento de sedimentos é relativamente abundante, fornecido pelos rios Camaquã, Turuçu, São Lourenço e outros pequenos arroios. Outra fonte considerável é o próprio retrabalhamento dos sedimentos pleistocênicos dos Sistemas Barreiras I, II, e III e do sistema de leques aluviais adjacente.

As praias arenosas lagunares da margem oeste da Laguna Lagoa dos Patos, mais especificamente no município de Turuçu, possuem, atualmente, uma influência predominante no fornecimento de sedimento, do Rio Turuçu e do retrabalhamento dos depósitos relíquias.

Os sedimentos fornecidos pelo Rio Camaquã possuem um potencial de transporte predominante para sul; porém, a maior parte deste material abastece os pontais adjacentes a sua foz, formando principalmente o Pontal do Quilombo (Toldo 2010, comunicação pessoal).

3 Arcabouço Teórico

3.1 Cordões Litorâneos

Na literatura, o termo cordões litorâneos (*Beach Ridges*) é usado por muitos autores para descrever feições geomorfológicas diferentes e, conseqüentemente, modos de formação distintos. O precursor deste termo foi Redman (1852, 1864, apud Taylor e Stone, 1996) em seu trabalho sobre modificações ao longo do Litoral Sul da Nova Escócia.

Da metade da década de 1990 até meados da década de 2000, diferentes autores tentaram compilar e definir modelos de formação e a geometria destes cordões litorâneos (Tanner, 1995; Taylor e Stone, 1996; Otvos, 2000; Hesp, 2006).

Segundo Tanner (1995), “séries de cordões litorâneos” ocorrem em quatro categorias principais: 1-*Swash-built ridges*; 2-*Storm-surge ridge*; 3-*Eolian-dune ridge* e 4-*Settling-lag ridge*, sendo que a primeira categoria, que forma os cordões arenosos pela ação das ondas na zona de varrido, pode ser subdividida em subcategorias, dependendo dos níveis de energia das ondas, do grau de mergulho e da geometria da praia (côncava, convexa, reta).

De acordo com a revisão de Taylor e Stone (1996), cordões arenosos só podem se formar com condições climáticas favoráveis (vento e onda), sendo que algumas cristas podem ser formadas em condições climáticas normais, enquanto que as compostas por sedimentos grossos são formadas por eventos de tempestades.

Além disso, estes autores enfatizam em sua revisão que o papel da vegetação e a deposição eólica contribuem na estabilização, na acresção e na preservação dos cordões litorâneos. Outro fato importante descrito é que interrupções, truncamentos, erosão e deposição de novos cordões, com orientação e forma diferente, podem ser causadas por diversos fatores, como: alterações no clima, variações do NRM ou na variação do suprimento de sedimentos.

Já Otvos (2000) descreve em seu trabalho que cordões litorâneos são componentes frequentes de planícies costeiras quaternárias, sendo que algumas destas feições geomorfológicas podem servir como indicadores sensíveis do passado do nível do mar, de posições da linha de costa, de fases climáticas e das taxas de soerguimento isostático.

Hesp (2006) definiu 4 modos de formação de cordões arenosos, sendo eles:

- a) Por ondas de tempestade e nível de água elevado (*Storm Waves and Elevated Water Levels*);

- b) Por ondas de tempo bom e nível de água normal (*Fair-weather Waves and Normal Water Levels*);
- c) Por variações do nível do mar (*Sea Level Change*);
- d) Por processos eólicos (*Aeolian Process*);

Embora os autores citados tenham descrito maneiras diferentes para a formação dos cordões litorâneos elas são muito similares. Aqui, neste trabalho, realiza-se uma coletânea das ideias e se propõe que cordões litorâneos são uma sequência de sobreposições de paleopraias que, essencialmente, requerem um suprimento de sedimento e um padrão de ventos e ondas favoráveis ao transporte e deposição deste sedimento.

Na literatura existem diversos trabalhos sobre cordões litorâneos, onde se destacam: Psuty (1965), Tanner e Demirpolat (1988), Anthony (1991a e 1991b), Fitzgerald, *et al.* (1992), Anthony (1995), Thompson e Baedke (1995), Wells (1996), Isla e Bujalesky (2000), Li *et. al.* (2001), Goy *et. al.* (2003), Neal *et. al.* (2003) e Harvey (2006).

Outro trabalho que merece destaque na evolução do conhecimento sobre a gênese dos cordões litorâneos é o estudo de Carter (1986). Este autor descreve a morfodinâmica da formação dos cordões litorâneos de Magilligan – Irlanda do Norte – de duas maneiras: Modo I – O desenvolvimento dos cordões litorâneos se dá através de um transporte de sedimentos associado a uma deriva litorânea normal e em condições de ondas dissipativas. Os bancos subaquosos migram em direção à face praial se fundindo à zona de espraiamento, sendo que o sedimento é empilhado durante eventos de tempestade que ocorrem em períodos de 30 a 55 dias durante a primavera. Modo II – A formação dos cordões litorâneos é mais complexa. O sedimento, inicialmente estocado nos bancos próximos à costa, é movido para uma área mais afastada da costa, causando um aumento em altura dos bancos. Isto se dá através do predomínio de ondas intermediárias a reflectivas de maré alta. Eventualmente, estes bancos migram novamente para mais próximo da face de praia, porém não se fundem a esta. Quando ocorrem períodos de maré baixa e este banco se torna subaéreo o banco passa a ser um cordão litorâneo, no qual este processo gera uma cava acentuada entre os dois cordões, submetendo esporadicamente este cordão frontal a processos de sobrelavagem (*Overwash*).

Além disso, Carter também descreve a associação da hierarquia entre as estruturas geomorfológicas, na qual estas estruturas possuem uma relação entre a largura e a altura das estruturas sedimentares do ambiente de praia e dunas (Fig. 4).

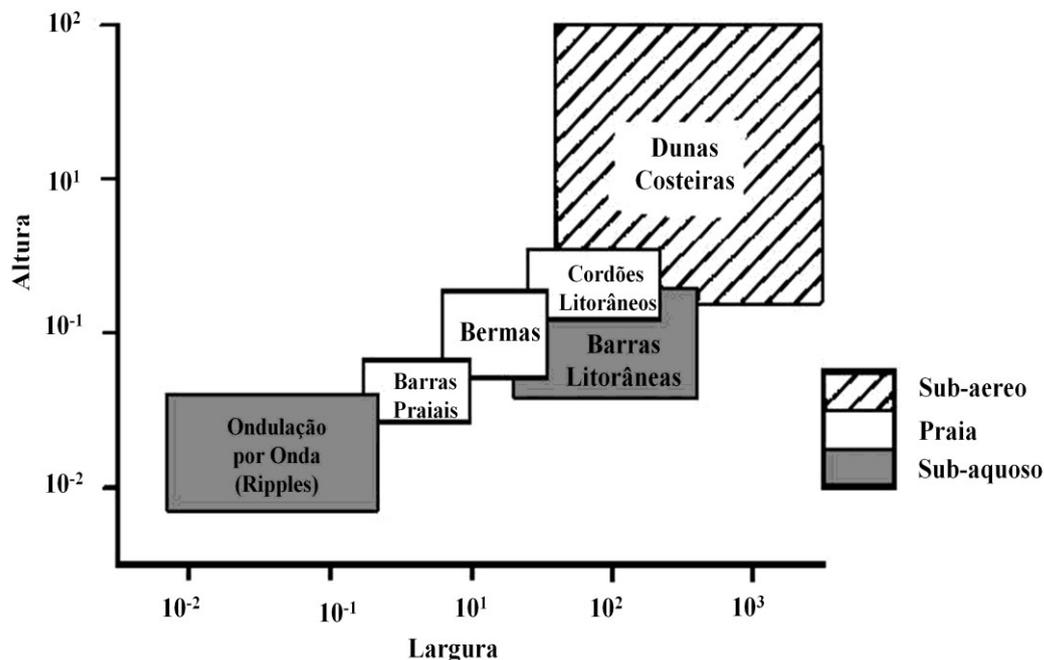


Fig. 4 - Correlação entre a altura e a largura das estruturas sedimentares de praias e dunas, indicando a posição relativa dos cordões litorâneos com outras estruturas. Modificado de Carter (1986).

3.2 Características Hidrodinâmicas da Laguna dos Patos

A Laguna dos Patos é a maior laguna costeira estrangulada do mundo, com mais de 200 km de comprimento e alcançando até 60 km de largura. Assim como a maioria das lagunas costeiras estranguladas, sua dinâmica depende essencialmente da descarga fluvial e do vento (Kjerfve, 1986, Möller *et. al.* 1991, Möller *et. al.* 1996).

Neste contexto, estabelecer um padrão sazonal da descarga dos rios afluentes da laguna é de grande importância para a compreensão da dinâmica lagunar. No entanto, ainda não existe uma rede de dados de obtenção das vazões da maioria dos rios que deságuam na Laguna dos Patos, somente informações das vazões dos principais rios: Jacuí, Taquari e Camaquã.

O padrão de descarga dos principais rios que deságuam na Laguna dos Patos foi compilado por Vaz *et. al.* (2006). As maiores vazões ocorrem entre maio e outubro, ou seja, do fim do outono ao início da primavera, variando conforme o ciclo sazonal do fenômeno

ENOS. O histograma abaixo (Fig. 5) descreve a média mensal e o desvio padrão das descargas destes rios no período de 1940 a 1997.

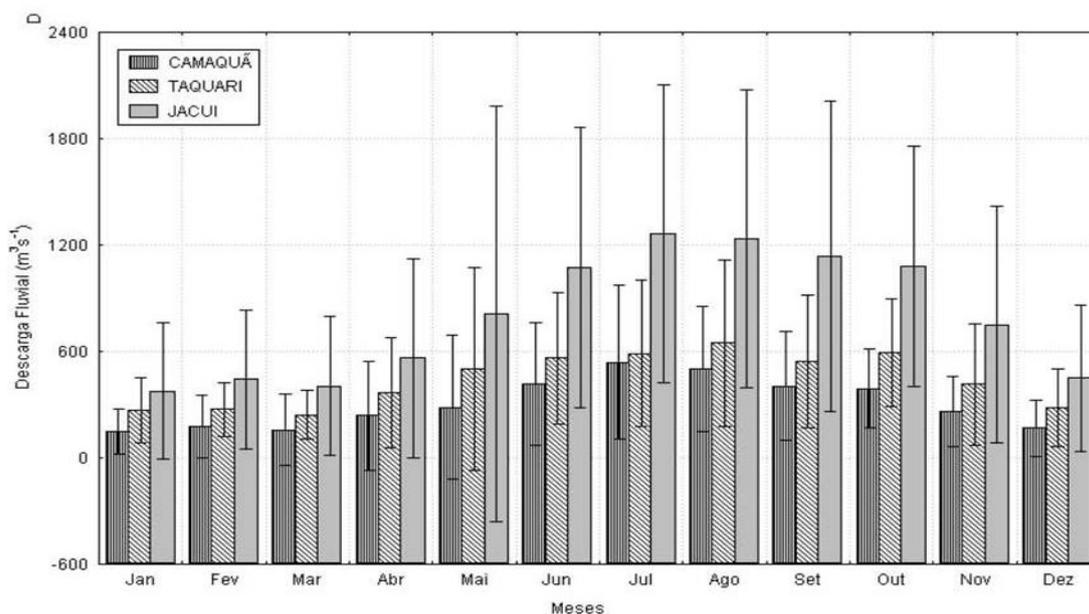


Fig. 5 - Histograma do ciclo sazonal de vazão dos principais rios (Jacuí, Taquari e Camaquã) que deságuam na Laguna Lagoa dos Patos no período de 1940 a 1997 (Modificado de Vaz *et. al.*, 2006).

Complementar e correlato às vazões médias dos principais rios está o tempo de residência da água dentro do corpo lagunar. Este tempo de residência foi calculado e descrito por Hirata *et. al.* (2005), o qual pode variar de 4 a 7 meses.

Já em relação à atuação do vento sobre a costa do Rio Grande do Sul e, conseqüentemente, sobre a Laguna dos Patos, prevalecem os efeitos ditados pela interação dinâmica entre o Anticiclone Subtropical Atlântico e a depressão barométrica do nordeste da Argentina (Camargo, 2002).

O Anticiclone Subtropical Atlântico é um centro de alta pressão cuja posição média anual é próxima a 30°S, 25°W. A circulação atmosférica resultante dele, no sentido anti-horário, resulta no predomínio de ventos de leste-nordeste sobre toda a área do Brasil situada abaixo da latitude 10°S.

Os intermitentes deslocamentos de massas polares gerados por este Anticiclone causam uma oscilação cíclica das águas costeiras, denominada de maré meteorológica, e, conseqüentemente, afetam as águas da laguna (Fig. 6).

A região é afetada por ondas de “swell” vindas SE, que determina um transporte líquido de sedimentos na direção norte. Além da ação do “swell”, os intermitentes

deslocamentos de massas polares do quadrante sul, geram ondas de tempestade episódicas de E-SE, que controlam os processos erosivos e deposicionais ao longo da costa (Tomazelli e Dillenburg, 2007).

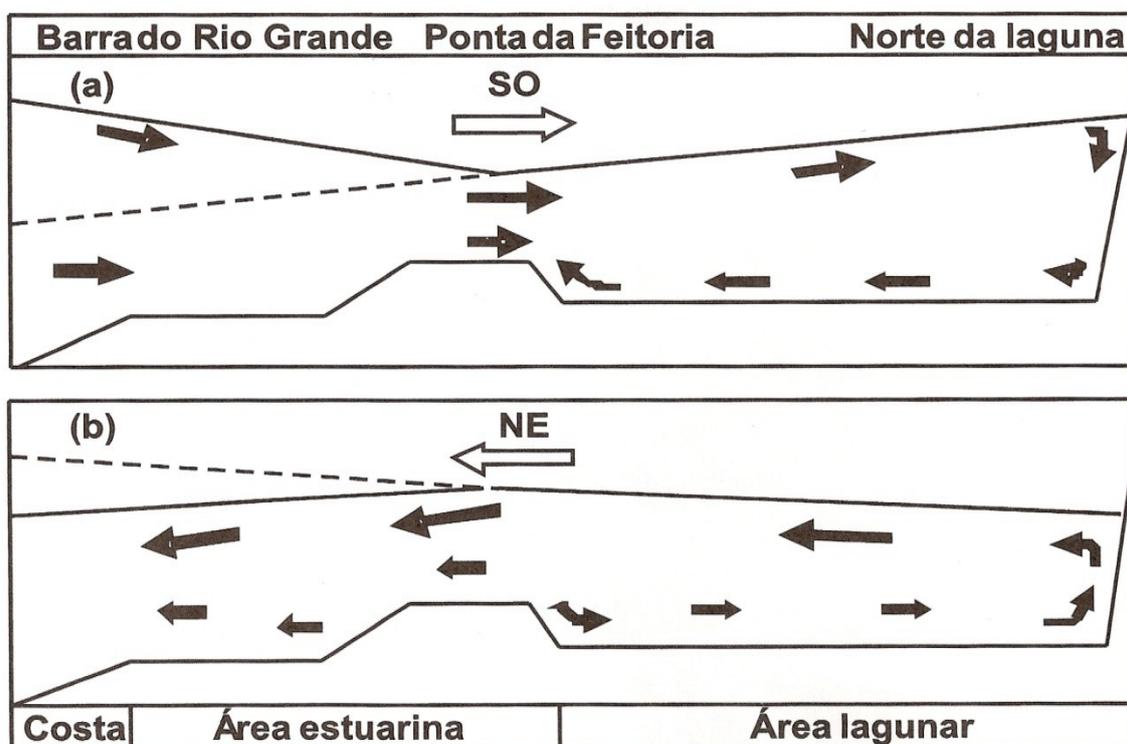


Fig. 6 - Demonstra as marés meteorológicas associadas ao regime de ventos, onde em (a) predomina os ventos de SO, que causam uma elevação do nível do mar na região costeira e rebaixamento do nível da Laguna na região da Ponta da Feitoria, e em (b) predomina os ventos de NE que causam o inverso.

Estas oscilações dentro do corpo lagunar são influenciadas diretamente pela intensidade das massas polares, assim como pela distribuição e magnitude de precipitação nas bacias e microbacias hidrográficas.

Nesse rumo, Castelão e Möller (2003) descreveram, através de modelo, a circulação tridimensional forçada por ventos na Laguna Lagoa dos Patos, onde a variação do nível da laguna pode chegar a 0,04 m (Fig. 7), sem considerar as descargas fluviais e com um vento atuante de 4 m.s^{-1} .

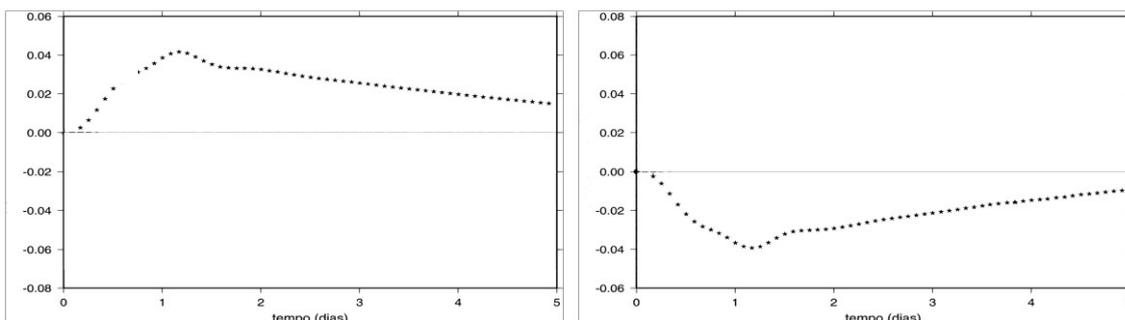


Fig. 7 - Escala vertical indica a variação de altura em m do nível da laguna na região do Pontal da Feitoria, o eixo horizontal indica o tempo de atuação do vento, sendo o quadro a) vento NE e o quadro b) vento SO. Modificada de Castelão e Möller (2003).

Já Fernandes *et al.* (2002) demonstraram, através de modelos, que durante períodos de ENOS, especificamente o evento de El Niño de 1998, os efeitos do vento associados ao aumento da descarga fluvial promovem mecanismos de *set-up* e *set-down* que influenciam na hidrodinâmica lagunar. A variação do nível da laguna pode alcançar até 0,92 m (Fig. 8).

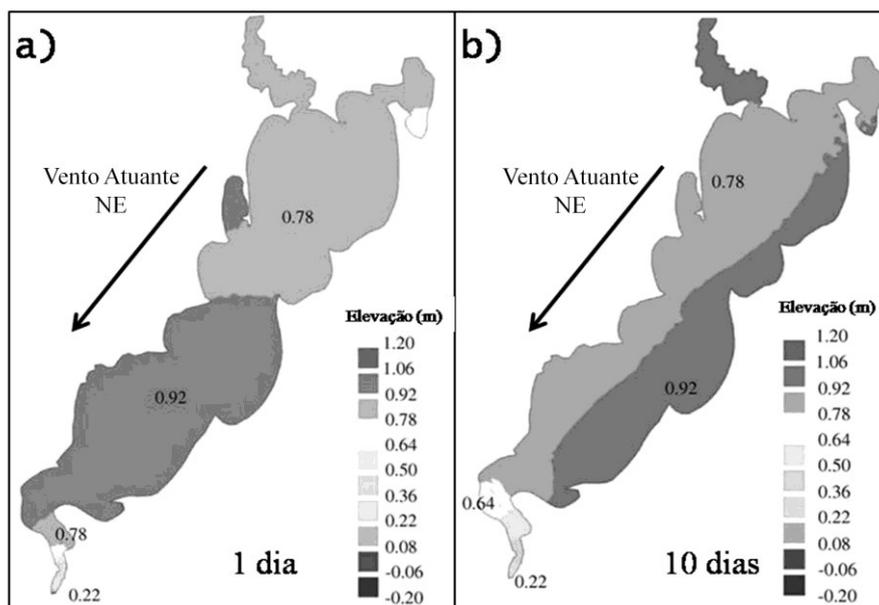


Fig. 8 - Variação do nível da laguna obtido através de modelagem durante o evento ENOS de 1998. a) resposta no 1º dia de modelagem; b) após 10 dias. (Modificado de Fernandes *et al.*, 2002).

Outro fator importante da hidrodinâmica lagunar é a altura e frequência das ondas. Toldo Jr. *et al.* (2006) realizou a predição de ondas em 11 pontos da Laguna dos Patos através da medição dos ventos em 4 estações (Fig. 8). Para a estação mais ao sul na margem oeste (ponto 13, fig. 9), próximo a área de estudo, a altura significativa de onda (m) e o período médio (s) foram de (0,6 - 3,1), (0,5 - 2,8), (0,5 - 2,7) e (0,6 - 3,0), no verão, outono, inverno e primavera, respectivamente.

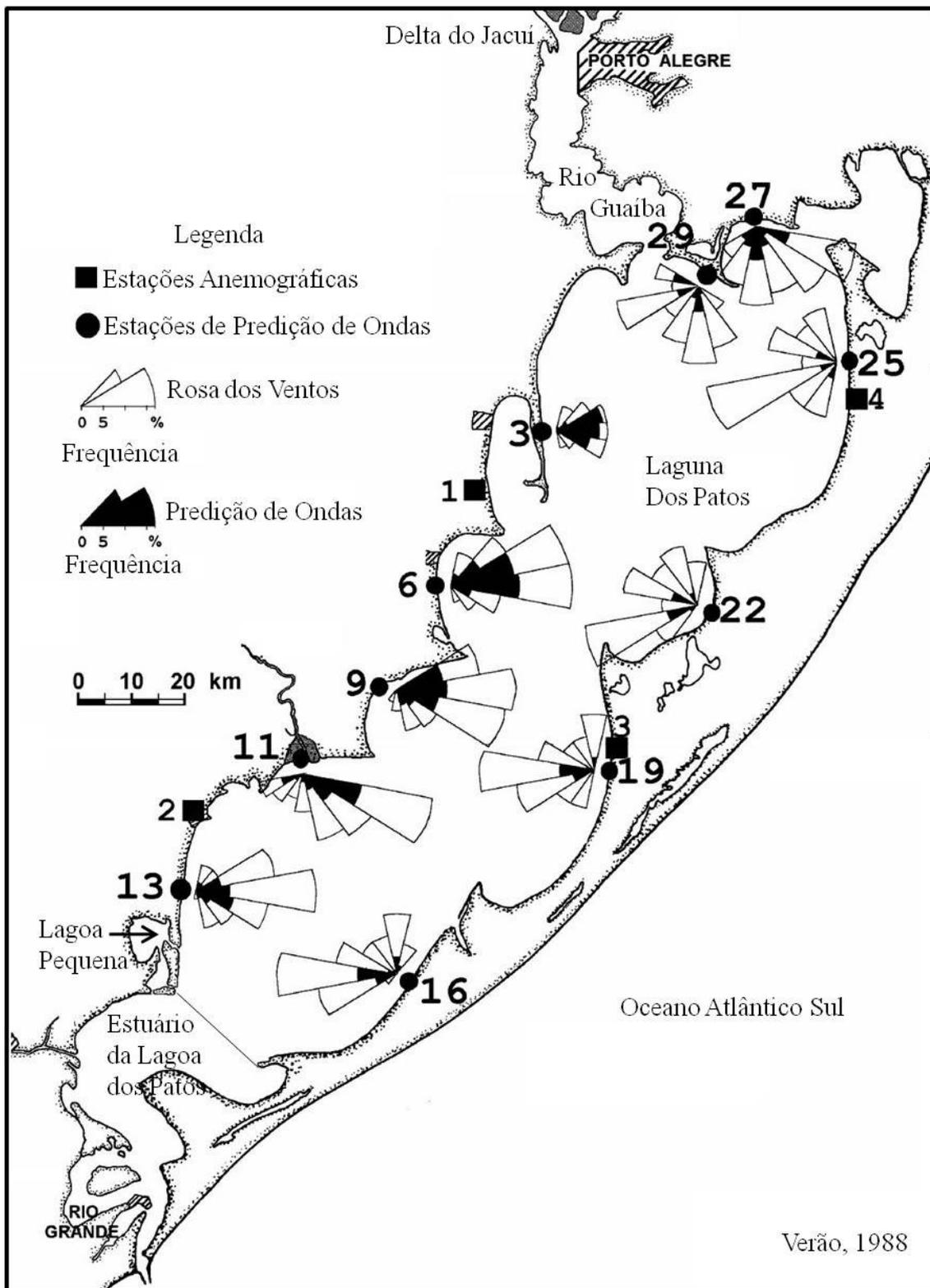


Fig. 9 - Localização dos pontos de medição dos ventos e da predição de ondas durante o ano de 1988. (Modificado de Toldo Jr. *et al.*, 2006).

4 Materiais e Métodos

4.1 Levantamento Geológico de Superfície e Geoprocessamento

Para o levantamento geológico de superfície foram utilizados os mapeamentos pretéritos de Tomazelli e Villwock (2000) (Fig. 2) e o mapa geológico do RS, elaborado pela CPRM (2006) (Fig. 3). Além destes mapas geológicos foram utilizadas imagens de satélite (Google Earth[®]), fotos aéreas de grande formato adquiridas no ano de 1953 pelo Exército Brasileiro na escala de 1:60.000 (Fig. 10), disponibilizadas pela UFPEL (Agência da Lagoa Mirim, antiga SUDESUL) e dados de radar SRTM disponibilizadas pelo Global Land Cover Facility, Institute for Advanced Computer Studies; University of Maryland, College Park, USA – GLCF (Fig. 11).

Foram realizados levantamentos complementares de campo objetivando o reconhecimento dos principais aspectos morfológicos de superfície, através da caracterização da cobertura sedimentar superficial e identificação de espécies vegetais. Estes levantamentos foram realizados na área do entorno da Lagoa Pequena e na margem oeste na porção sul da Laguna dos Patos (Maio, Outubro e Dezembro de 2008).

Além disso, foi realizado um levantamento topográfico utilizando-se uma Estação Total Nikon DTM-330 e um prisma óptico.

Para se realizar o geoprocessamento, a comparação e a interpretação entre as fotos aéreas, as imagens orbitais e o mapa da geologia pré-existente, utilizou-se o programa ArcGis[®] 9.3.

A interpretação conjunta das imagens orbitais do Google Earth, das fotos aéreas e dos mapas pré-existente possibilitou gerar um mapa com um detalhamento maior das unidades morfoestratigráficas da área de estudo. Além disso, pode-se realizar a comparação da evolução da margem oeste na porção sul da Laguna dos Patos nos últimos 57 anos.

O advento do imageamento por satélite é considerado relativamente jovem em relação à escala geológica, da mesma forma que o imageamento aerofotográfico. Porém, em pequena escala temporal pode-se obter resultados satisfatórios na evolução geomorfológica dos ambientes costeiros.

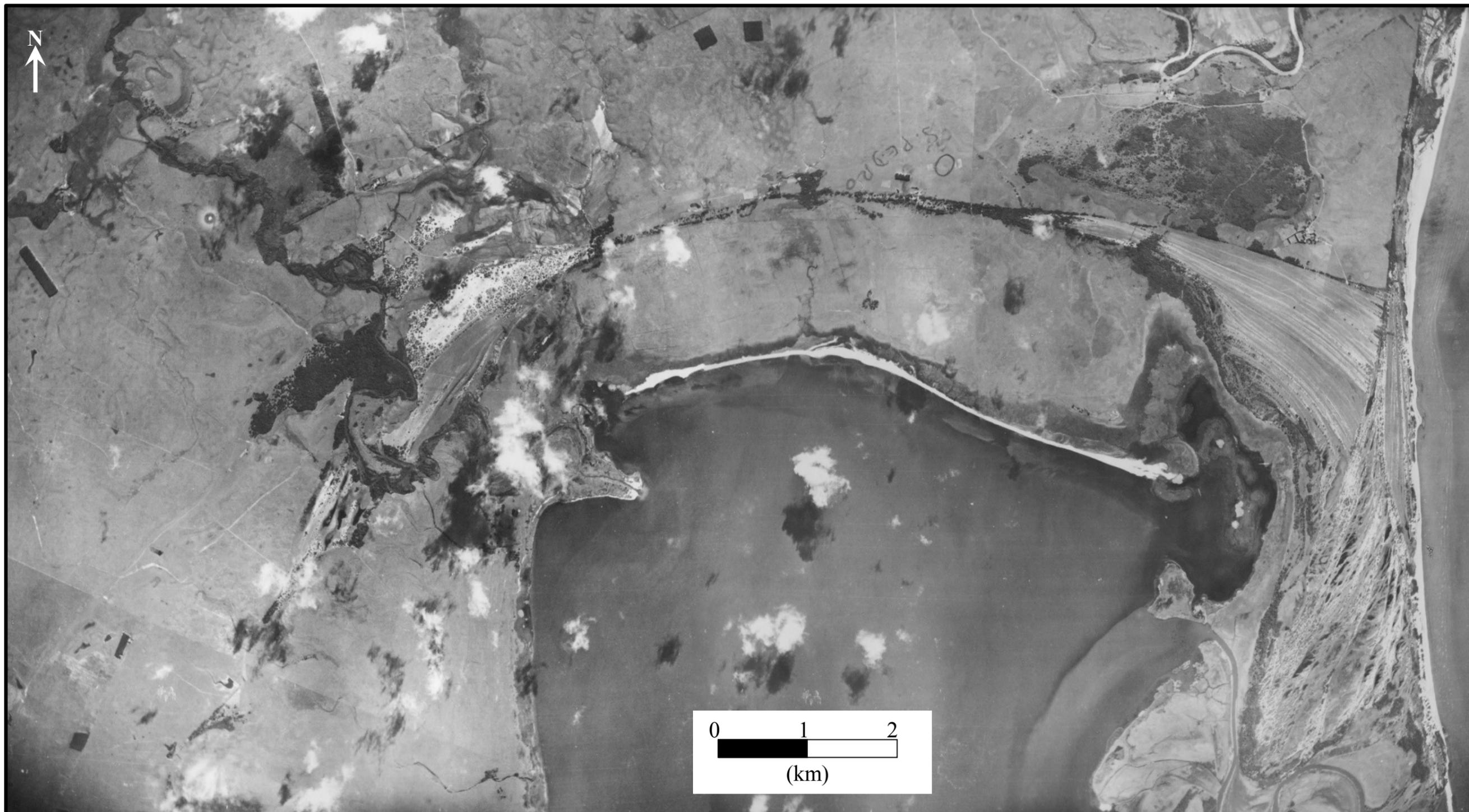


Figura 10: Mosaico de fotos aéreas verticais obtidas pelo exercito brasileiro de 1953 (1:60.000).

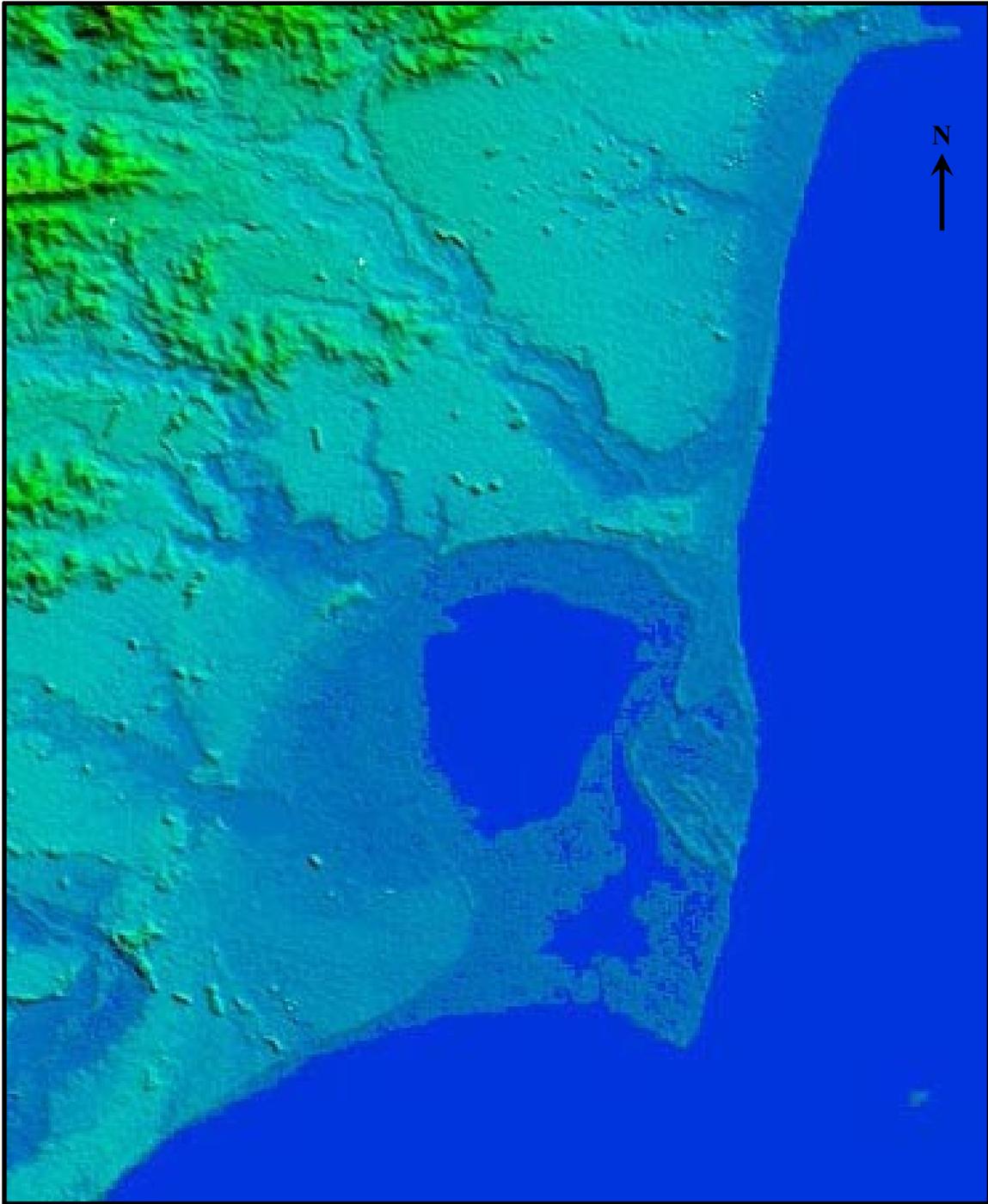


Fig. 11 – Mapa com a altimetria da área de estudo (SRTM).

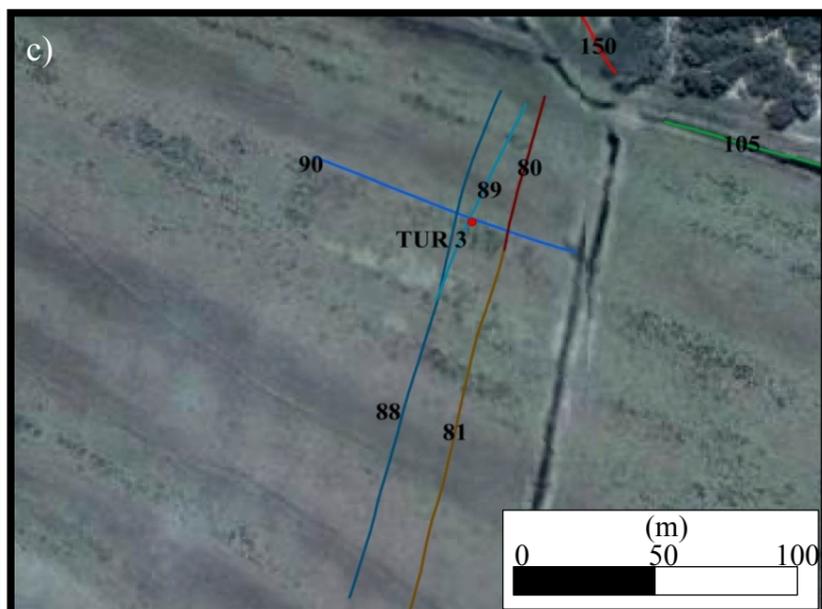
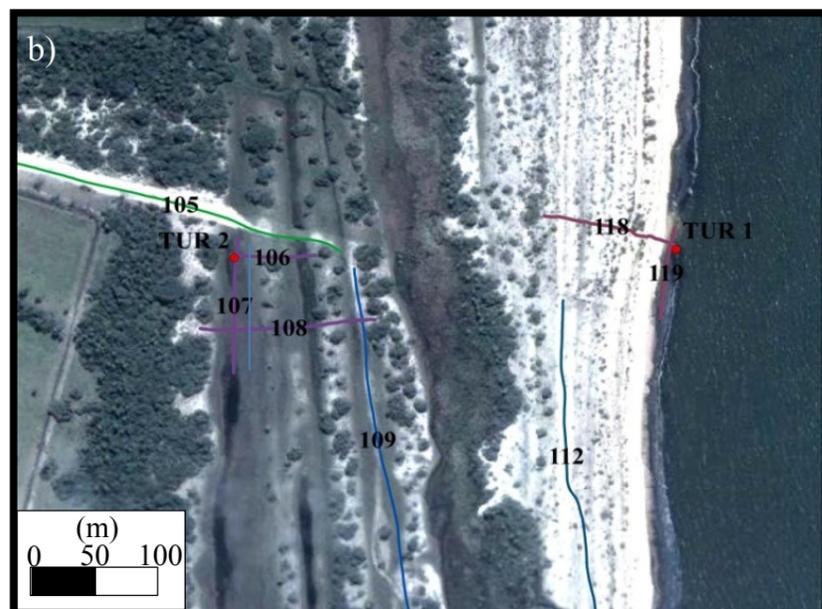
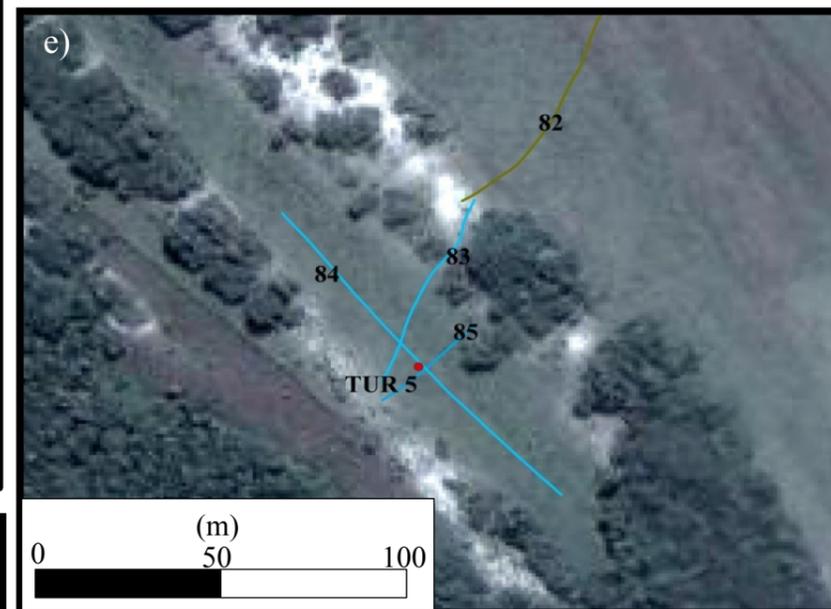
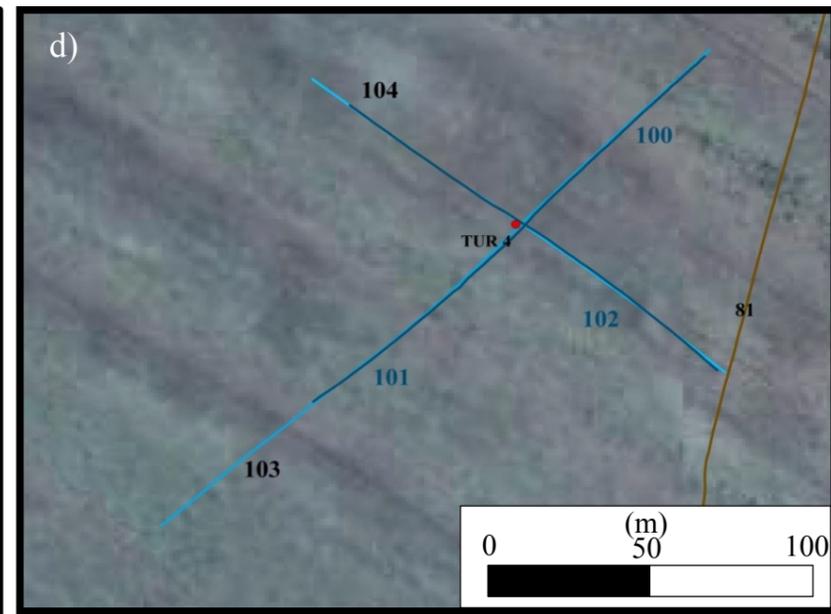
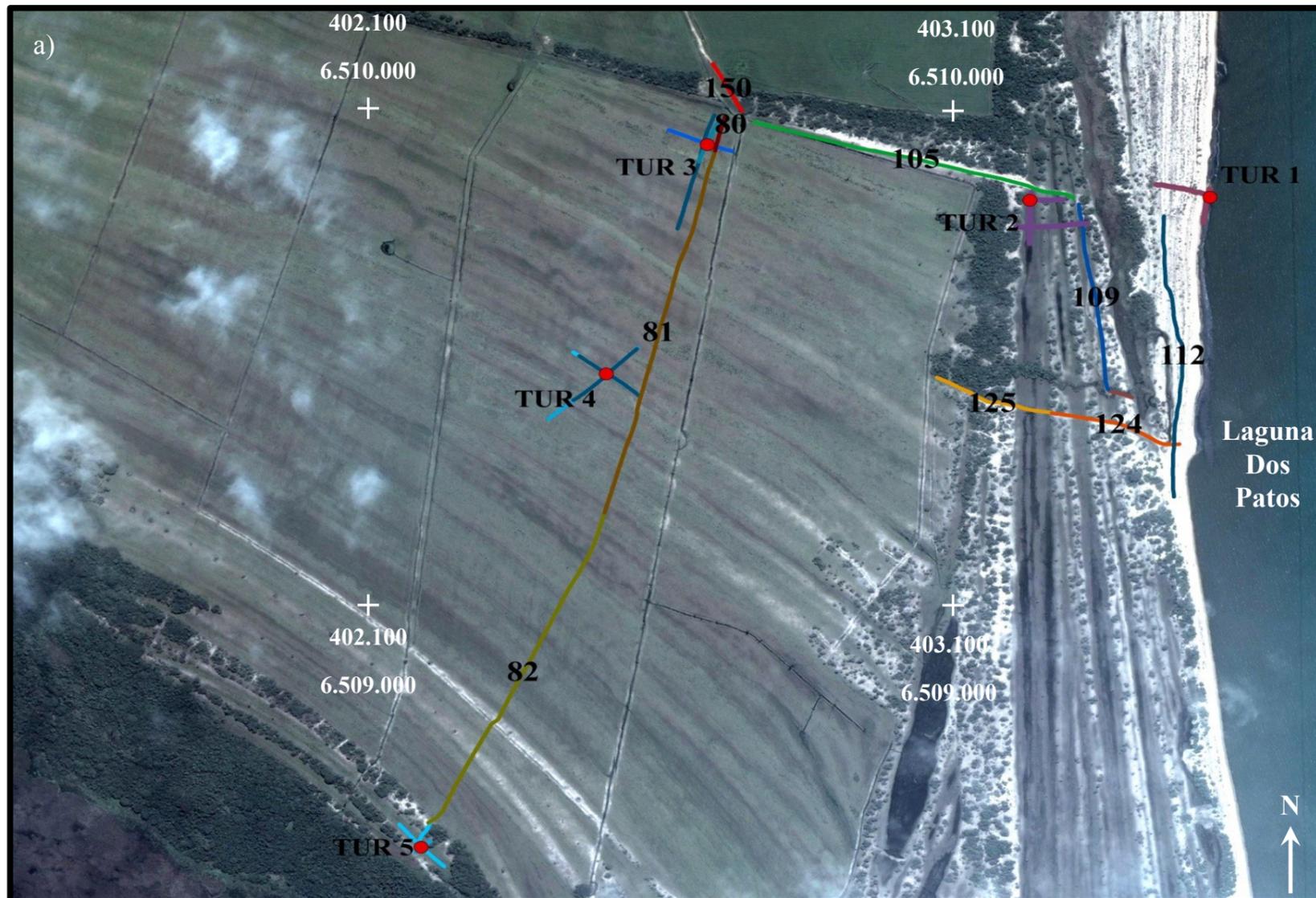


Fig. 12 – Localização dos testemunhos sedimentares e dos perfis geofísicos numerados. a) Vista geral (coordenadas: UTM 22J; WGS 1984). b), c), d), e) localização em detalhe dos testemunhos TUR 1 e TUR 2, TUR 3, TUR 4 e TUR 5.

4.2 Levantamento Geológico de Subsuperfície

4.2.1 Amostragem através de Testemunho Sedimentar

A coleta de amostras sedimentares é de extrema importância em estudos morfoestratigráficos, pois a visualização e a interpretação dos registros podem revelar as condições climáticas do passado e, deste modo, predizer o regime de ventos e de ondas. Além disto, com a assistência dos registros sedimentares pode-se tentar inferir as variações do NRM.

Neste estudo foram coletados cinco testemunhos sedimentares, cujas localizações podem ser vistas na figura 12, e suas dimensões, na tabela 1. Para a escolha dos locais de amostragem levou-se em consideração a disponibilidade para a perfilagem geofísica com um Radar de Penetração no Solo (GPR) e, além disso, se considerou os locais que possuíam a cota mais baixa no local de interesse, a fim de se obter um registro mais profundo possível. Outro fator importante para se determinar estes locais foi o contato entre as diferentes unidades morfoestratigráficas.

Os testemunhos sedimentares foram feitos utilizando-se a técnica de Sondagem a Percussão, onde se utiliza canos de PVC com 6 m de comprimento e uma secção transversal de 75 mm para se obter a amostra. Estes canos são introduzidos no solo com o auxílio de braçadeiras (Fig. 13), que dão sustentabilidade e base para que, através de repetidas batidas, o Martelo Batente (7,5 kg) force o cano a entrar no solo.

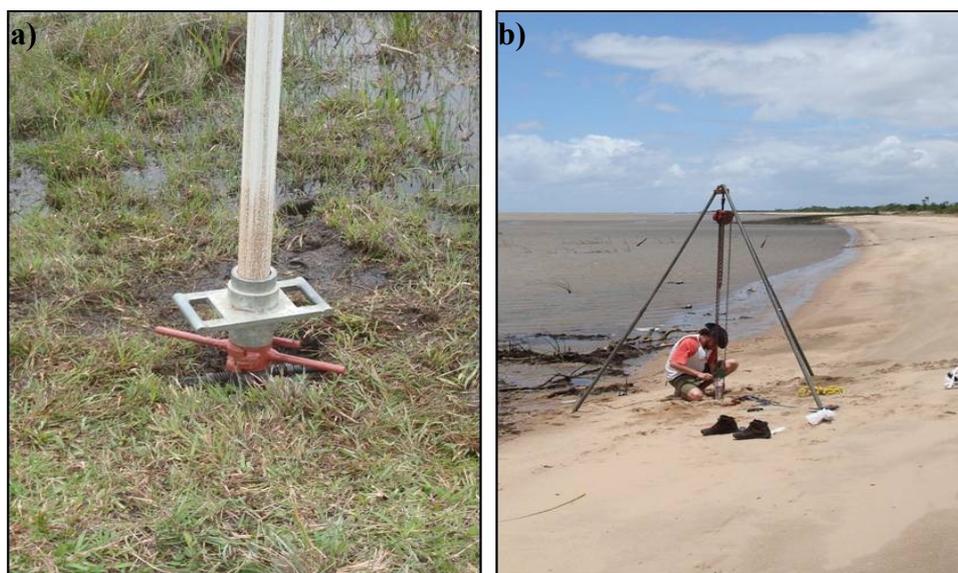


Fig. 13 - a) Braçadeiras e martelo batente. b) retirada do testemunho sedimentar com o auxílio do Tripé e da Talha.



Fig. 14 - Procedimento de vedação do cano antes da recuperação do mesmo.

Após a coleta foi realizado, nas dependências da litoteca do CECO-IG-UFRGS em bancada apropriada, a abertura e a descrição dos testemunhos sedimentares. Para a abertura dos canos de PVC utilizou-se uma serra circular e um cabo de aço para partir o testemunho em dois. Em seguida fotografou-se e realizou-se a diferenciação das cores do sedimento através da comparação com um padrão de cores (*Rock Color Chart*). A descompactação foi realizada segundo a metodologia proposta por Dillenburg (1994).

Dos cinco testemunhos coletados realizou-se análise granulométrica em três (TUR 3, TUR 4 e TUR 5) e nos demais (TUR 1 e TUR 2) a descrição granulométrica foi feita por observação visual.

A textura e características composicionais das amostras dos 3 testemunhos foram analisadas usando técnicas sedimentológicas usuais (peneiramento e pipetagem). Foram processadas um total de 43 amostras utilizando intervalos de $\frac{1}{2}$ phi. Os parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) e a classificação textural segundo Shepard (1954) foram determinados a partir do programa PANCON.

Tab. 1 - Descrição dos testemunhos sedimentares.

Testemunho	Altitude (m) em relação NRM	Profundidade (m)	Posição DGPS (UTM 22J; WGS 1984)
TUR 1	0,30	2,66	403439 6509843
TUR 2	2,74	3,17	403128 6509836
TUR 3	4,19	2,70	402571 6509948
TUR 4	4,12	2,80	402401 6509492
TUR 5	2,91	2,66	402079 6508545

4.2.2 Levantamento Geofísico: Radar de Penetração do Solo (GPR – Ground Penetration Radar)

O Radar de Penetração no Solo é um método geofísico de aquisição de dados que revela um registro longo, contínuo e de alta resolução e que permite a visualização da geometria dos corpos sedimentares em subsuperfície. Este método é o mais indicado para investigações de depósitos sedimentares rasos como, por exemplo, os depósitos holocênicos, consistindo na irradiação de pulsos curtos de energia eletromagnética de radiofrequência na subsuperfície através de uma antena transmissora. O sinal emitido pelo radar sofre reflexões, refrações e difrações em descontinuidades presentes no meio de propagação. Estas descontinuidades são representadas por diferenças nas propriedades dielétricas do subsolo.

Quando a energia irradiada encontra estas diferenças, parte da energia é refletida de volta para a antena do radar e o restante da energia continua se propagando até um ponto em que a energia restante não é o suficiente para refletir e retornar até a antena. Desigualdades dielétricas estão presentes na maioria dos ambientes hidrogeológicos e são determinadas, principalmente, pelo teor de água e pela presença de minerais dissolvidos nos interstícios, argila expansiva e concentrações de minerais pesados contidos na subsuperfície (Beres e Haeni, 1991).

O sinal refletido é processado, amplificado, gravado e exibido em uma unidade acoplada à antena. O registro mostra o total do tempo que o sinal demora a atravessar a superfície, ser refletido nas descontinuidades dielétricas e retornar até a antena na superfície. Este tempo de viagem nos dois sentidos é medido em nano segundos ($1\text{ns} = 10^{-9}$ segundos).

A confirmação dos resultados de investigações que utilizam radar de penetração no solo devem ser associadas a técnicas de sondagens para que se possa fazer uma interpolação e extrapolação das informações obtidas (Davis e Annan, 1989).

A possibilidade de observação da correlação entre os refletores e os pacotes sedimentares obtidos nos registros do GPR com as sequências sedimentares descritas na literatura, ou em amostragens reveladas com sondagens, e a qualidade dos resultados obtidos, enfatizam a viabilidade da aplicação deste tipo de método investigativo. Pode-se considerar sua aplicabilidade em diversos tipos de estudo como, por exemplo, obras civis, gerenciamento ambiental e demais atividades onde seja necessário o levantamento de informações imediatas sobre o substrato raso. A flexibilidade operacional permite cobrir extensas áreas, com grande detalhe em um curto período de tempo, quando comparado a qualquer outro método geofísico de investigação (Gandolfo *et. al*, 2001).

Na aquisição dos radargramas deste trabalho foram coletados um total de 25 perfis, somando 5.366 m de registro (Tab. 2), sendo que a localização pode ser vista na figura 12. O equipamento utilizado foi um GPR modelo SIR-3000 da marca GSSI™ (Geophysical Survey Systems, Inc.), utilizando-se duas antenas com frequência de 200 e 400 MHz acopladas a um DGPS.

Os perfis foram obtidos de formas diferentes devido a dificuldades impostas pelo ambiente. Alguns foram coletados com o equipamento sendo transportado a pé (Fig. 15), mantendo-se uma velocidade constante, com os dados coletados em relação ao tempo, ou seja, com uma taxa de aquisição de dados de 120 scan.s^{-1} .

Já outros foram capturados com o auxílio de um veículo, também mantendo a velocidade constante. A taxa de aquisição foi a mesma, 120 scan.s^{-1} (Fig. 16).



Fig. 15 - Procedimento para obtenção dos perfis de GPR realizados caminhando. Em a) com a antena de 400 MHz e em b) com a antena de 200 MHz.



Fig. 16 - Procedimento para a obtenção dos perfis de GPR realizados com o auxílio de um veículo.

O processamento dos radargramas foi realizado com o emprego do software Radan® 6.0 (Radar Data Analyser), onde se realizou a correção topográfica e elevou-se o ganho do sinal. Durante o processamento foi examinado o valor empregado para a constante dielétrica na aquisição ($\epsilon = 0,15$ m/ns). Para tanto foram utilizados os dados de testemunhos sedimentares para corrigir a profundidade dos radargramas, onde foi possível correlacionar, através da identificação de contatos com variações litológicas, as profundidades com o valor da constante dielétrica. Para a antena de 400 MHz optou-se por utilizar a constante de 22, enquanto que para a antena de 200 MHz utilizou-se a constante dielétrica com valor 16.

Segundo Jol e Smith (1991), as fácies de radar podem ser definidas como unidades sedimentares deposicionais tridimensionais mapeáveis compostas por padrões de reflexões características e que se diferem das unidades adjacentes. A interpretação das fácies sedimentares foi realizada utilizando-se os conceitos de Mitchum *et. al.* (1977).

Além disso, a interpretação dos radargramas baseia-se, primordialmente, nas imagens obtidas. Para tanto é essencial entender a natureza e a origem das reflexões e reconhecer reflexões padrões características de determinados depósitos sedimentares, a fim de interpretar os radargramas com confiança (Van Overmeeren, 1998).

Tab. 2 - Descrição dos Perfis obtidos com o Radar de Penetração no Solo.

Perfil	Comprimento (m)	Antena GPR (MHz)	Constante Dielétrica
80	72	200	16
81	748	200	16
82	695	200	16
83	61	200	16
84	115	200	16
85	34	200	16
88	236	200	16
89	95	200	16
90	119	200	16
100	94	400	22
101	57	400	22
102	130	400	22
103	210	200	16
104	145	200	16
105	572	400	22
106	60	400	22
107	101	400	22
108	123	400	22
109	374	400	22
112	566	400	22
118	101	400	22
119	69	400	22
124	235	400	22
125	218	400	22
150	136	400	22

5 Resultados

5.1 Levantamento Geológico de Superfície e Geoprocessamento

Com base nos trabalhos anteriores, nas fotografias aéreas de grande formato, nas imagens orbitais do software Google Earth e nas observações de campo foi possível elaborar um mapa geológico de detalhe da área de estudo (Fig. 17). A nomenclatura utilizada neste mapa seguiu o padrão utilizado pela CPRM (2006), sendo que a principal diferença do mapa proposto para o mapa geológico produzido pela CPRM foi à subdivisão da unidade morfoestratigráfica denominada de Depósitos de Praias e Cristas (cordões litorâneos lagunares) associadas à Barreira IV (Q4pc) em quatro subunidades.

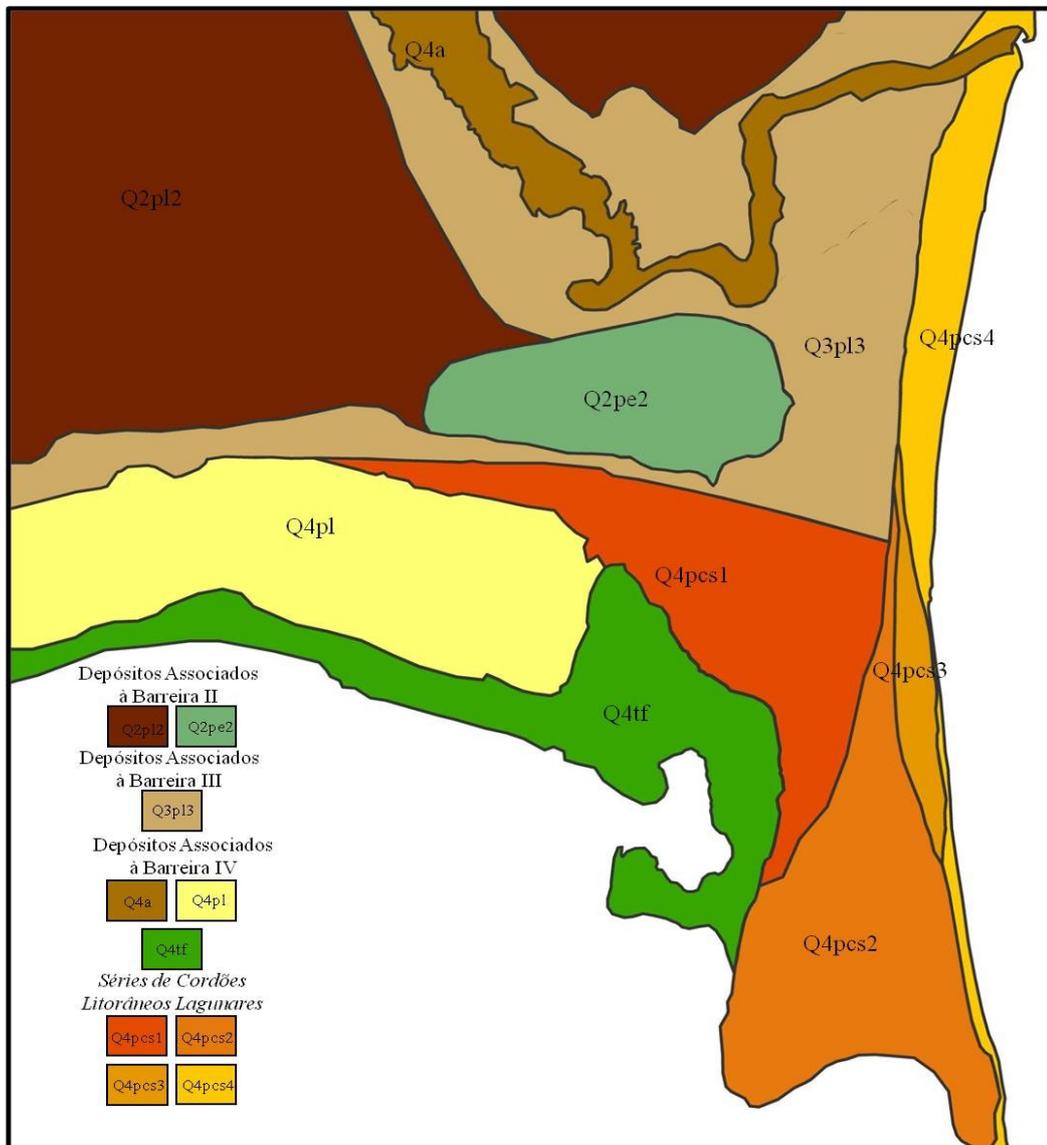


Fig. 17 - Mapa Geológico elaborado para a área de estudo.

Os depósitos descritos como associados à Barreira II são de dois tipos: Depósitos de Planície Lagunar (Q2pl2) e Depósitos Praiais e Eólicos (Q2pe2). Estes depósitos refletem a sedimentação nos ambientes deposicionais que se desenvolveram nesta região de retrobarreira não só durante o tempo em que o Sistema Laguna-Barreira II permaneceu ativo, bem como durante os eventos transgressivos-regressivos posteriores (Villwock e Tomazelli, 2006).

Nos Depósitos de Planície Lagunar II (Q2pl2) há um predomínio de uma vegetação de campo (Fig. 18), já nos Depósitos de Dunas Lagunares (Q2pe2) a vegetação associada é definida como do tipo Mata de Coxilha, com predomínio de três espécies (*Ficus organensis*, *Myrsine umbellata* e *Butia capitata*). A comparação das Fotografias Aéreas de 1953 com as Imagens Orbitais de 2006 mostram uma diminuição significativa da área vegetada sobre estes depósitos (Fig. 19).

Os depósitos da Planície Lagunar II apresentam uma escarpa erosiva contornando a forma da Lagoa Pequena e se estendendo até a praia do Laranjal, ao Sul, no município de Pelotas. A altura da escarpa varia desde um metro, em sua extremidade sul, até 14 m, na margem Norte da Lagoa Pequena.



Fig. 18 - Fotografia exibindo o tipo de vegetação sobre os Depósitos de Planície Lagunar II (Q2pl2).

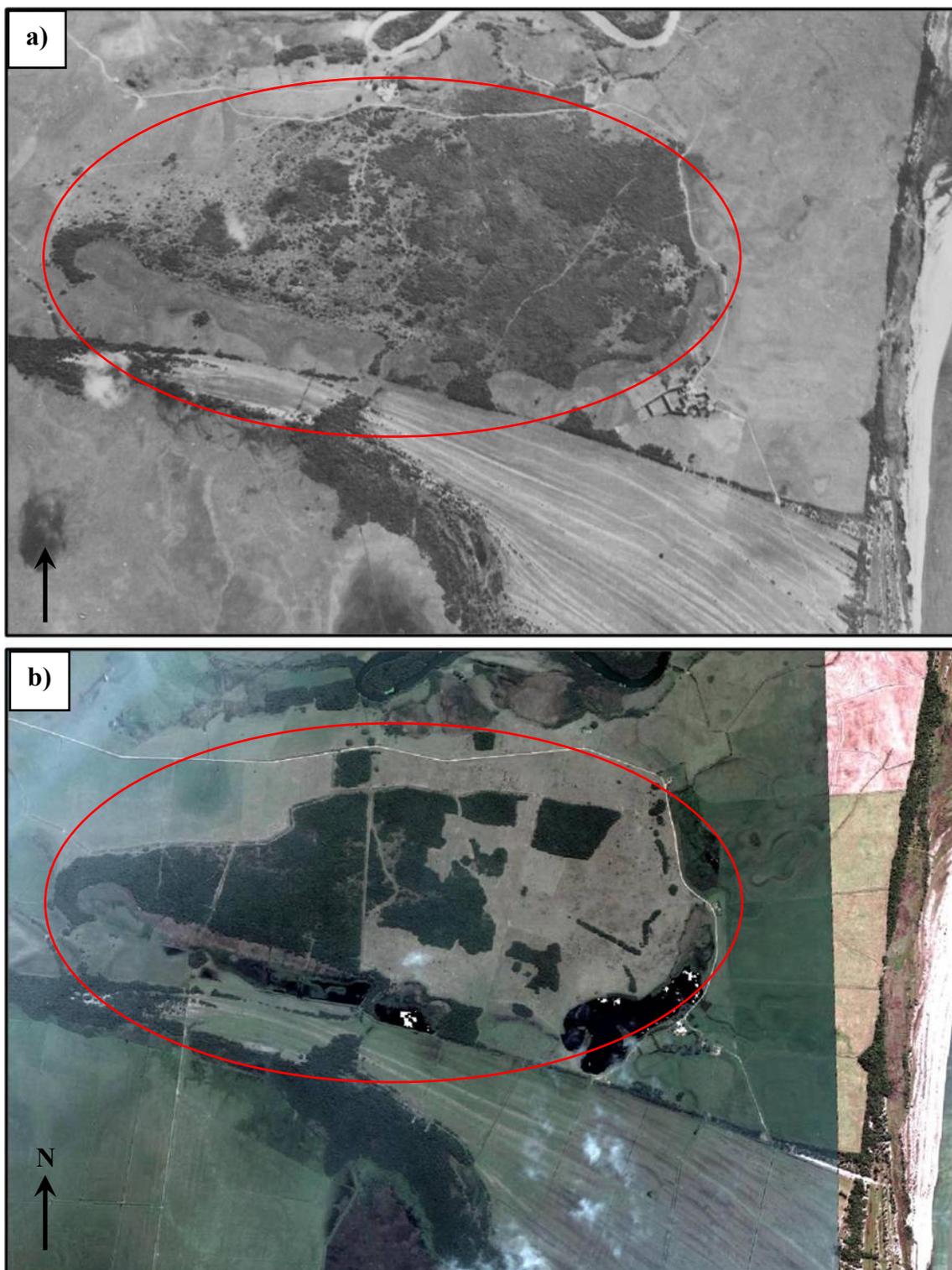


Fig. 19 - Comparação da área vegetada sobre o depósito de Dunas Lagunares (Q2pe2), a) foto aérea de 1953 e b) imagens de satélite de 2006.

Os depósitos sedimentares associados à Barreira III também são de retrobarreira. Os depósitos da Planície Lagunar III (Q3pl3) se estendem desde o promontório rochoso, no município de São Lourenço do Sul, até a parte Norte da Lagoa Pequena. Estes depósitos

possuem uma escarpa erosiva em forma de rampa suave, apresentando uma peculiaridade curiosa. Em seu limite sul, a escarpa segue o contorno da Lagoa Pequena em direção oeste, formando um ângulo de, aproximadamente, 90° com a sua porção leste, que segue o contorno da margem da Laguna dos Patos. Nestes depósitos predomina uma vegetação rasteira, do tipo campo, com alguns “Capões de Mato” esporádicos (Fig. 20).



Fig. 20 - Fotografia exibindo o tipo de vegetação sobre os depósitos da Planície Lagunar III (Q3pl3).

Os depósitos associados cronologicamente à Barreira IV são de idade holocênica e, na área de estudo, compreendem: (1) Depósitos Aluviais (Qt4), associados à desembocadura do Rio Turuçu; (2) Depósitos de Planície Lagunar (Q4pl) e Depósitos Turfáceos (Qt4), correlacionados com o processo de isolamento da Lagoa Pequena; e (3) Depósitos de Praias e Cristas Lagunares (Q4pc). No mapa geológico apresentado neste trabalho, esta última unidade morfoestratigráfica foi subdividida em quatro subunidades. Para se diferenciar estas subunidades incluiu-se um sufixo “s” (Série) seguido de um número, no qual se adotou a sequência de 1 a 4, onde “1” corresponde ao depósito mais antigo e “4” ao atual.

Estes depósitos de Praias e Cristas Lagunares (Cordões Litorâneos Lagunares) possuem uma vegetação que se alterna em Mata de Restinga (Fig. 21) e Campos Alagadiços (Fig. 22), conforme a presença de cristas ou cavas, respectivamente.



Fig. 21 - Fotografia exibindo a Mata de Restinga associada às cristas dos Cordões Litorâneos Lagunares



Fig. 22 - Fotografia exibindo os Campos Alagadiços associados às cavas dos Cordões Litorâneos Lagunares

Outro resultado importante foi obtido com o levantamento topográfico realizado sobre a 1ª Série de Cordões Lagunares. A aquisição de dados foi realizada com uma Estação Total, da marca Nikon DTM-330 e um prisma óptico, onde foram realizadas 108 leituras em uma

distância total de 1.281 m. Para se realizar o balizamento deste perfil foi utilizado o ponto do testemunho sedimentar TUR 4, adquirido com um GPS diferencial.. Este levantamento resultou em um perfil topográfico que é apresentado na figura 23.

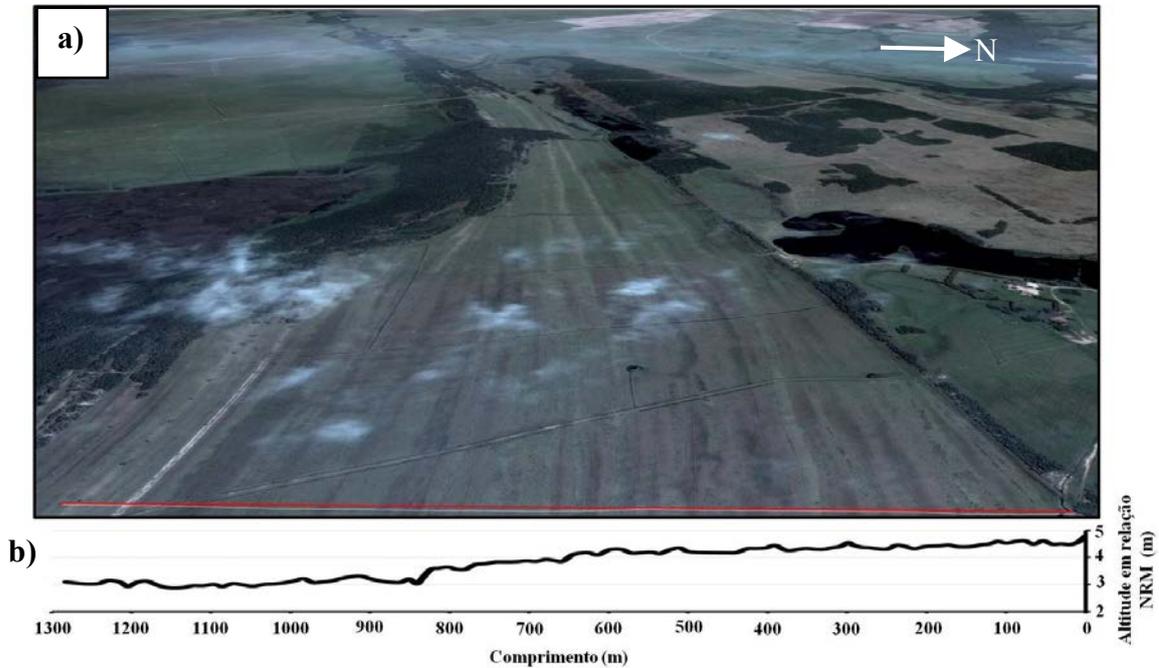


Fig. 23 - a) Localização do perfil topográfico (Linha vermelha); b) Perfil topográfico, eixo vertical representa a altura em relação ao NRM e eixo horizontal representa o comprimento do perfil.

Para uma melhor análise deste perfil se determinou a Linha de Tendência Linear (Linha Preta, Fig. 24) e uma Linha de Tendência com Média Móvel, tendo período igual a 5 (Linha Laranja, Fig. 24), onde está linha de tendência serve para suavizar flutuações em dados para mostrar um padrão ou uma tendência com maior clareza. Uma média móvel usa um número específico de pontos de dados (período), determina a média e usa o valor da média como um ponto da linha de tendência.

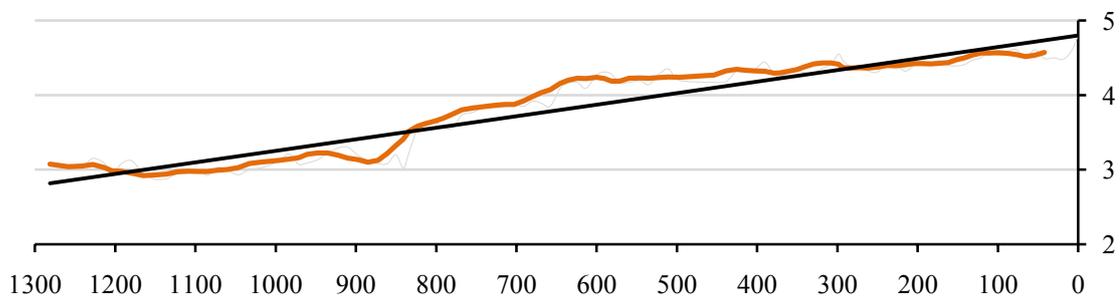


Fig. 24 - Linhas de Tendência do perfil topográfico: Linear (Linha Preta) e Média Móvel com período igual a 5 (Linha Laranja).

Além deste levantamento topográfico realizado sobre a 1ª Série de Cordões Litorâneos Lagunares pôde-se gerar um Modelo de Elevação do Terreno (MET) de uma área deste depósito, com os dados obtidos nos perfis geofísicos e no balizamento dos testemunhos sedimentares com um GPS diferencial (Fig. 25).

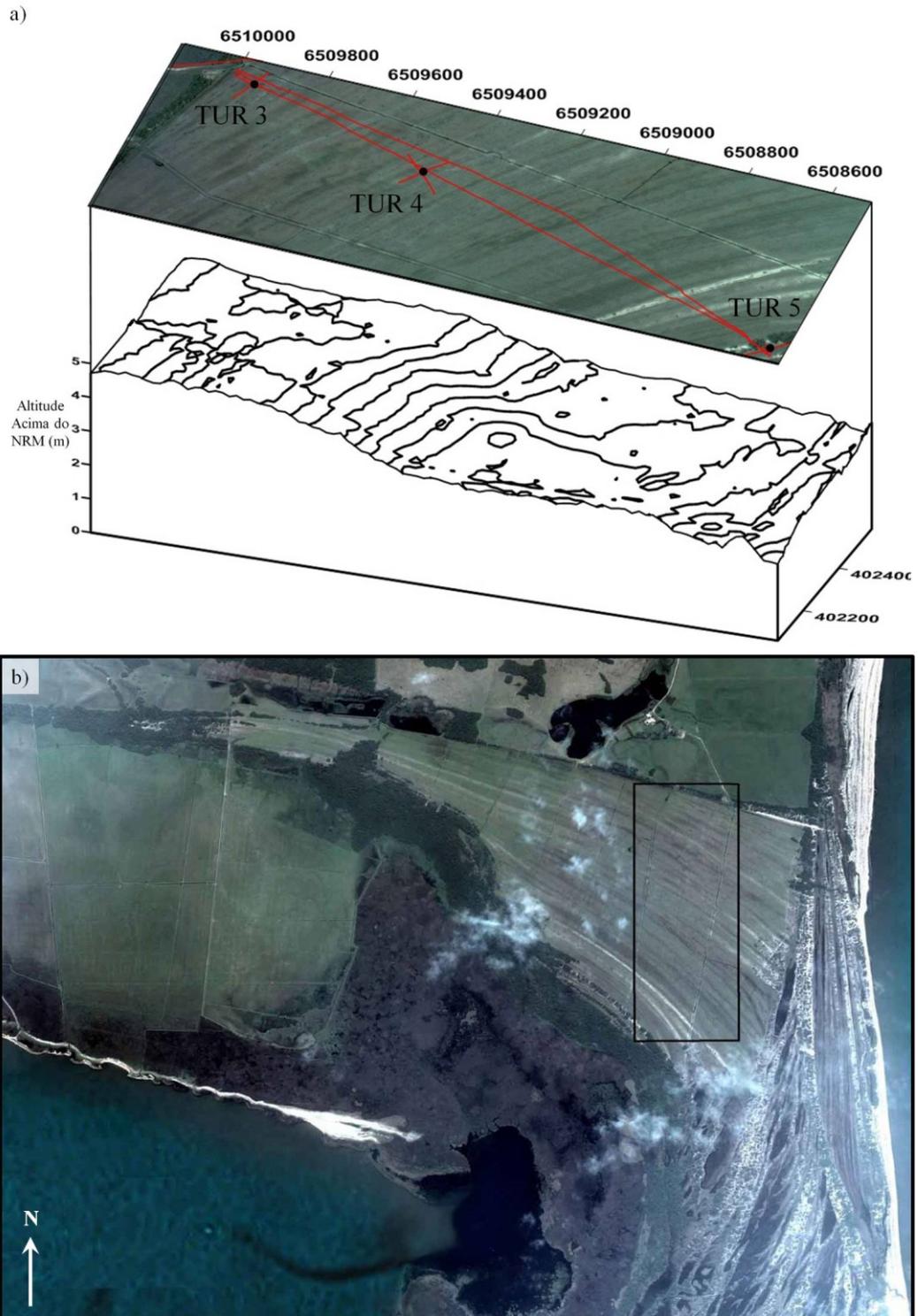


Fig. 25 - a) Modelo de Elevação do Terreno. Eixo vertical demonstra a altura acima do NRM (m), coordenadas geográficas em UTM (22J, WGS84). b) Localização da área que foi gerado o MET.

5.2 Levantamento Geológico de Subsuperfície

O levantamento geológico de subsuperfície, como relatado anteriormente, foi realizado utilizando-se dois métodos: Amostragem de Testemunho Sedimentar e Perfilagem Geofísica com GPR.

Os testemunhos sedimentares TUR 3, TUR 4 e TUR 5 foram coletados na 1ª Série de Cordões Lagunares. Já o testemunho TUR 2 foi coletado no truncamento existente entre a 1ª e a 2ª Série de Cordões Litorâneos Lagunares, enquanto que o testemunho TUR 1 foi obtido na margem da Laguna dos Patos, na 4ª Série de Cordões. Associados a cada um dos testemunhos sedimentares foram obtidos ao menos dois perfis geofísicos que se cruzavam. Além destes perfis sobre os testemunhos foram adquiridos perfis geofísicos em áreas que apresentavam algum outro interesse.

Para uma melhor visualização e interpretação, os dados obtidos com os testemunhos sedimentares e com as perfilagens geofísicas serão apresentados conjuntamente.

Perfil 150

O radargrama obtido com o perfil 150 possui 136 m de comprimento, tendo sido adquirido com a antena de 400 MHz. Este perfil foi realizado sobre o contato existente entre os depósitos da Planície Lagunar III (Q3pl3) e a 1ª Série de Cordões Litorâneos Lagunares.

Como se pode visualizar no radargrama 150 (Fig. 26) existe uma diferença abrupta entre os dois depósitos sedimentares. No início do perfil, até a distância de 82 m, pode-se notar a baixa condutividade do meio e, conseqüentemente, a pouca penetrabilidade do pulso eletromagnético. Isto é visualizado através da carência de refletores significativos neste trecho. Apesar de haver alguns refletores, estes são rasos (até 1 m de profundidade) e, abaixo disto, percebe-se a repetição destes (múltiplas do sinal refletido). Este padrão de refletores revelado pelo radargrama é característico dos depósitos de retrobarreira associados à Barreira III, onde os sedimentos são representados por areias finas, siltico-argilosas, pobremente selecionadas, de coloração creme, com laminação plano paralela e, frequentemente, incluindo concreções carbonáticas e ferruginosas (Villwock e Tomazelli, 2006).

A partir dos 80 m nota-se uma abrupta mudança no padrão dos refletores, onde estes passam a ser mais evidentes e com profundidades mais acentuadas (até 3 m), além de possuir uma orientação oblíqua paralela. Esta mudança no padrão dos refletores determina o contato entre os dois sistemas deposicionais, dando início à 1ª Série de Cordões Litorâneos Lagunares.

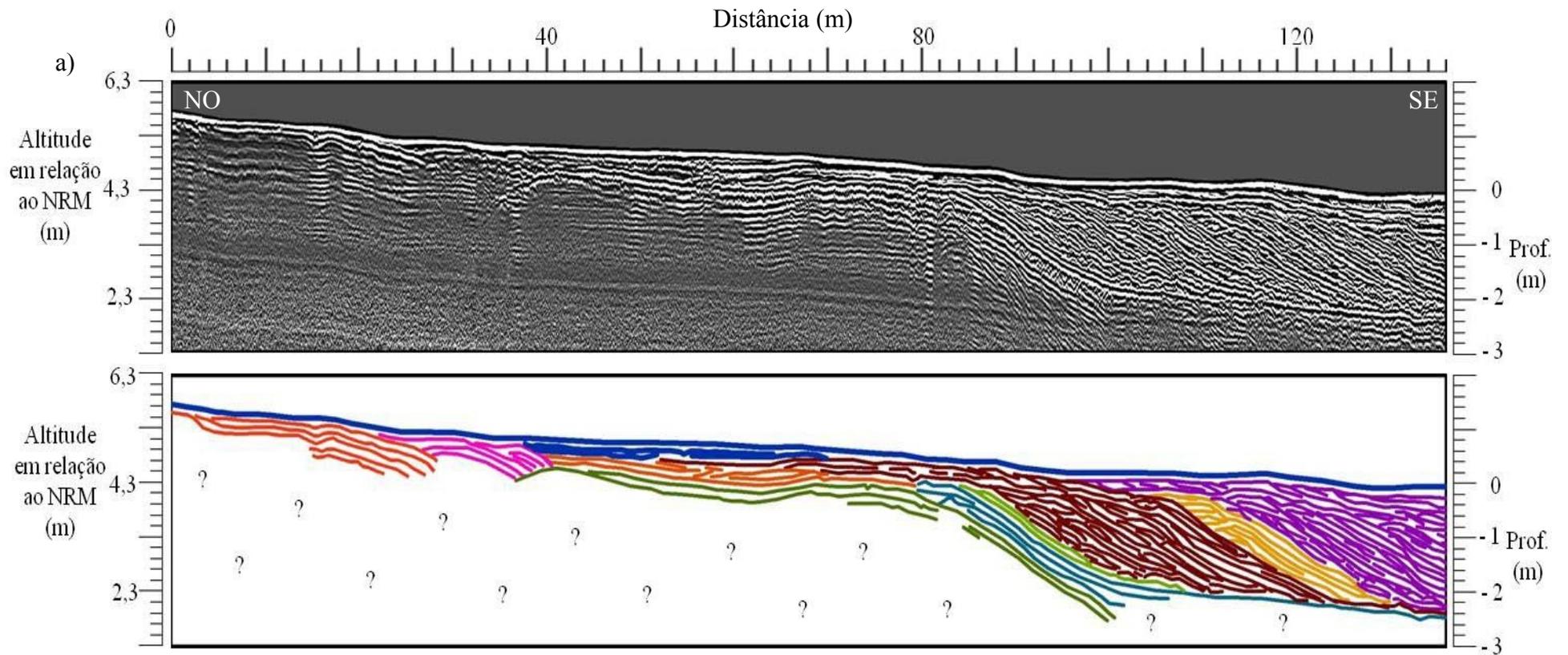
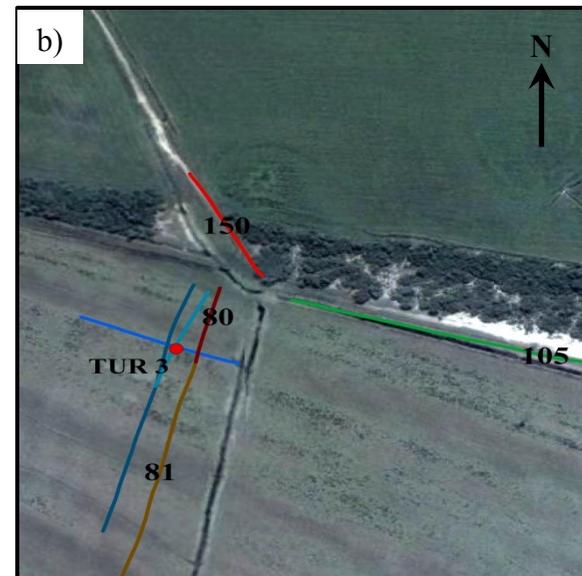


Fig. 26 - a) Radargrama 150 (NO-SE), obtido com a antena de 400 MHz. O eixo superior do radargrama apresenta o comprimento total em metros, o eixo da esquerda a altura em relação ao NRM, e o eixo da direita a profundidade; b) Traçado dos principais refletores; c) localização dos perfis geofísicos.



Perfis 80, 81 e 82

Os perfis 80, 81 e 82 são contíguos, porém foram coletados em três etapas devido às dificuldades de acesso e deslocamento. Com 72, 748 e 695 m, respectivamente, estes perfis foram adquiridos sobre a 1ª Série de Cordões Litorâneos Lagunares, tendo sido unidos em um único radargrama denominado 800, no intuito de gerar uma imagem continua deste depósito. Com um total de 1.516,53 m e tendo sido adquirido com o auxílio de um automóvel utilizando-se uma antena de 200 MHz e com rumo de norte para sul, o radargrama 800 é mostrada na figura 27.

Na parte inicial deste radargrama (de 0 a 600 m), até uma profundidade de 3 m, há uma repetição do padrão dos refletores, tendo uma relação entre estes em forma oblíqua paralelo, com ângulo de mergulho tendo pouca variação. Porém, aproximadamente a partir da distância de 600 m pode-se notar uma mudança no ângulo de mergulho dos refletores e na sua forma, passando à oblíqua sigmoidal. Esta modificação na configuração dos refletores poderia ser associada à mudança de direção na obtenção do registro, porém como pode ser visualizado no mapa da figura 27a (linha azul) e no radargrama (seta azul Fig. 27c) a mudança na direção ocorre somente na distância de 915 m, 90 m após o início do perfil 82.

Entre os 915 e os 1.050 m percebem-se refletores com uma configuração caótica, coincidentes com a cava associada à quebra na topografia. Após os 1.050 m até o final do registro os refletores passam a ter novamente a forma oblíqua sigmoidal.

Na profundidade de aproximadamente 3 m percebe-se a presença de refletores subparalelos contínuos que se estendem por toda extensão do registro. Estes refletores foram usados como parâmetro para a correção da profundidade dos radargramas, tendo como base os testemunhos sedimentares. Abaixo desta profundidade, até quase 6 m, pode-se perceber, principalmente nos 1.000 m iniciais do registro, a presença de refletores sem um padrão de forma, mas que caracterizam um depósito sedimentar diferente. A partir dos 6 m de profundidade os refletores existentes não são interpretáveis com um grau de confiança aceitável, devido à atenuação do sinal.

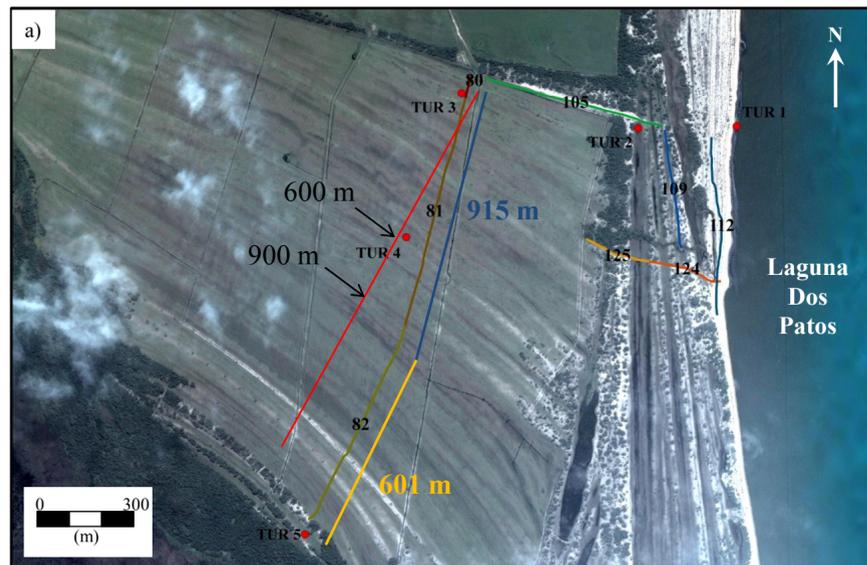
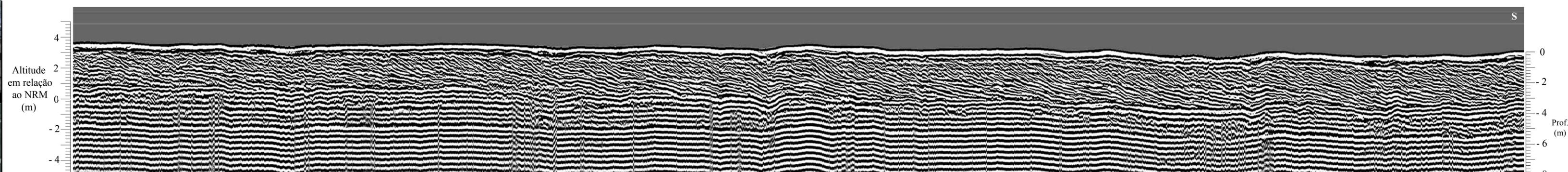
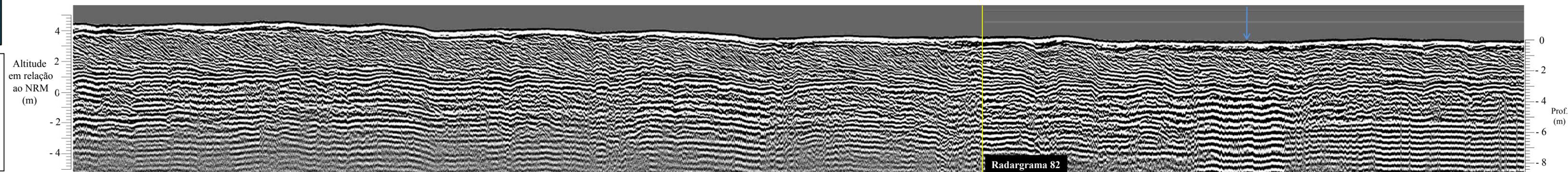
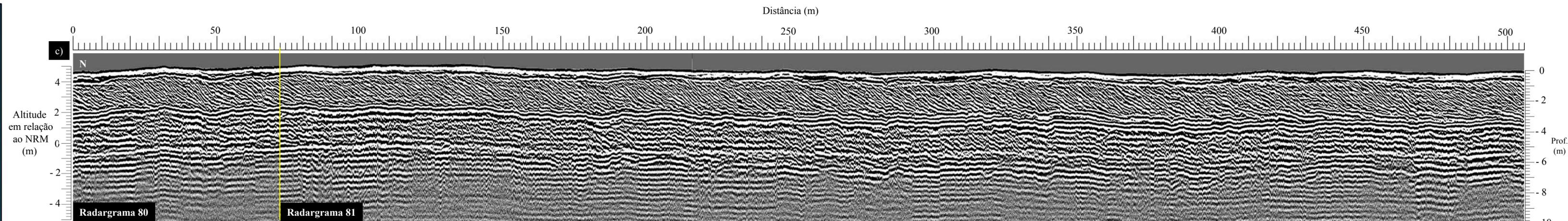
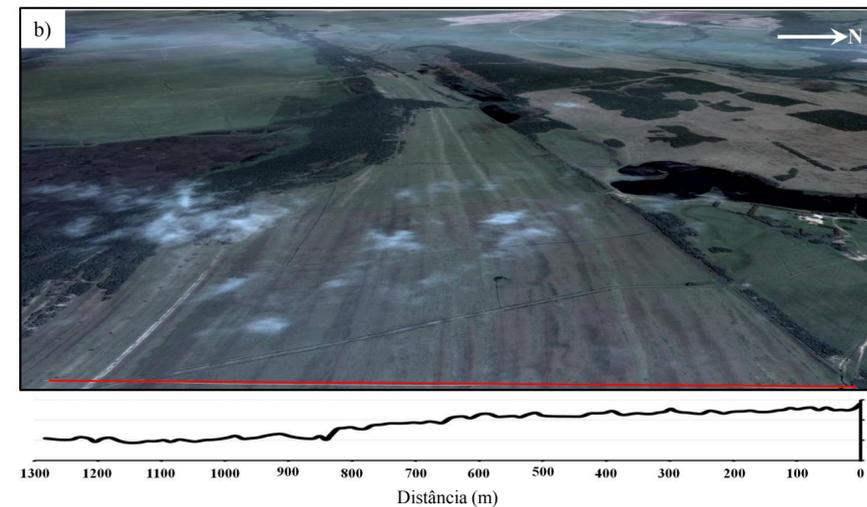


Fig. 27 - a) Mapa com a localização dos perfis geofísicos (numerados) e do perfil topográfico (linha vermelha). b) Mapa em perspectiva da localização do perfil topográfico (linha vermelha) e gráfico representando a topografia. Eixo vertical representa a altitude em relação ao NRM e o eixo horizontal representa o comprimento do perfil. c) Radargramas 80, 81 e 82 coletados com a antena de 200 MHz, unidos em um registro contínuo (Radargrama 800) que foi subdividido em três segmentos. O eixo superior deste apresenta o comprimento, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM Já o eixo à direita reproduz a profundidade dos radargramas. Todas as medidas que aparecem nas figuras estão em m. As linhas amarelas demarcam os locais da união dos perfis. A seta azul indica o ponto da mudança de direção.



TUR 3

O testemunho sedimentar TUR 3 foi coletado na cava entre a 3ª e a 4ª crista praiial, a aproximadamente 127 m do contato existente entre o terraço lagunar associado a Barreira III (Q3pl3) e a 1ª série de cristas praiiais lagunares (Fig. 28). O topo do testemunho possui uma cota de 4,19 m acima do NRM. Alcançando um total de 2,70 m de profundidade, já descompactado, o TUR 3 apresenta quatro fácies Sedimentares.

A base do testemunho sedimentar apresenta uma fácies com apenas 0,02 m de espessura, mas que se diferencia muito bem da fácies sobreposta, por ser constituída por mais de 50 %, em sua frequência simples, por cascalho. Esta fácies é muito pobremente selecionada e apresenta uma coloração cinza esverdeada.

De 2,78 a 2,35 m identificou-se uma fácies argilo-siltosa, com lentes de silte e areias finas. Sendo muito pobremente selecionada possui coloração cinza esverdeado.

Entre 2,35 e 0,60 m destaca-se uma fácies areno-cascalhosa com predomínio de areia grossa. Esta fácies intercala lentes de cascalho, areias muito grossas, areias grossas e areias médias, sendo assim pobremente selecionada. Em sua porção inferior possui coloração cinza médio gradando para o topo para tons de marrom escuro.

Na porção superior do testemunho, até 0,60 m, aparece uma fácies arenosa com predomínio de areia grossa. Moderadamente selecionada, esta fácies apresenta, ainda, areias muito grossas e cascalho. Possui uma coloração marrom escura no topo, atribuída à presença de matéria orgânica (M.O.) associada aos processos de pedogênese.

Perfil 88

O radargrama 88 (Fig. 28) possui 237 m de extensão, tendo sido adquirido com uma antena de 200 MHz com direção Norte-Sul. Este perfil foi realizado paralelo ao perfil 89.

Perfil 89

O radargrama 89 (Fig. 28) tem uma extensão de 95 m e foi obtido com uma antena de 200 MHz tendo sentido de Norte para Sul, este radargrama foi obtido sobre o local de amostragem do testemunho TUR 3.

Entre 0,40 e 3,50 m de profundidade em toda sua extensão o radargrama 89 apresenta refletores com forma oblíqua paralela.

Perfil 90

O radargrama 90 (Fig. 28) possui 119 m de extensão tendo sido coletado com uma antena de 200 MHz com orientação de Oeste para Leste. Este perfil foi obtido em sentido paralelo a 3ª cava do depósito sedimentar.

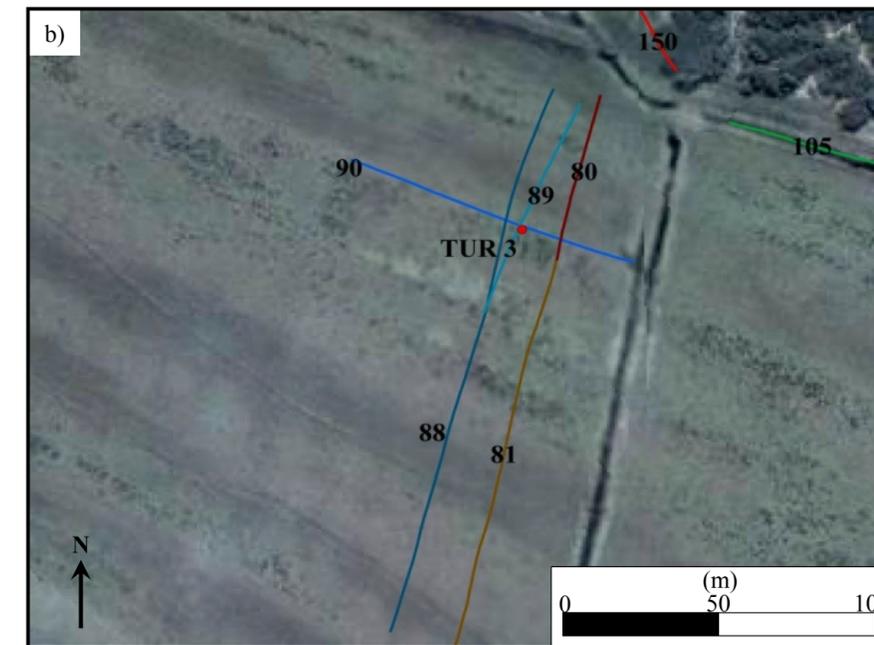
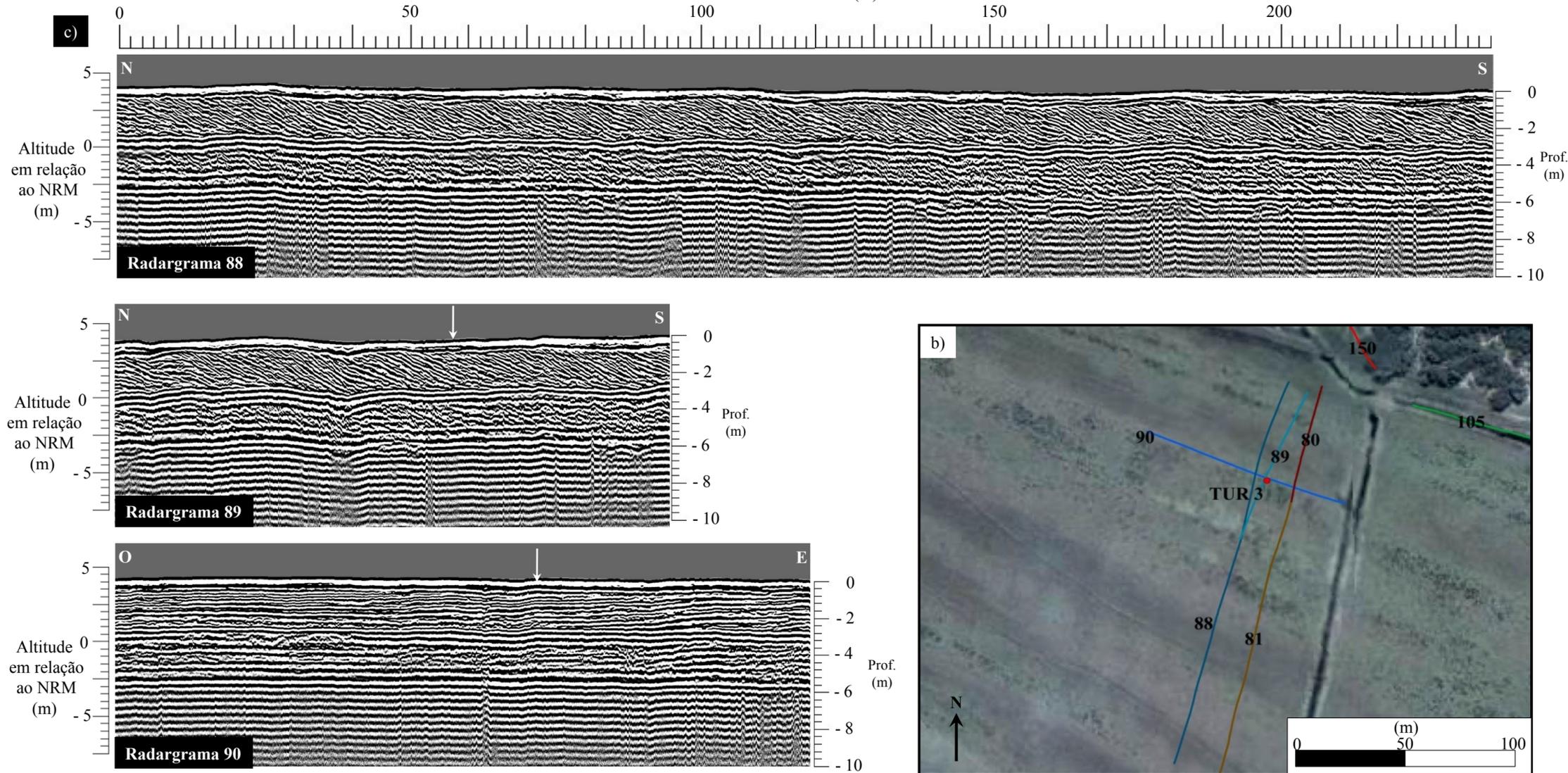
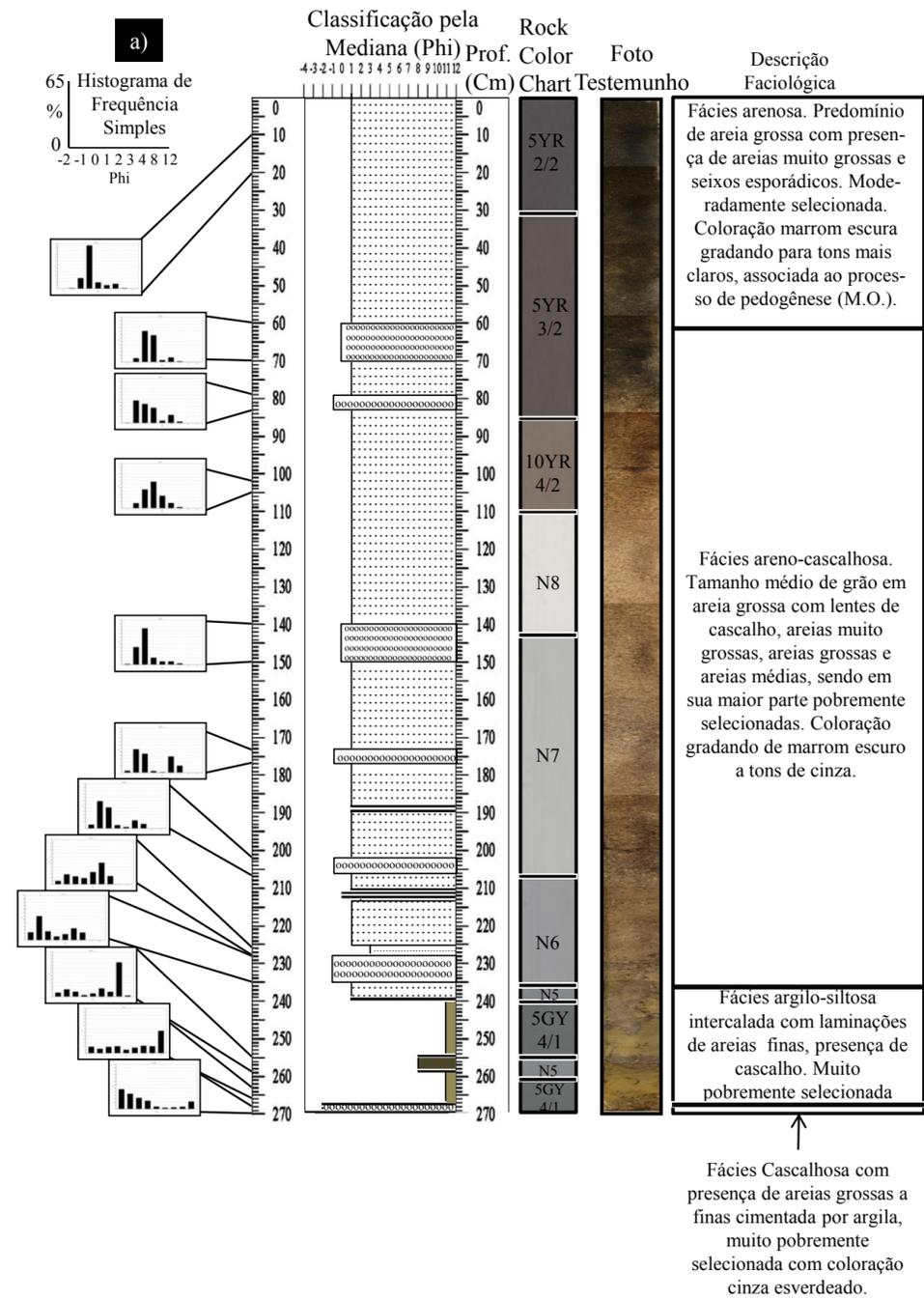


Fig. 28 - a) Testemunho sedimentar TUR 3. **b)** Mapa de localização do testemunho e dos perfis geofísicos. **c)** radargramas 88, 89 e 90, obtidos com a antena de 200 MHZ. O eixo superior dos radargramas apresenta o distância total do perfil, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo à direita reproduz a profundidade dos radargramas. As setas indicam a localização do testemunho.

TUR 4

O testemunho sedimentar TUR 4 foi coletado na 13ª cava da 1ª série de cristas e praias lagunares. Seu topo está a 4,12 m acima do NRM e atingiu uma profundidade de 2,80 m., já descompactado. Tendo sido coletado a 615 m do contato entre os dois depósitos sedimentares, o TUR 4 encontra-se próximo ao fim da primeira metade desta série (Fig. 29).

Apesar deste testemunho ter sido coletado próximo e ter atingido uma profundidade maior que o TUR 3, foram identificadas apenas três fácies sedimentares, provavelmente não atingindo a profundidade da fácies mais basal do TUR 3.

Partindo da base até uma profundidade de 2,72 m identifica-se uma fácies areno-argilosa, com tamanho médio de grão em silte, sendo extremamente mal selecionada e com coloração cinza esverdeado.

Da profundidade de 2,72 m até 1,04 m destaca-se uma fácies arenosa com tamanho médio de grão em areia muito grossa. Possui lentes de areias grossas, areias médias e silte. Destacam-se ainda a alternância de horizontes com granocrescência e granodecrescência. Pobremente a muito pobremente selecionada, esta fácies possui coloração marrom claro em sua porção superior gradando para tons de cinza na parte inferior.

Do topo até a profundidade de 1,04 m identifica-se uma fácies arenosa com as mesmas características da fácies do topo do testemunho TUR 3. Com tamanho médio de grão em areia grossa e sendo moderadamente a bem selecionada, possui coloração marrom escura no topo, atribuída à presença de matéria orgânica (M.O.) associada aos processos de pedogênese.

Perfil 100 e 101

Os perfis 100 e 101 são contíguos, porém foram coletados em duas etapas. Com 94 e 57 m, respectivamente, estes dois perfis foram unidos no intuito de gerar uma imagem contínua. Totalizando 151 m estes radargramas foram adquiridos com a antena de 400 MHz (Fig. 29) de Nordeste para Sudoeste.

Perfil 102

O perfil 102 (Fig. 29) possui 130 m de extensão, tendo sido obtido com a antena de 400 MHz em sentido paralelo as cristas da 1ª Série de Cordões Litorâneos Lagunares (Fig. 29) de Noroeste para Sudeste.

Perfil 103

O radargrama 103 (Fig. 29) possui 210 m de extensão, tendo sido obtido com a antena de 200 MHz sobre os perfis 100 e 101.

Perfil 104

O radargrama 104 (Fig. 29) possui 145 m de extensão, tendo sido obtido com a antena de 200 MHz em sentido paralelo as cristas da 1ª Série de Cordões Litorâneos Lagunares sobre o perfil 102.

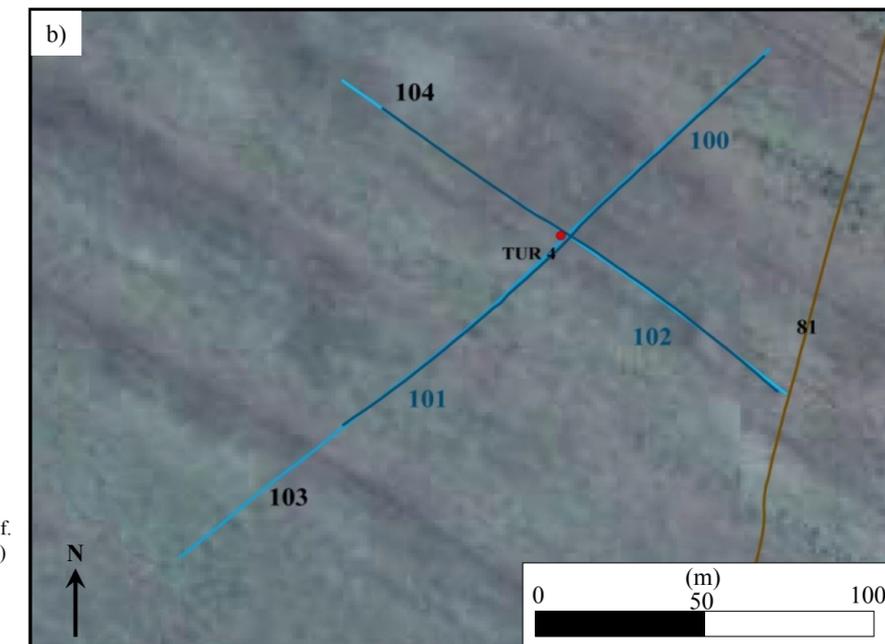
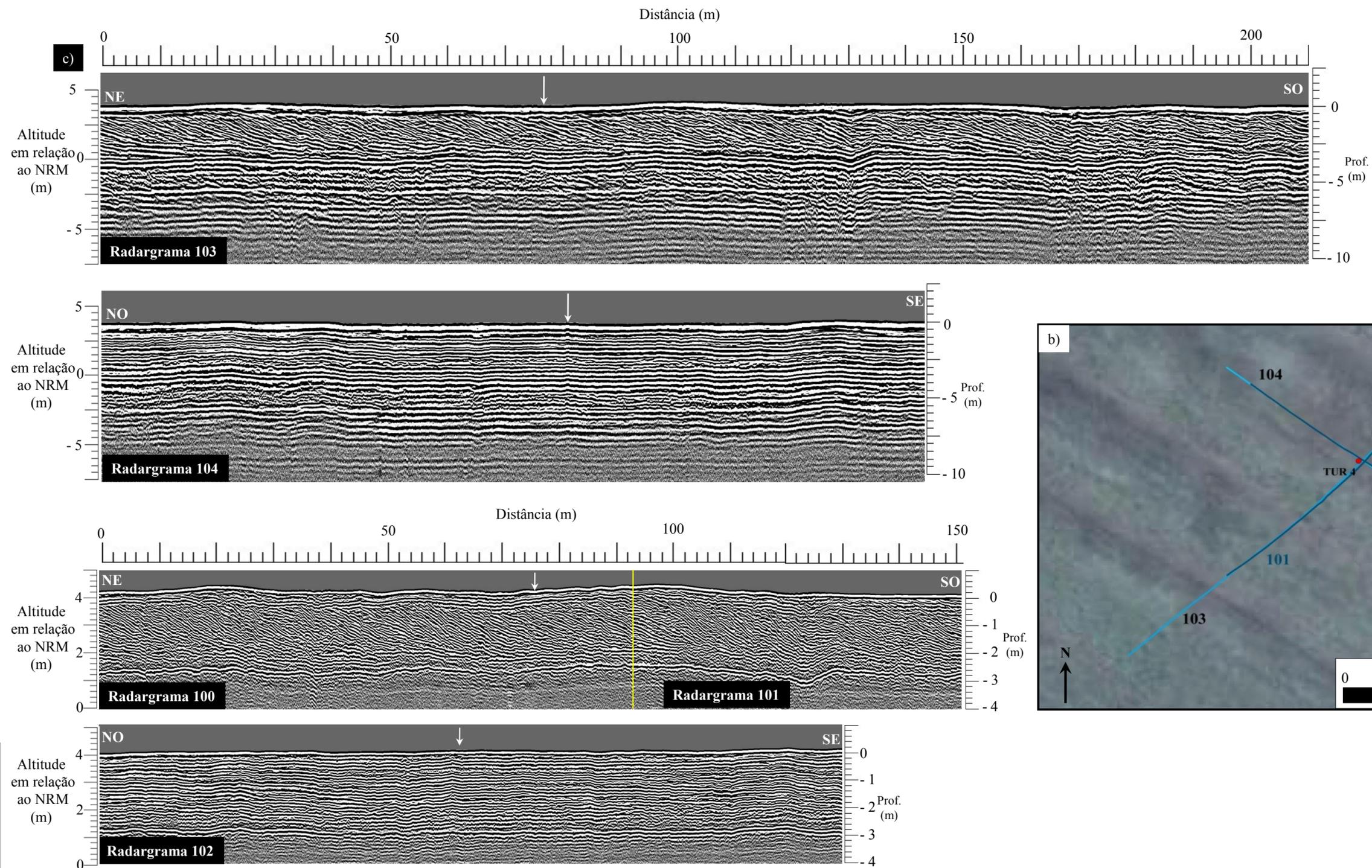
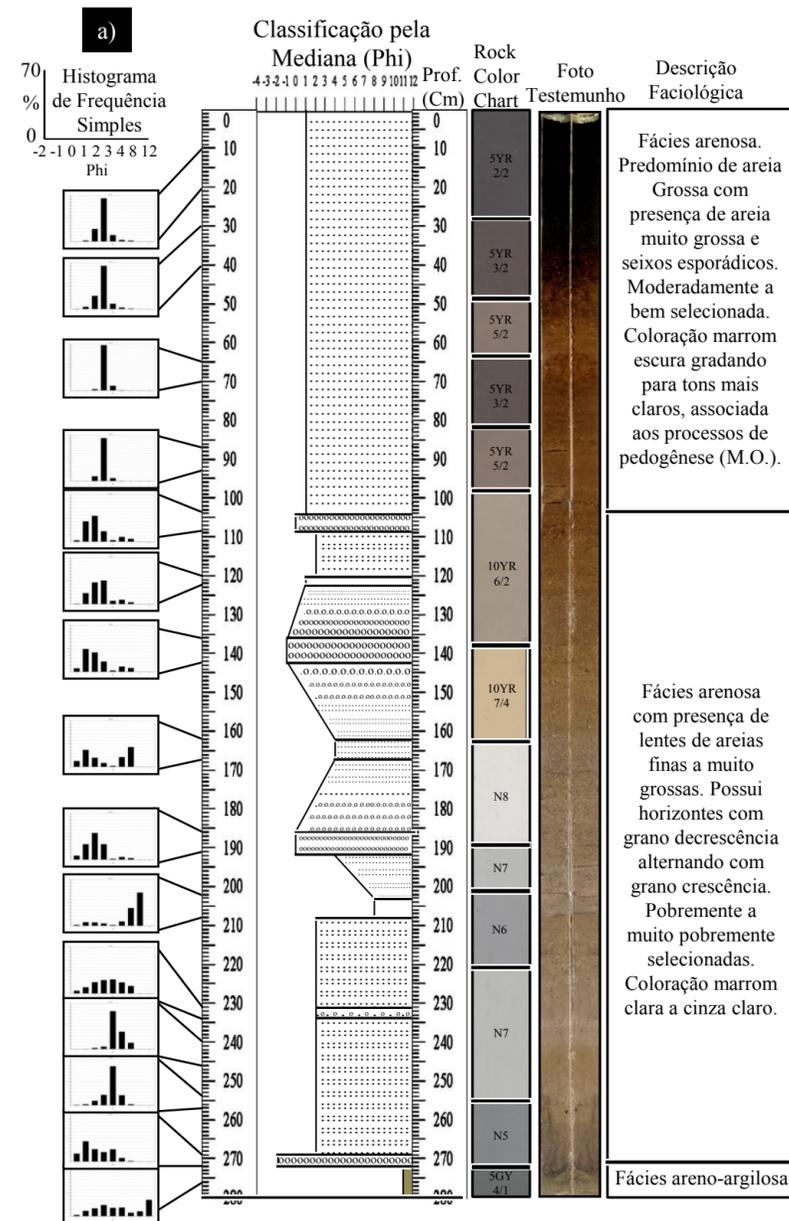


Fig. 29 - a) Descrição faciológica do testemunho sedimentar TUR 4. **b)** Mapa de localização do testemunho sedimentar e dos perfis geofísicos. **c)** Radargramas 103 e 104 com a antena de 200 MHz e 100, 101 e 102 com antena de 400 MHz. O eixo superior dos radargramas apresenta o comprimento total do perfil, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo à direita reproduz a profundidade dos radargramas. A seta indica a localização do testemunho sedimentar.

TUR 5

O testemunho sedimentar TUR 5 (Fig. 30) possui 2,66 m de profundidade, já descompactado, e com uma cota de 2,91 m em relação ao NRM. Foi coletado na 32ª cava da 1ª série de cordões litorâneos lagunares, praticamente no fim deste depósito.

Iniciando-se pela base até uma profundidade de 2,22 m, destaca-se uma fácies arenosiltosa, tendo em sua porção basal um predomínio de silte, porém sendo muito pobremente selecionada. Já na porção central da fácies há um predomínio de areia média com lentes de areia fina. No topo desta fácies a seleção é extremamente mal selecionada, com superioridade do tamanho de grão em silte. Com uma coloração cinza-esverdeado, esta fácies ainda apresenta pequenas lentes de areia com presença de matéria orgânica.

Da profundidade de 2,22 até 1,24 m identifica-se uma fácies arenosa com tamanho médio de grão em areia grossa. Apresenta horizontes de granodecrescência e lentes alternadas de areias bem, moderada e pobremente selecionadas. Na porção superior a fácies possui coloração marrom claro passando a tons de cinza, gradando de claro a escuro. Nota-se a presença de matéria orgânica na porção basal da fácies.

Do topo até a profundidade de 1,24 m observa-se uma fácies arenosa, semelhante à encontrada nos s testemunhos TUR 3 e TUR 4, mas apresentando uma espessura maior. Com tamanho médio de grão em areia grossa apresenta uma classificação variando de moderado à pobremente selecionada. Mostra uma coloração marrom escura no topo, atribuída à presença de matéria orgânica (M.O.), associada aos processos de pedogênese.

Perfil 83

O radargrama 83 (Fig. 30) possui 61 m, tendo sido obtido com uma antena de 200 MHz em sentido de NE para SO.

Perfil 84

O radargrama 84 (Fig. 30) possui 115 m, tendo sido obtido com uma antena de 200 MHz em sentido de NO para SE.

Perfil 85

O radargrama 85 (Fig. 30) possui 35 m, tendo sido obtido com uma antena de 200 MHz em sentido de NE para SO.

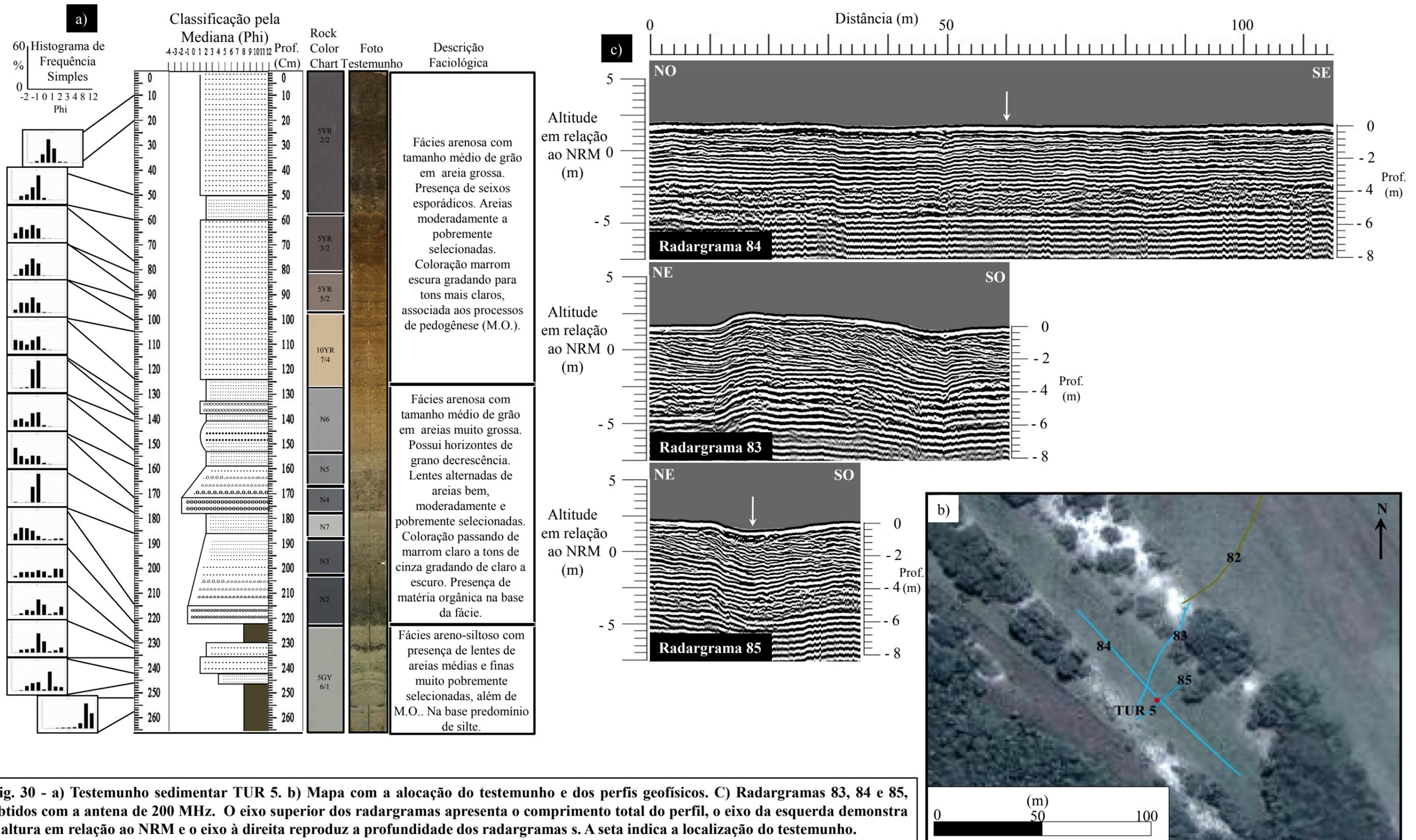


Fig. 30 - a) Testemunho sedimentar TUR 5. b) Mapa com a alocação do testemunho e dos perfis geofísicos. C) Radargramas 83, 84 e 85, obtidos com a antena de 200 MHz. O eixo superior dos radargramas apresenta o comprimento total do perfil, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo à direita reproduz a profundidade dos radargramas. A seta indica a localização do testemunho.

Perfil 105

O radargrama 105 possui 572m de extensão, tendo sido obtido com a antena de 400 MHz. Levantado paralelamente à segunda crista da 1º série de cordões, este radargrama é marcado por apresentar refletores paralelos e subparalelos em sua maior parte (Fig. 31a). A partir dos 430 m de comprimento pode-se perceber uma mudança abrupta dos refletores, exibindo o truncamento existente entre a 1º série de cordões litorâneos e a 2º série. Deste ponto até o seu final, o radargrama apresenta refletores com um mergulho oblíquo tangencial, passando a oblíquo paralelo, intercalado por refletores terminados em “onlap”.

Outro conjunto de refletores que se destaca neste último setor do radargrama 105 é aquele que se encontra nos primeiros 0,75 m de profundidade, onde há uma similaridade nas terminações, tanto em “toplap” quanto em “downlap”. Estes refletores podem estar associados a um evento deposicional posterior à formação das primeiras cristas dos cordões litorâneos desta série. Possivelmente, o sedimento depositado sobre este trecho seja proveniente da 1º série, onde este sedimento pode ter sido carregado pelo fluxo de animais e veículos através do caminho existente no local.

A topografia do terreno entre 430 e 490 m, marcando a primeira crista desta série, possui um desnível de 1 m, determinando um ângulo suave entre as duas séries. Porém, isto não é evidenciado ao longo do truncamento, onde se verifica um desnível muito superior a este, aproximadamente, 1 m em 20 m de distância. Isto pode ser evidenciado no radargrama 108 (Fig. 35).

Entre os 487 e os 505 m do registro existe um rebaixamento do relevo e também refletores (até 0,6 m) com forma côncava arqueados para cima que podem ser correlacionados com a cava (swale) adjacente ao 1º cordão desta série. Logo à frente, entre 534 e 552 m, este padrão de refletores se repete, porém a topografia é plana, possivelmente devido ao preenchimento por sedimentos deslocados da 1º série de cordões.

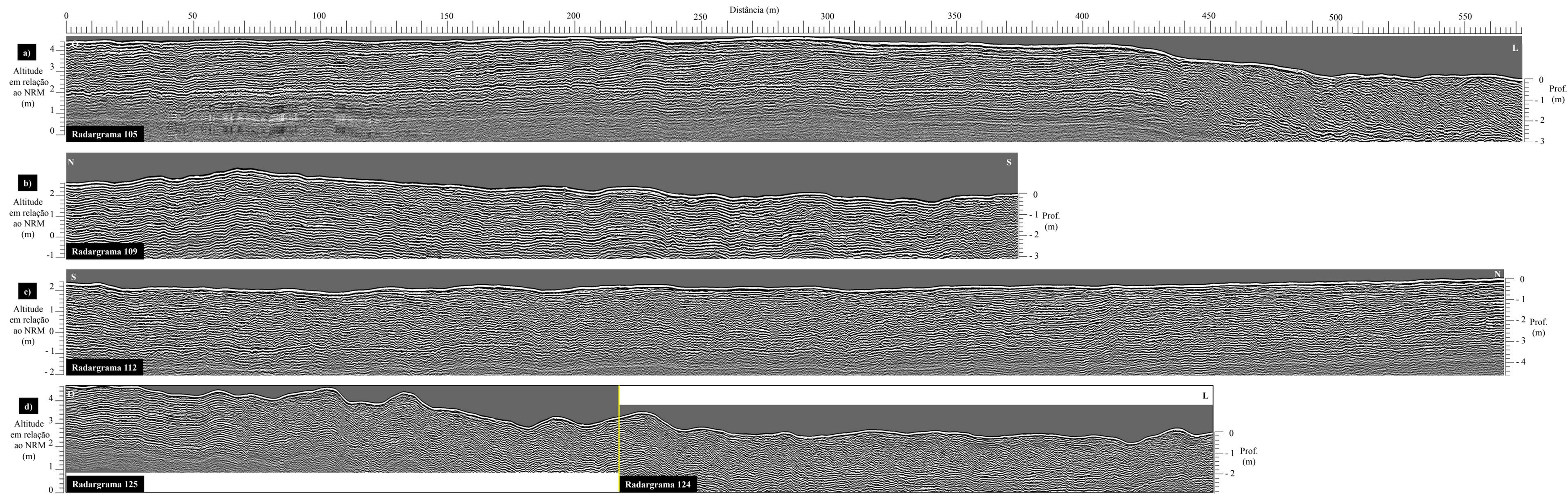


Fig. 31 a) Radargrama 105; b) Radargrama 109; c) Radargrama 112; d) Radargramas 124 e 125 (unidos sob a linha amarela); O eixo superior representa o comprimento do perfil, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo a direita reproduz a profundidade dos radargramas.

Perfil 109

O radargrama obtido no perfil 109 (Fig. 31b) apresenta 374 m de comprimento com sentido de norte para sul. Obtido paralelo sobre uma das cavas da 2ª série de cordões litorâneos, este radargrama, assim como os demais radargramas obtidos desta maneira, não apresenta refletores de grande importância para a interpretação do depósito sedimentar.

No entanto, neste radargrama pode-se salientar a elevação da topografia entre os 60 e 80 m do registro. Esta elevação do terreno não é vista no local, podendo estar associada a uma falha na aquisição do DGPS e, conseqüentemente, na correção topográfica realizada.

Perfil 112

Este perfil foi realizado sobre a série atual de cordões litorâneos, percorrendo 566 m no sentido de sul para norte, com a antena de 400 MHz (Fig. 31c).

Como destacado antes, a obtenção de perfis no sentido perpendicular ao posicionamento do ângulo de mergulho do depósito gera, quase sempre, refletores paralelos ou subparalelos.

No entanto, este radargrama possui algumas peculiaridades. Como descrito anteriormente o perfil foi adquirido sobre a série atual de cordões Litorâneos, porém a trajetória não pode ser retilínea devido às características do ambiente. Os primeiros 150 m foram obtidos sobre a crista mais a leste do depósito, ou seja, na crista que ainda encontra-se em formação. A partir deste ponto, existem duas cristas já formadas a leste desta, no qual a linha de costa se encontra a 33 m (Fig. 32, seta laranja).

Dos 160 aos 235 m houve uma inflexão para leste mudando a trajetória para a crista conseqüente a esta. Está mudança na trajetória pode ser visualizada na Figura 32, indicada pela “chave laranja”, e no radargrama 112 (Fig. 31c) pela presença de refletores entre 0,60 e 1,20 m de profundidade que apresentam uma configuração caótica. Ocorreram mais duas mudanças na trajetória (entre 290 e 310 m e entre 400 e 420 m, indicado pelas setas azuis, Fig. 32), no entanto foi para oeste, no qual os refletores associados começam plano paralelos e passam a apresentar uma inclinação ascendente com terminações em “toplap”.



Fig. 32 – A linha vermelha ilustra o perfil 112. A seta laranja indica a distância de 150 m; a “chave laranja” indica a mudança de crista para leste; as setas azuis indicam a mudança de direção para oeste.

Perfis 124 e 125

Os Radargramas 124 e 125 são contíguos, porém foram coletados em duas etapas devido às dificuldades imposta pelo ambiente. Com um total de 453 m e tendo sido adquirido com o auxílio de um veículo e com rumo de Leste para Oeste, com a antena de 400 MHz, estes radargramas explicitam os três contatos existentes entre as quatro séries de cordões.

Pode-se notar, na Figura 31d, nos primeiros 70 m do registro, a presença de refletores plano paralelos pertencentes à 1ª série de cordões litorâneos, onde estes refletores são resultantes da orientação de deposição diferente das demais séries, assim como apresentado nos radargramas 84, 90, 102, 104 e 105, no qual a aquisição dos radargramas, em sentido paralelo as cristas ou cavas, revela este tipo de refletores.

A partir dos 70 m percebe-se um refletor oblíquo em forma de cunha descendente, iniciando a 0,10 m da superfície até uma profundidade de 2,5 m. Este refletor marca o limite do processo erosivo e, conseqüentemente, o início de um sistema deposicional com orientação diferente da 1ª série. Com terminações em “onlap” e apresentando uma geometria quase caótica, os refletores sobrepostos a este refletor oblíquo, marcam o truncamento entre as duas

primeiras séries e a formação da 1^o crista da 2^o série de cordões litorâneos lagunares (linha azul, Fig. 33).

Entre os 70 e os 140 m salientam-se as duas primeiras cristas pertencentes a 2^o série de cordões litorâneos. Os refletores destas sofreram distorções, provavelmente durante a correção topográfica, ou ainda estas distorções podem ter sido geradas no momento da aquisição, devido às irregularidades do terreno que provocaram uma variação na velocidade do veículo.

O contato existente entre a 2^o e a 3^o série de cordões litorâneos deveria ser visualizado no radargrama 125 entre os 140 e 150 m de seu início, utilizando-se como base a imagem de satélite do Software Google Earth (linha laranja, Fig. 33). Entretanto este truncamento não é destacado por um refletor ou por um conjunto de refletores representativos.

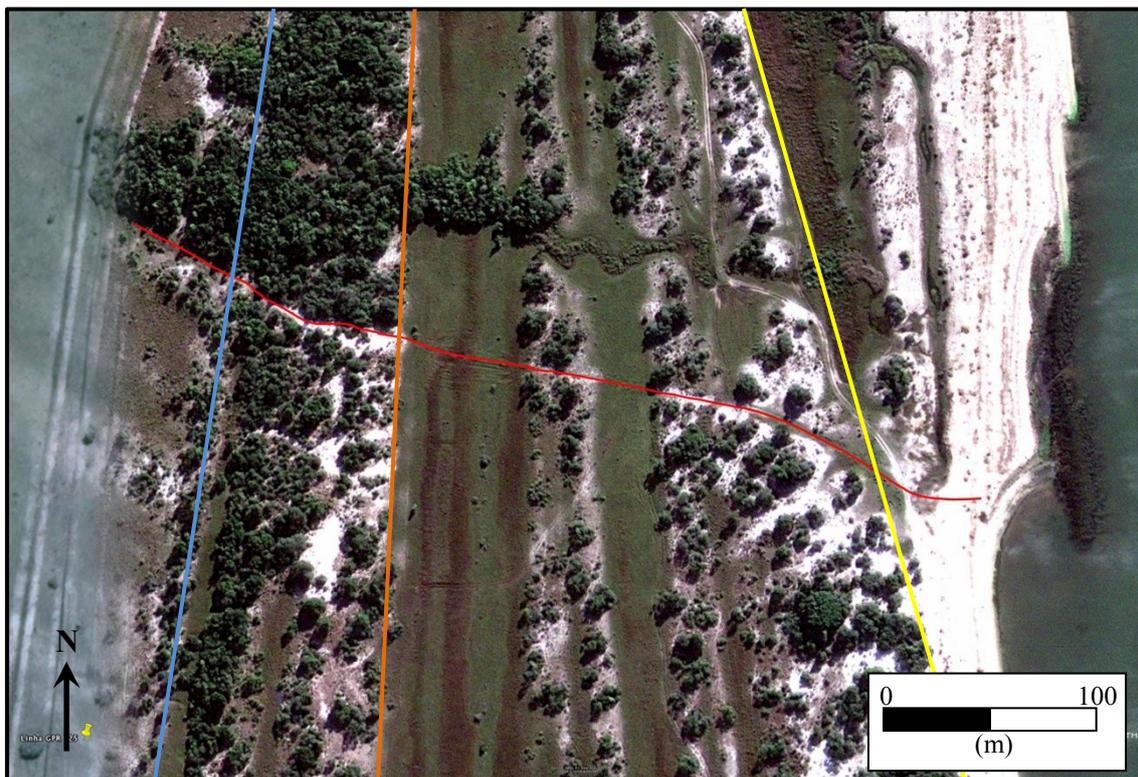


Fig. 33 – A linha vermelha indica os perfis 124 e 125; a linha azul demonstra o possível local do contato entre a 1^o e a 2^o série de cordões; Linha laranja demonstra o possível local do contato entre a 2^o e a 3^o série; e a linha azul demonstra o possível local do contato entre a 3^o e a 4^o série.

No trecho entre 320 e 380 m do radargrama 124 percebe-se uma leve mudança no ângulo de mergulho dos refletores oblíquos, passando a ter uma inclinação mais suave. Isto pode ser atribuído à curva realizada na aquisição do perfil.

A partir dos 380 m até os 410 m nota-se um conjunto de refletores com configuração caótica demarcando o contato existente entre a 3ª e a série atual de cordões litorâneos (linha amarela, Fig. 33).

Entre o intervalo 434 e 448 m, até uma profundidade de 0,60 m, percebe-se a presença de refletores com uma configuração oblíqua paralela e com terminações em “downlap” apresentando mergulho inverso ao dos refletores que caracterizam os cordões litorâneos. Este conjunto de refletores pode ser atribuído a um processo de “washover”.

TUR 2

O testemunho sedimentar TUR 2 possui 3,17 m de profundidade, já descompactado, tendo sido adquirido na cava adjacente ao contato entre a 2º e a 3º série de cordões litorâneos (Fig. 34), a uma cota de 2,74 m em relação ao NRM.

Iniciando-se pela base até 2,80 m pode-se diferenciar uma fácies areno-siltosa com coloração gradando de cinza claro para tons de marrom claro. Esta fácies apresenta intercalações de lentes de areias variando de grossas a finas e silte. Além disso, pode-se perceber a presença de concreções ferruginosas na base e bolsões de areias grossas entre as lentes de areias médias a finas.

De 2,80 m até a profundidade de 2,15 m uma fácies arenosa pode ser diferenciada. Apresenta lentes de areias finas, areias médias e areias grossas, sendo de bem a pobremente selecionada. Coloração em tons de cinza. Apresenta ainda lentes de minerais pesados.

Da profundidade de 2,15 subindo até 1,10 m observa-se outra fácies arenosa com predomínio de areias grossas. Possui lentes de areias muito grossas, extremamente mal selecionadas, com lentes de areias médias e finas moderadamente selecionadas. Coloração marrom escuro na porção superior da fácies gradando para tons de cinza no meio da fácies, destacando-se uma coloração marrom claro na base.

De 1,10 até 0,50 m destaca-se uma fácies arenosa com intercalações de lentes de areias médias a grossas. De moderadamente a pobremente selecionadas. Coloração marrom escura gradando para tons mais claros. Presença de minerais pesados.

Do topo até a profundidade de 0,50 m percebe-se uma fácies arenosa com areias médias e grossas pobremente selecionadas. Coloração marrom escura no topo, atribuído a presença de matéria orgânica (M.O.) associada aos processos de pedogênese.

Perfil 106

O radargrama 106 foi obtido sobre o ponto de coleta do testemunho sedimentar TUR 2, no intuito de visualizar o depósito sedimentar no qual este testemunho está inserido. Este perfil possui 60 m de extensão, tendo sido amostrado de oeste para leste com uma antena de 400 MHz (Fig. 34).

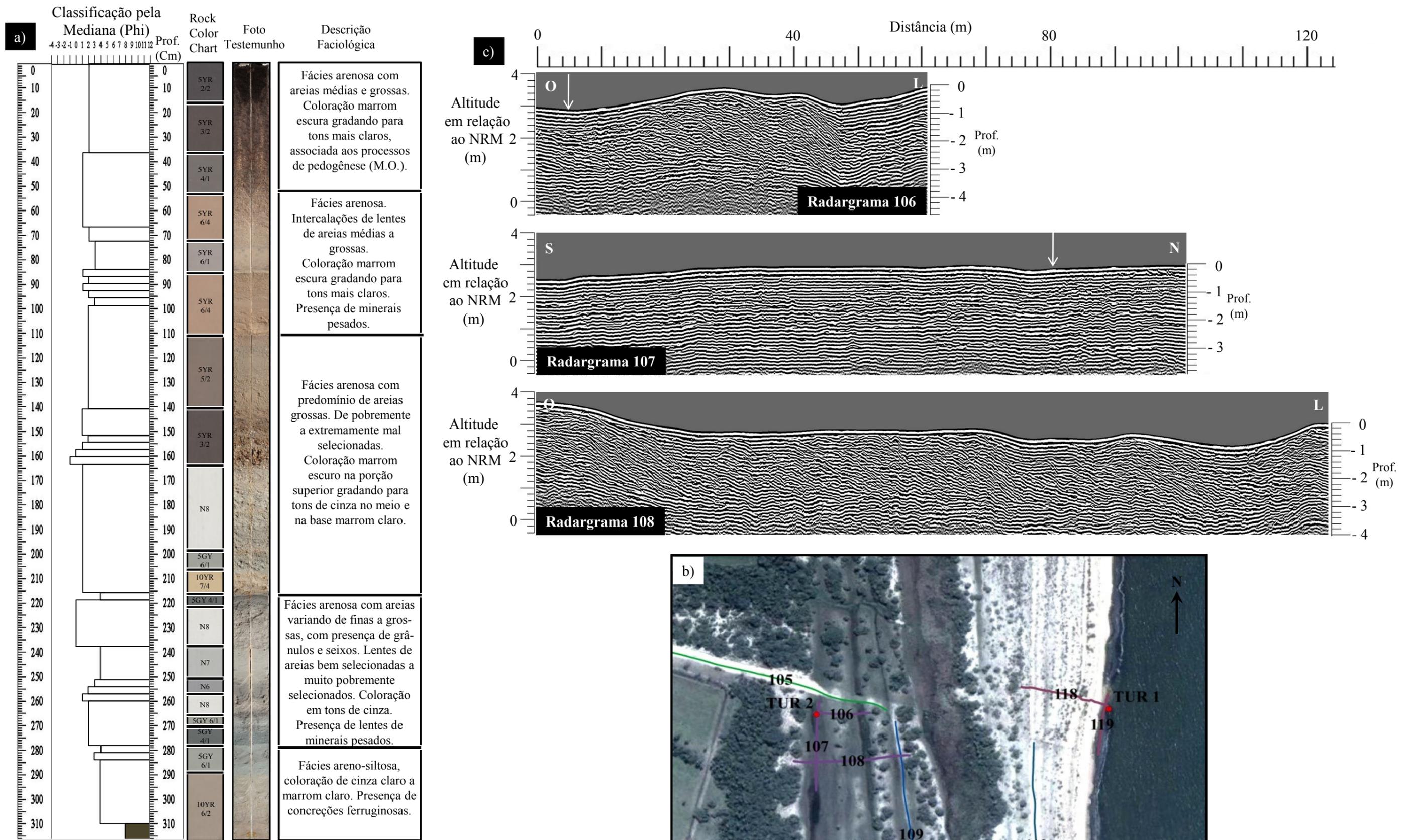


Fig. 34 a) Testemunho sedimentar TUR 2. b) Mapa com a localização do testemunho e dos perfis geofísicos. c) Radargramas 106, 107 e 108 com a antena de 400 MHz. O eixo superior dos radargramas apresenta o comprimento total do perfil, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo à direita reproduz a profundidade dos radargramas. A seta indica a localização do testemunho sedimentar.

Este radargrama revela um conjunto de refletores plano-paralelos na porção superior (até 0,50 m) dos primeiros 20 m do registro. Este depósito é associado ao preenchimento da cava existente entre as duas primeiras cristas de praias lagunares. Abaixo deste conjunto de refletores, até a profundidade de 1,50 m, existe um grupo de refletores oblíquos paralelos que representam a primeira linha de praia da 3ª série de cordões litorâneos lagunares.

A porção final do registro (dos 44 até os 60 m) exhibe uma sequência de refletores que possivelmente sofreram algum tipo de distorção, provavelmente devido à correção topográfica, dificultando a interpretação.

Perfil 107

O radargrama 107 possui 101 m de extensão tendo sido obtido também sobre o ponto do testemunho sedimentar TUR 2, porém em sentido perpendicular ao radargrama 106, de sul para norte, utilizando-se a antena de 400 MHz (Fig. 34).

Neste radargrama destaca-se apenas a repetição dos refletores plano paralelos em toda sua extensão, onde isso pode ser relacionado ao fato de que o depósito possui um mergulho com orientação perpendicular ao registro.

Perfil 108

O radargrama 108 (Fig. 34) possui 123 m de comprimento e foi adquirido com a antena de 400 MHz em sentido paralelo ao perfil 105 e 106, com o intuito de ilustrar a diferença acentuada na topografia sobre o contato entre as duas séries de cordões, no qual o perfil 105 apresenta uma pendente suave, provavelmente, devido à remobilização de sedimento pelo trânsito existente neste local. Já por outro lado, no perfil 108 a pendente é muito mais abrupta. O perfil 106 não contempla essa diferença pelo fato de não ter sido possível abranger toda a extensão do contato entre as séries.

Neste perfil, assim como no perfil 106, pode-se salientar a forma plano paralela dos refletores superficiais, onde estes podem ser associados ao processo de assoreamento de um pequeno corpo lagunar que existia entre as duas primeiras cristas dos cordões litorâneos da 2ª Série. Esta mesma sequência de refletores pode ser vista nas duas cavas existentes na porção final do registro.

TUR 1

O testemunho sedimentar TUR 1 foi coletado às margens da Laguna dos Patos (Fig. 35) com o intuito de observar o desenvolvimento atual do depósito sedimentar Cristas e Praias Lagunares (Q4pc4). Com 2,66 m de profundidade e estando em uma cota (0,30 m) este testemunho apresenta 4 fácies.

Partindo da base até a profundidade de 2,15 m percebe-se uma fácies siltosa. Esta apresenta lentes de silte e de areias finas a médias com diferenças de coloração. Sendo caracterizada na base por uma coloração cinza médio intercalada por uma lente de cor amarelo. Logo acima desta, entre 2,52 e 2,35 m, destaca-se uma camada com coloração cinza escuro associada à presença de matéria orgânica (M.O.), sendo que desta camada foi retirada uma amostra para datação de radiocarbono pelo método de Espectrometria de Massa com Aceleradores (Accelerator Mass Spectrometry – MAS), tendo sido verificado uma idade de 29.430 ± 160 anos passados (AP). A interface desta camada com a camada de cima (2,35 m profundidade) é marcada por apresentar uma coloração amarelo oxidado. A camada superior desta fácies apresenta a mesma coloração da camada inferior, cinza médio, apresentando lentes com tons amarelo claro.

Da profundidade de 2,15 até 1,15 m identificou-se uma fácies arenosa com predomínio de areias médias, apresentando lentes de areias finas e de grânulos, sendo moderadamente a muito pobremente selecionadas. Índícios de bioturbação. Coloração no topo variando de cinza escuro a clara no meio da face. No meio desta face tons mais amarelados passando a marrons. Na base lente de grânulos de cor amarelo oxidado.

Entre 1,15 e 0,37 m destaca-se uma fácies arenosa com predomínio de areias finas. Apresenta lentes de areias muito finas e areias muito grossas, moderadamente selecionadas. Demonstra indícios de raízes e bioturbação. Coloração cinza clara gradando para tons mais escuros.

Do topo até a profundidade de 0,37 m percebe-se a presença de uma fácies arenosa, tendo areias grossas intercaladas por lentes de areias médias e muito grossas, apresentando ainda grânulos e seixos. Com uma seleção extremamente pobre possui coloração marrom clara no topo passando à cinza.

Perfil 118

O radargrama 118 possui 101 m de comprimento, tendo sido adquirido com a antena de 400 MHz. Este perfil foi obtido perpendicular à margem atual da Laguna dos Patos com direção de oeste para leste (Fig. 35).

Neste radargrama percebe-se a presença de três cristas bem definidas, porém a correção topográfica causou algumas distorções nos refletores da 1º (na margem) e da 3º crista, prejudicando a interpretação do registro. No entanto, aparentemente, a parte central do registro não sofreu estas alterações.

O refletor contínuo oblíquo que parte dos primeiros centímetros de profundidade na distância de 20 m e se estende até os 40 m na profundidade de 2 m pode ser associado a uma “Paleo-praia” Lagunar. Sobrepostos a este refletor se destacam uma sequência de refletores oblíquo paralelos, que estão sob um outro grupo de refletores, com orientação quase plano paralelos, no qual estes últimos podem ser associados a processos de sobrelavagem (overwash).

Perfil 119

O radargrama 119 possui 69 m de comprimento, tendo sido adquirido com a antena de 400 MHz. Este perfil foi obtido paralelo à margem atual da Laguna dos Patos com direção de Sul para Norte (Fig. 35).

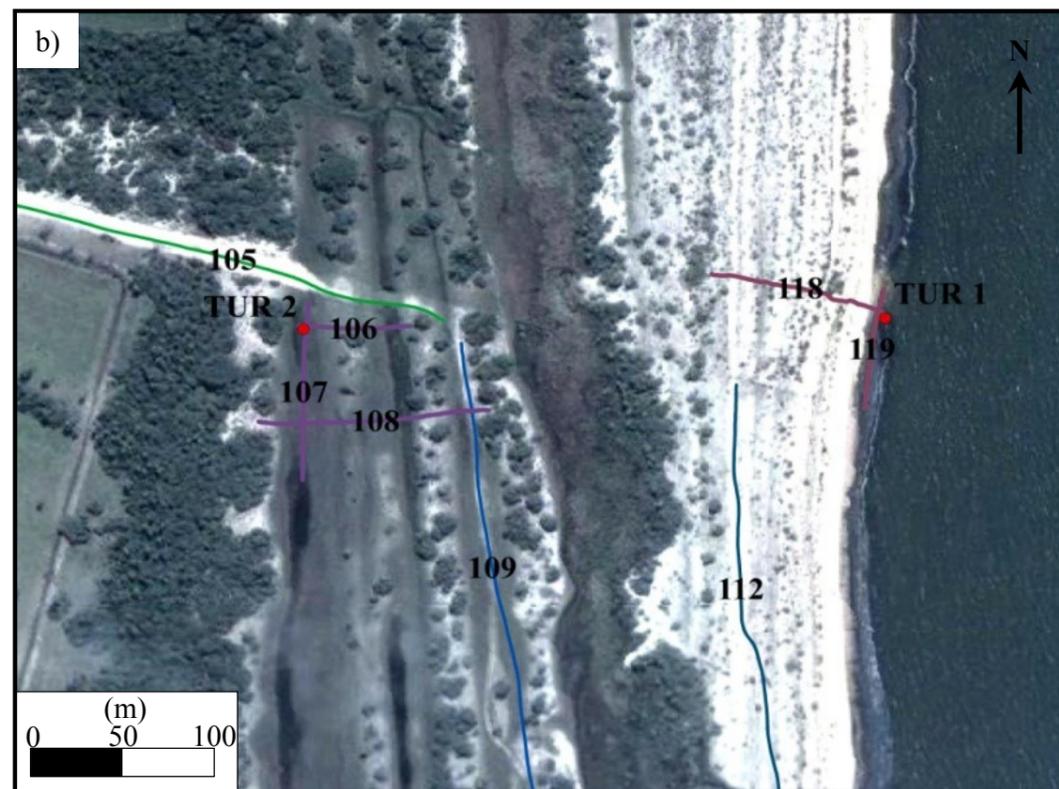
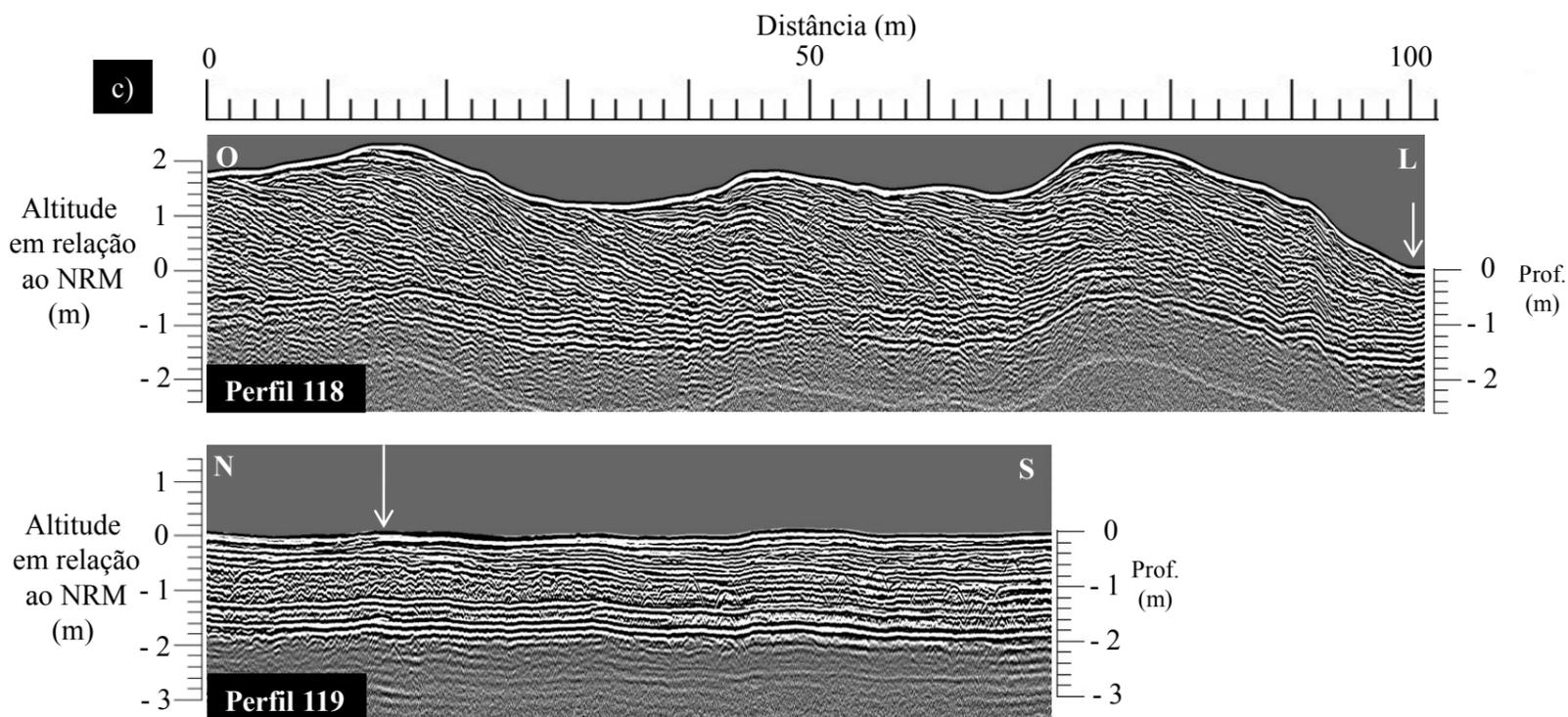
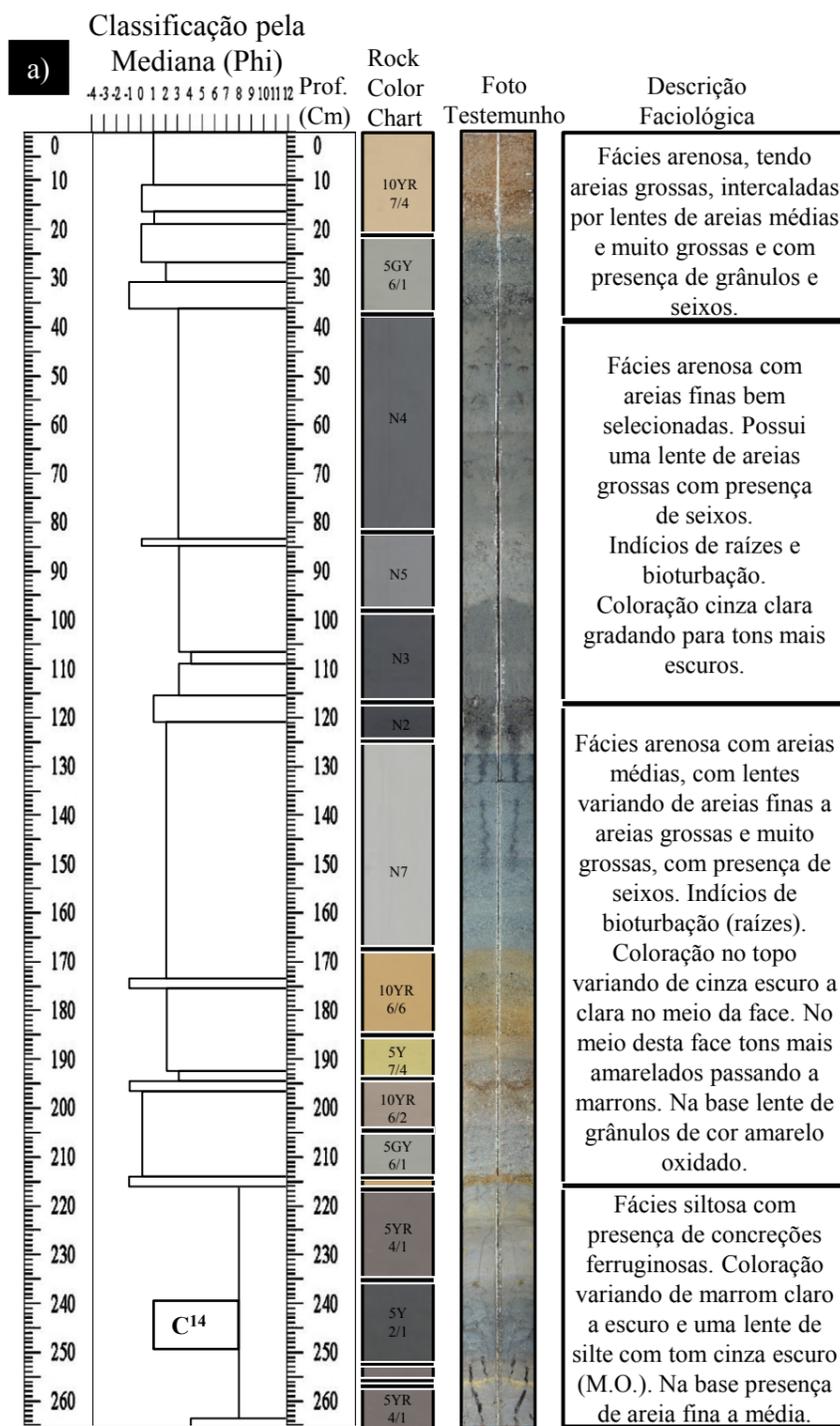


Fig. 35 - a) Testemunho sedimentar TUR 1. b) localização do testemunho sedimentar e dos perfis geofísicos. c) radargramas 118 e 119 com a antena de 400 MHz. O eixo superior dos radargramas apresenta o comprimento total, o eixo da esquerda demonstra a altura em relação ao NRM e o eixo a direita reproduz a profundidade dos radargramas. A seta indica a localização do testemunho.

6 Discussões e Interpretações

6.1 Testemunhos Sedimentares, Perfis Geofísicos e Topografia

Os testemunhos sedimentares somados aos dados altimétricos do GPS diferencial, obtidos nas perfilagens geofísicas, e o levantamento topográfico possibilitaram a geração de dois modelos esquemáticos do complexo de séries de cordões litorâneos lagunares.

Os testemunhos TUR 1, TUR 2 e TUR 3, coletados em sentido perpendicular à margem da Laguna dos Patos, representam, respectivamente, os depósitos Q4pcs4, Q4pcs2 e Q4pcs1 e constituem o Perfil 123 (Fig. 36b), enquanto que os testemunhos TUR 3, TUR 4 e TUR 5, obtidos na 1ª série de cordões (Q4pcs1), formam o Perfil 345 (Fig. 36b).

De todos os testemunhos coletados somente o testemunho TUR 1 apresentou material datável (lama com matéria orgânica). Obtido às margens da Laguna dos Patos, em um ponto situado 0,30 m acima do NRM, este testemunho também foi o único a apresentar indícios de bioturbação (raízes).

A amostra selecionada para a datação foi retirada de uma fácies siltosa posicionada a -2,10 m em relação ao NRM. A datação revelou uma idade absoluta de 29.430 ± 160 anos AP. Esta fácies encontra-se abaixo de um intervalo com sedimentos de cor amarela, oxidados, o que sugere uma exposição subaérea, provavelmente correlacionada com a situação de nível de mar baixo associada ao último evento glacial.

A idade absoluta encontrada indica que todo o complexo de cordões litorâneos associados à Lagoa Pequena se desenvolveu durante o Holoceno.

Utilizando-se de forma integrada as fotografias aéreas de 1953, as imagens de satélite do software Google Earth, os dados do testemunho TUR 1 e os perfis geofísicos sobre a 4ª série de cordões, é possível de se fazer uma estimativa do início de formação desta série. Com um total de seis cordões bem definidos, e com uma taxa de, aproximadamente, 25 anos para a formação de cada um deles, pode-se estimar que o início da formação desta série se deu há cerca de 150 anos.

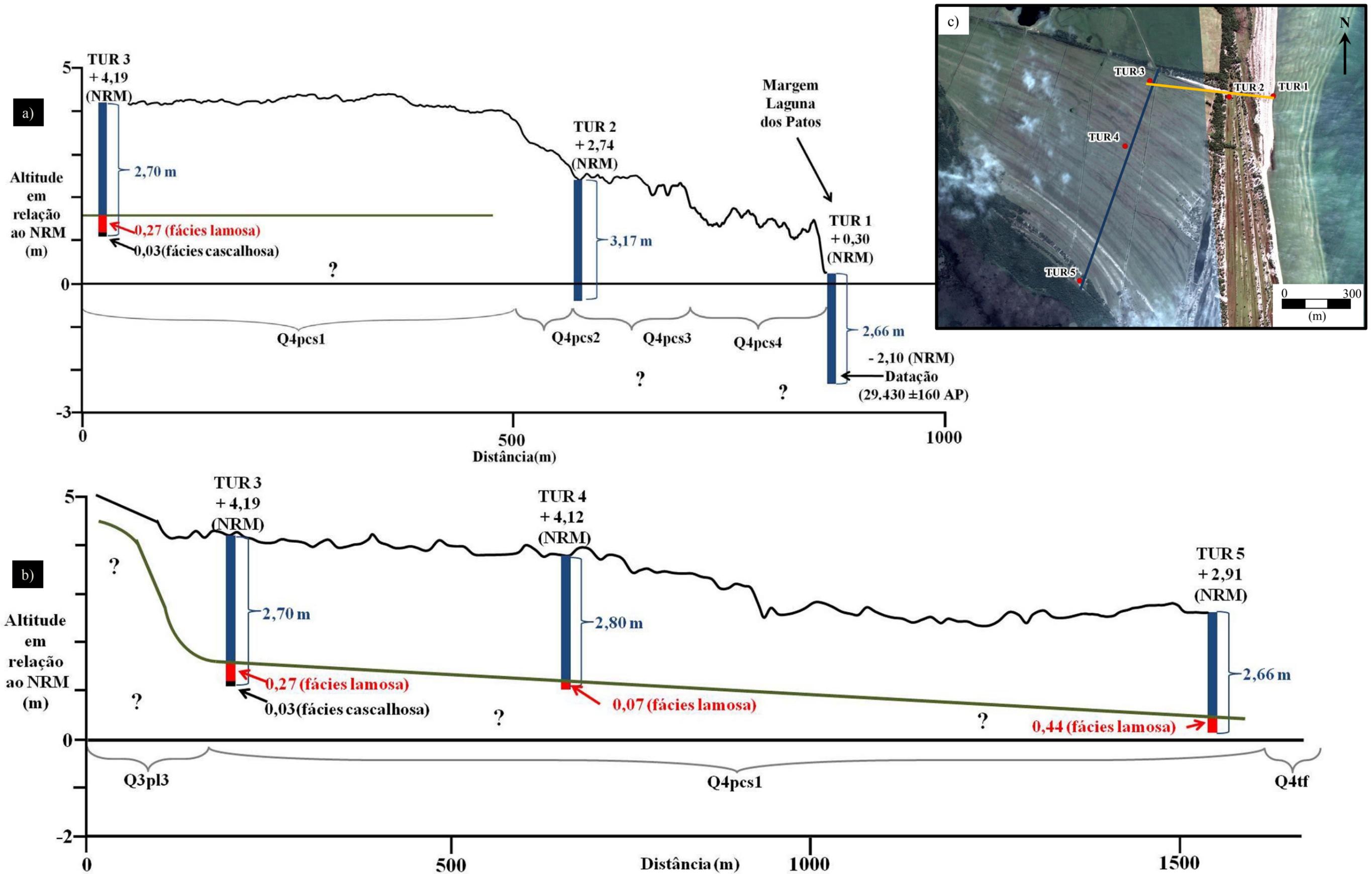


Fig. 36 - Modelo esquemático dos perfis topográficos com os testemunhos sedimentares. a) Perfil 123; b) Perfil 345; c) imagem de satélite com a localização dos perfis (perfil 123, linha laranja e perfil 345, linha azul).

Os três testemunhos do perfil 345 apresentaram uma penetrabilidade e tamanhos semelhantes. No entanto, dois dos testemunhos (TUR 4 e 5) alcançaram o depósito lamoso (\pm 3 m de profundidade), enquanto que o testemunho TUR 3, na porção mais inicial do depósito, ultrapassou a totalidade desta fácies, indicando uma espessura de 0,27 m neste trecho. Dos testemunhos TUR 4 e TUR 5 foi colhido 0,07 e 0,44 m, respectivamente, desta fácies lamosa (Fig. 36a). Comparando-se a espessura da fácies lamosa (TUR 3) com o trecho final (TUR 5) deste depósito, pode-se supor que esta fácies tende a ter um formato de cunha.

Correlacionando-se a distância entre os testemunhos TUR 3 e TUR 5 (1.488 m) com a altura, em relação ao NRM, do topo das fácies lamosa desses testemunhos (1,79 e 0,69 m, respectivamente) obteve-se uma declividade de 0,04°. Este mesmo valor é encontrado usando-se os testemunhos TUR 4 e TUR 5.

Em superfície, correlacionando-se estes mesmos pontos, a declividade aumenta para 0,05°. Porém, tendo como base a linha de tendência de média móvel do levantamento topográfico (Fig. 24), pode-se dividir este depósito em três partes. Correlacionando-se estas três partes independentemente, são encontradas declividades de 0,05 para o primeiro trecho, 0,26 para a parte central e um valor muito próximo de zero para a parte final. Este fato evidencia uma mudança no padrão de deposição, sendo que os fatores que podem influenciar nesta deposição são o suprimento sedimentar, a variação do NRM ou uma mudança no padrão de ondas. Estas três fases de deposição também podem ser vistas no MET (Fig. 23).

Outra comparação que se pode fazer entre os testemunhos TUR 3 e TUR 5 é a espessura da fácies lamosa, onde no trecho inicial (TUR 3) está possui 0,27 m e no trecho final (TUR 5) a fácies possui no mínimo 0,44 m.

No testemunho TUR 3, abaixo da fácies lamosa, resgatou-se uma amostra de 0,03 m que, na classificação textural de Shepard (1954), corresponde a cascalho com areia. Apesar desta fácies ser representada por uma camada de apenas 0,03 m, ela se distingue das fácies superiores pela grande diferença granulométrica.

A fácies areno-cascalhosa ocorre unicamente no testemunho TUR 3, acima da fácies lamosa, indicando que a fonte sedimentar, com granulometria mais grossa, limitou-se a contribuir para a fase inicial da formação desta série de cordões. Esta fácies pode ser indicativa da elevada dinâmica que regulou a similaridade da declividade dos refletores no trecho inicial do depósito.

A fácies de topo dos três testemunhos desta série apresenta uma mesma similaridade litológica, apresentando uma concentração de matéria orgânica que não ocorre nas demais fácies, e que pode ser resultante de processos de pedogênese.

Além da coleta de testemunhos sedimentares, realizou-se perfilagens geofísicas com GPR, cortando as séries de cordões. O registro obtido com o radargrama 800 (Fig. 27), apesar de não ter sido obtido de forma retilínea, demonstra ao menos três padrões de refletores.

O primeiro deles representa a primeira fase de deposição (de 0 a 600 m). Esta fase é marcada por apresentar refletores (oblíquos paralelos) com um ângulo acentuado no mergulho, coincidente com a fácies areno-cascalhosa encontrada no TUR 3.

Já o padrão de refletores da parte central do depósito, com menor comprimento (600 a 900 m), possui refletores (oblíquos sigmóides) que apresentam um ângulo de mergulho menor. O testemunho TUR 4 encontra-se entre o fim da primeira e o início da segunda fase de deposição. Este testemunho apresenta uma fácies arenosa com intercalações de granocrescência e granodecrescência, provavelmente com influencia das duas fases de deposição.

No terceiro trecho (de 900 a 1.516 m) notam-se refletores sigmóides que possuem um ângulo menor de mergulho. Outro ponto a ser destacado neste trecho é o alongamento das cavas. Possivelmente este fato pode ser associado a uma diminuição da hidrodinâmica que controlava a sedimentação e a formação dos cordões litorâneos. Outro fato que pode corroborar com esta hipótese é a espessura menor da fácies arenosa do testemunho TUR 3, situado bem próximo ao fim deste trecho.

6.2 Diferenças entre as antenas do GPR

Os radargramas 100 e 101 (Fig. 29) obtidos com a antena de 400 MHz, e o radargrama 103 (Fig. 29) obtido com a antena de 200 MHz foram adquiridos sobre o mesmo trecho da 1ª série de cordões. Este fato propiciou uma comparação entre os resultados obtidos utilizando-se antenas com frequências diferentes.

A primeira comparação que se pode fazer é sobre a profundidade do registro obtido com as antenas de diferentes frequências. Como descrito por Neal (2004) quanto maior a frequência da antena, mais rasa é a profundidade do registro.

Smith e Jol (1995b) determinaram a máxima profundidade provável para a perda excessiva do sinal para a antena de 200 MHz em sedimentos quaternários. Esta profundidade foi definida em 28 m, no qual abaixo desta a detecção do sinal torna ineficaz a identificação de interfaces estratigráficas. Porém, Jol *et. al.* (2002) determinaram que para a antena de 200 MHz a interpretação das radarfácies fica prejudicada abaixo da profundidade de 6 m, sendo que conseqüentemente a antena de 400 MHz proporciona um registro menor.

Outra importante diferença é a resolução vertical dos radargramas. Knapp (1990) descreveu duas definições para a resolução na sísmica de reflexão: a 1ª (*thick-bed response*) diz respeito à capacidade de determinar a posição do refletor no espaço ou no tempo (é função das ondoletas, da nitidez ou ainda da largura do pulso); e a 2ª (*thin-bed response*) refere-se à espessura mínima entre as distintas camadas (é controlada pelo comprimento de onda); onde estas definições podem ser aplicadas diretamente para os dados de GPR (Neal, 2004). Tendo como base a segunda definição descrita por Knapp (1990), Neal (2004) destaca que, quanto maior a resolução vertical dos radargramas, mais importantes são as implicações na interpretação sedimentológica, uma vez que a resolução define a escala das estruturas sedimentares que podem ser diferenciadas. Ainda neste sentido, a teoria das ondas indica que a melhor resolução vertical que se pode alcançar é $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda (Sheriff, 1977 apud Neal 2004).

Em contrapartida, com a profundidade do registro e com a resolução vertical está à permissividade elétrica (constante dielétrica= k) do meio a ser analisado pelo GPR e a velocidade da onda eletromagnética. Cada material geológico possui propriedades próprias, no qual, os principais fatores que influenciam nestas propriedades são a concentração de água e os sais dissolvidos. Alguns exemplos destas propriedades foram descritas por Davis e Annan (1989, apud Barboza, 1999) e são apresentadas na tabela 3. Sendo assim, no ambiente,

cada camada sedimentar possui uma permissividade elétrica e uma velocidade que influencia na resolução e na profundidade do registro dos radargramas.

Tab. 3 - Tabela com a permissividade elétrica e a velocidade de propagação de alguns materiais geológicos para uma onda eletromagnética com 100 MHz de frequência (modificado de Davis e Annan, 1989 apud Barbosa, 1999).

Material	Permissividade elétrica	V (velocidade em m.ns ⁻¹)
Ar	1	0,3
Água destilada	80	0,033
Água salgada	80	0,01
Areia seca	3 – 5	0,15
Areia saturada	20 – 30	0,06
Calcário	4 – 8	0,12
Folhelho	5 – 15	0,09
Silte	5 – 30	0,07
Argila	5 – 40	0,06
Granito	4 – 6	0,13
Sal seco	5 – 6	0,13
Gelo	3 – 4	0,16

Como descrito anteriormente, neste trabalho foram utilizadas duas antenas com frequência de 200 e 400 MHz. Durante a aquisição dos perfis geofísicos manteve-se a constante dielétrica com o valor 6. Porém durante o processamento dos radargramas optou-se por mudar esta constante. Tendo-se como base o refletor plano paralelo, que demarca a diminuição significativa do sinal e que aparece em todos os radargramas, este foi correlacionado ao topo da fácies lamosa dos testemunhos sedimentares. Para se ajustar a profundidade do topo desta fácies com a profundidade exibida pelo radargrama alterou-se a constante dielétrica no momento do processamento dos dados. Para a antena de 400 MHz utilizou-se a constante de 22, enquanto que para a antena de 200 MHz utilizou-se a constante de 16.

Tendo como base a segunda definição de resolução de Knapp (1990) e correlacionando-se com a constante dielétrica utilizada no processamento, pode-se definir qual a resolução para cada antena (Fig. 37). Através desta correlação pode-se definir qual a mínima estrutura identificável pelas diferentes tipos de antena, sendo que para a antena de 200 MHz pode-se diferenciar estruturas com no mínimo 23 cm, enquanto que para a antena de 400 MHz diferenciam-se estruturas com 15 cm.

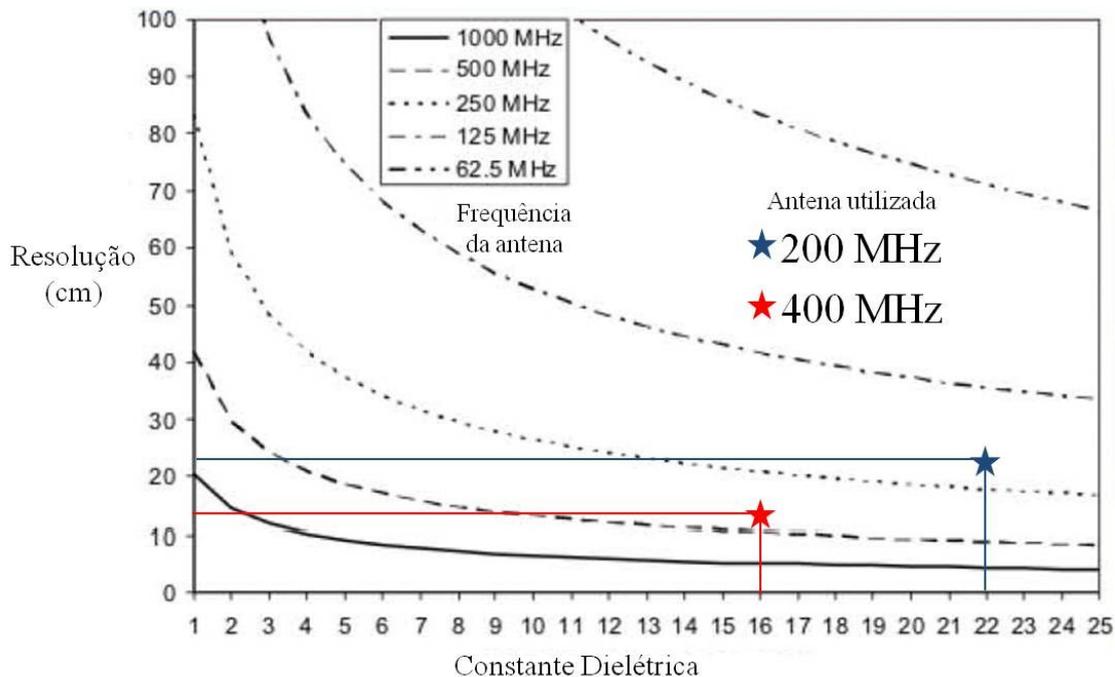


Fig. 37 – Gráfico demonstrando a correlação entre a frequência das antenas utilizadas neste estudo, a constante dielétrica utilizada no processamento e a resolução em cm (modificado de Travassos, 2010).

Exemplos de alguns padrões de estruturas que podem ser identificáveis pelo GPR são apresentadas por Collinson e Thompson (1989, apud Neal, 2004) (Fig. 38).

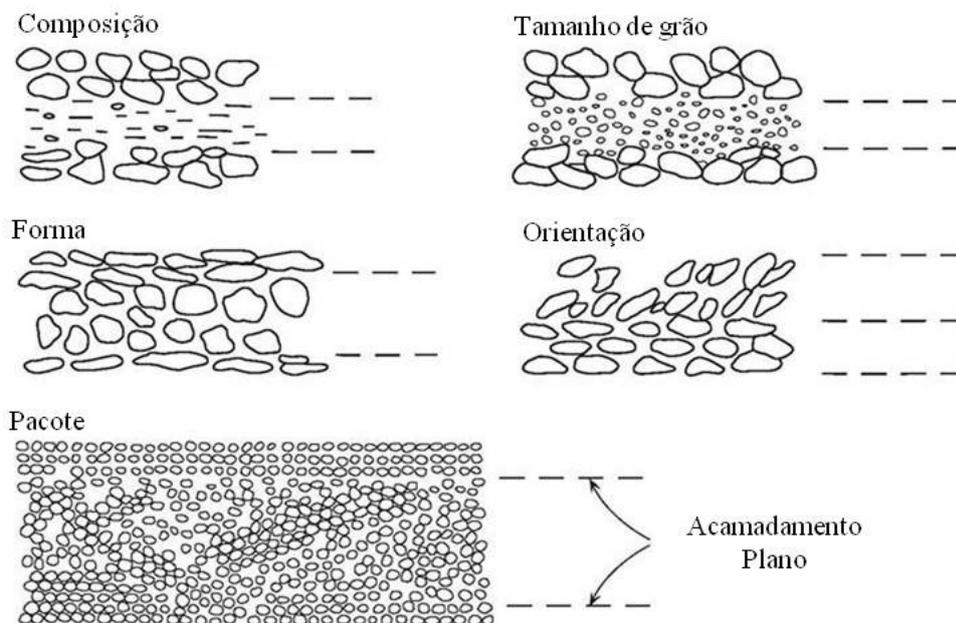


Fig. 38 – Padrões de estruturas identificáveis pelo GPR (modificado de Collinson e Thompson, 1989, apud Neal, 2004).

Para tanto, comparando-se o registro obtido nos radargramas 100+101 com o radargrama 103, pode-se inferir que para a análise dos depósitos investigados neste trabalho a

antena de 200 MHz proporciona um registro mais profundo, porém com resolução vertical de 23 cm. Enquanto que se utilizando a antena de 400 MHz obtém-se um registro mais raso com uma resolução vertical de 15 cm. Como os acamamentos deste depósito possuem espessura que variam de 2 a mais de 30 cm e a profundidade dos cordões não ultrapassa 3 m, a antena de 400 MHz é a mais recomendada para este tipo de investigação.

6.3 Diferenciação das Unidades Morfoestratigráficas

Frye e Willman (1962, apud Suguio, 1999) descrevem que as unidades morfoestratigráficas podem ser diferenciadas das unidades adjacentes através da forma que apresentam em superfície, ou, ainda, pela litologia e/ou idade.

No mapeamento geológico de superfície utilizaram-se as imagens de satélite do software Google Earth[®] (Fig. 12) e o mosaico de fotos aéreas de 1953 (Fig. 10) para se diferenciar as quatro séries de cordões litorâneos lagunares, sendo que esta separação foi estabelecida através da diferença da forma do depósito em superfície.

Os contatos existentes entre as quatro séries se dão através de truncamentos erosionais que são marcados por diferenças de cota (Fig. 36) e na orientação do depósito. Portanto, utilizando-se a definição de Frye e Willman (citação acima) pode-se reconhecer a existência, no local de estudo, de quatro unidades morfoestratigráficas.

Na figura 31d (radargrama 124+125) pode-se ver que os contatos entre a 1^o e a 2^o e entre a 3^o e a 4^o séries são bem marcados pela mudança do padrão dos refletores. Porém, a identificação do contato existente entre a 2^o e a 3^o série não ficou evidente neste radargrama. Possivelmente, este fato tenha sido causado pela interferência gerada pela vegetação densa existente neste local, que mascarou a coleta dos dados do GPS diferencial, alterando a forma dos refletores no momento da correção topográfica.

A orientação dos perfis geofísicos permite a distinção entre o sentido de progradação das diferentes séries de cordões, possibilitando um mapeamento em setores mascarados pela vegetação ou por dunas livres ou transgressivas.

7 Considerações Finais

A carência de matérias com propriedades adequadas para se realizar datações por radiocarbono é muito grande na área de estudo. Possivelmente, a alta energia e a granulometria predominante de sedimentos grossos, não tenha propiciado a deposição e conservação destes materiais. A única amostra que foi datada apresentou uma idade pleistocênica (aproximadamente 30 ka AP), encontrando-se em uma cota inferior a todo o complexo de séries de cordões lagunares. Isto leva a estimar que estes depósitos começaram a se formar durante o Pleistoceno tardio

A análise de dados tanto de superfície (imagens de satélite e fotos aéreas) quanto as evidências encontradas no radargrama (800) e nos testemunhos (TUR 3, TUR 4 e TUR 5) sugerem que houveram mudanças no regime dinâmico e conseqüentemente no padrão de deposição sedimentar da 1ª série de cordões (Q4pcs1). As causas desta mudança ainda não estão bem compreendidas.

As demais séries de cordões litorâneos (Q4pcs2, Q4pcs3 e Q4pcs4) apresentam uma orientação perpendicular em relação à 1ª série de cordões, podendo-se inferir que a formação da 1ª série de cordões está associada à Lagoa Pequena, enquanto que a formação das demais séries de cordões estão associadas à Laguna dos Patos.

As perfilagens geofísicas (GPR) proporcionaram uma visualização da forma e da configuração da geometria dos diferentes tipos de depósitos sedimentares. Já os testemunhos sedimentares colaboraram para a identificação das diferentes fácies sedimentares e permitiram uma melhor interpretação dos radargramas obtidos.

A elaboração do mapa geológico da área de estudo proporcionou uma subdivisão da unidade morfoestratigráfica Praias e Cristas Lagunares (Q4pc) definida pela CPRM – cordões litorâneos lagunares. Esta subdivisão teve base no levantamento geológico de superfície e subsuperfície.

Os bancos subaquosos, vistos na imagem atual do software Google Earth, possuem uma largura maior na desembocadura do Rio Turuçu, estreitando para sul, e alargando novamente na saída do canal do Arroio Corrientes. Isso pode ser uma evidência do domínio da corrente litorânea em direção sul e, conseqüentemente, o transporte de sedimento também para sul. Neste sentido, pode-se inferir que o suprimento de sedimento para a formação da Série Atual de Cordões é dado, em sua maior parte, pelo Rio Turuçu.

A grande diversidade de feições geomorfológicas existentes na região torna este ambiente complexo e de difícil interpretação, sendo necessário um aprofundamento nos estudos para que se possa gerar um modelo evolutivo adequado para a região da Lagoa Pequena.

8 Referências Bibliográficas

- ANTHONY, E.J. Beach-ridge plain development: Sherbro Island, Sierra Leone. **Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband**. v. 81, p. 85-98. 1991a.
- ANTHONY, E.J. Coastal progradation in response to variations in sediment supply, wave energy and tidal range: examples from Sierra Leone. **Geodynamique**. v. 6, p. 57-70. 1991b.
- ANTHONY, E.J. Beach-ridge development and sediment supply: examples from West Africa. **Marine Geology**. v. 129, p. 175-186. 1995.
- BERES, M.; HAENI, F.P. Application of ground-penetrating radar methods in hydrogeologic studies. **Ground Water**. v. 29, p. 375–386. 1991.
- CAMARGO, M.G. **Sysgran 3.0**. Centro de Estudos do Mar – UFPR. Disponível em [HTTP://200.17.232.168/sysgran/](http://200.17.232.168/sysgran/). 2005.
- CAMARGO, O.A. Atlas Eólico: Rio Grande do Sul. Secretaria de Energia Minas e Comunicações. Porto Alegre: SEMC. 70 p. 2002.
- CARTER, R.W.G. The morphodynamics of beach-ridge formation: Magilligan, Northern Ireland. **Marine Geology**. v. 73, p. 191–214. 1986.
- CASTELÃO, R.M.; MÖLLER, O.O. Sobre a circulação tridimensional forçada por ventos na Lagoa dos Patos. **Atlântica**. v. 25, n. 2, p. 91-106. 2003.
- COLLINSON, J.D., THOMPSON, D.B., 1989. apud NEAL, A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth-Science Reviews**. v.66, p. 261-330. 2004.
- CORRÊA, I.C.S. Les variations du niveau de La mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de La plate-forme continentale Du Rio Grande do Sul-Brésil. **Marine Geology**. v. 130, p. 163-178. 1996.

- CPRM/CECO 2006. Carta Geológica. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Subprograma de Integração Geológica e Metalogenia. Escala 1:750.000
- DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**. v. 37, n.5, p. 531-551. 1989.
- FERNANDES, E.H.L., *et al.* The Patos Lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). **Continental Shelf Research**. v. 22, p. 1699–1713. 2002.
- FITZGERALD, D.M., *et al.* Sedimentologic and morphologic evolution of a beachridge barrier along an indented coast: Buzzard Bay, Massachusetts. In: Fletcher, C.H., Wehmiller, J.F. (Eds.). **Quaternary Coasts of the United States: Marine and Lacustrine Systems**. SEPM Spec. Publ., SEPM, Tulsa, v. 48. p. 64-75. 1992.
- FRYE, J.C; WILLMAN, H.B. 1962, apud SUGUIO, K. A Importância da Geomorfologia em Geociências e Áreas Afins. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 1, n. 1, p. 80-87. 1999.
- FOLK, R. L. & WARD. W. C. Brazos River Bar: Study and significance of grain size parameters. **Journal Sedimentary Petrology**, 27(1) 03-26. 1957.
- GANDOLFO, O.C.B., *et al.* Estratigrafia rasa da Ilha Comprida (SP): um exemplo de aplicação do GPR. **Brazilian Journal of Geophysics**. v. 19, n. 3, p. 251-262. 2001.
- GOY, J.L.; ZAZO, C.; DABRIO, C.J. A beach-ridge progradation complex reflecting periodical sea-level and climate variability during the Holocene (Gulf of Almería, Western Mediterranean). **Geomorphology**. v. 50, p. 251–268. 2003.
- HARVEY, N. Holocene coastal evolution: barriers, beach ridges, and tidal flats of South Australia. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 1, p. 90–99. 2006.
- HESP, P.A. Sand Beach Ridges: Definitions and Re-Definition. **Journal of Coastal Research**, SI 39. Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Itajaí, SC, Brasil. p. 72-75. 2006.
- HIRATA, F.E.; FREDO, G.C.; MÖLLER JR., O.O. Influência do balanço precipitação-evaporação no tempo de residência das águas da Lagoa dos Patos – Rs. **II Congresso Brasileiro de Oceanografia**, 09 a 12 de Outubro, Vitória, ES, Brasil. 2005.
- ISLA, F.I.; BUJALESKY, G.G. Cannibalisation of Holocene gravel beach-ridge plains, northern Tierra del Fuego, Argentina. **Marine Geology**. v. 170, p. 105–122. 2000.
- JOL, H.M.; SMITH D.G. 1991. Ground penetrating radar of northern lacustrine deltas. **Canadian Journal of Earth Sciences**. v. 28, p. 1939-1947.

- JOL, H.M., LAWTON, D.C., SMITH, D.G. Ground penetrating radar: 2-D and 3-D subsurface imaging of a coastal barrier spit, Long Beach, WA, USA. **Geomorphology**. v. 53, p. 165-181. 2002.
- KJERFVE, B. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: Wolfe, D.A. (Ed.), **Estuarine Variability**. Academic Press, Orlando, FL, p. 63–81. 1986.
- KNAPP, R.W. Vertical resolution of thick beds, thin beds and thin-bed cyclothems. **Geophysics**. v.55, p. 1183-1190. 1990.
- LI, C.X., et. al. Holocene regression and the tidal radial sand ridge system formation in the Jiangsu coastal zone, east China. **Marine Geology**. v. 173, n. 1-4, p. 97-120. 2001.
- MITCHUM, R.M.,JR.; VAIL, P.R.; SANGREE, J.B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 6. Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C.E. (ed.). **Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration**. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists Memoir, v. 26, p.117-133. 1977.
- MÖLLER, O.O.; PAIM, V; SOARES, I.D. Effects and mechanisms of water circulation in the Patos Lagoon Estuary. **Bulletin Institut Geologique Bassin d'Aquitaine Bordeaux**, 49: 15-21. 1991.
- MÖLLER, O.O. Hydridynamique de la Lagune dos Patos (30S, Brésil). Mesures et modélisation. Tese de Doutorado. Universidade de Bordeaux, França, 204 p. 1996.
- MÖLLER, O.O., *et al.* The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. **Continental Shelf Research**. v. 16, n. 3, p. 335-351. 1996.
- NEAL, A.; RICHARDS, J.; PYE, K. Sedimentology of coarse-clastic beach-ridge deposits, Essex, southeast England. **Sedimentary Geology**. v. 162, p. 167-198. 2003.
- NEAL, A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth-Science Reviews**. v.66, p. 261-330. 2004.
- OTVOS, E. Beach ridges - definition and significance. **Geomorphology**. v. 32, p. 83-108. 2000.
- POSAMENTIER, H.W., *et al.* Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples and exploration significance. **The American Association of Petroleum Geologists Bulletin**. v. 76, n. 11, p. 1687-1709. 1992.
- PSUTY, N.P. Beach-Ridge Development in Tabasco, Mexico. **Reprinted from Annals of the association of American geographers**. United States of America. v. 55, n. 1, p. 112-124. 1965.

- REDMAN, 1852, 1864, apud TAYLOR, M.J.; STONE, G.W. Beach-ridges: a review. **Journal Of Coastal Research**. v. 12, n. 3, p. 612–621. 1996.
- SHEPARD, F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, 24:151-158. 1954.
- SHERIFF, R.E., 1977. apud NEAL, A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth-Science Reviews**. v.66, p. 261-330. 2004.
- SMITH, D.G., JOL, H.M. Ground-penetrating radar: antenna frequencies and maximum probable depths of penetration in Quaternary sediments. **Journal of Applied Geophysics**. v. 33, p. 93-100. 1995b.
- SUGUIO, K. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: passado + presente = futuro. São Paulo: Paulo's Comunicações e Artes Gráficas, 366 p. 1999.
- TANNER, W.F.; DEMIRPOLAT, S. New beach ridge type: Severely limited fetch, very shallow water. **Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies**. v. 38, p. 367-373. 1988.
- TANNER, W.F. Origin of beach ridges and swales. **Marine Geology**. v. 129, p. 149–161. 1995.
- TAYLOR, M.J.; STONE, G.W. Beach-ridges: a review. **Journal Of Coastal Research**. v. 12, n. 3, p. 612–621. 1996.
- THOMPSON, T.A.; BAEDKE, S.J. Beach-ridge development in Lake Michigan: shoreline behavior in response to quasi-periodic lake-level events. **Marine Geology**. v.129, p. 163-174. 1995.
- TOLDO Jr., E.E. *et. al.* Wave prediction along Lagoa do Patos coastline, southern Brazil, **Atlântica**. Rio Grande. v. 28(2): 87-95. 2006.
- TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R. Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brasil. **Marine Geology**, v. 244, p.33-45. 2007.
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: Holz, M.; De Ros, L.F. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, CECO/UFRGS. P. 375-406. 2000.
- VAN OVERMEEREN, R.A. Radar facies of unconsolidated sediments in The Netherlands: A radar stratigraphy interpretation method for hydrogeology. **Journal of Applied Geophysics**. v. 40, p. 1-18. 1998.

- VAZ, A.C.; MöLLER, JR. O.O.; ALMEIDA, T.L. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**. v. 28, n. 1, p.13-23. 2006.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. Planície costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: Becker, F.G.; Ramos, R.A.; Moura, L.A.. Biodiversidade. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul / Ministério do Meio Ambiente. – Brasília: MMA / SBF. P. 20-33. 2006.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**. V. 8, p. 1-45. 1995.
- VILLWOCK, J. A. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. **Pesquisas**. v. 16, p. 5-49. 1984.
- VILLWOCK, J. A. Aspectos da sedimentação da região nordeste da lagoa dos Patos. Porto Alegre. **Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS**. 189p. 1977.
- WELLS, L.E. The Santa beach ridge complex: sea-level and progradational history of an open gravel coast in Central Peru. **Journal of Coastal Research**. v. 12, n.1, 1-17. 1996.

7 Considerações Finais

A carência de matérias com propriedades adequadas para se realizar datações por radiocarbono é muito grande na área de estudo. Possivelmente, a alta energia e a granulometria predominante de sedimentos grossos, não tenha propiciado a deposição e conservação destes materiais. A única amostra que foi datada apresentou uma idade pleistocênica (aproximadamente 30 ka AP), encontrando-se em uma cota inferior a todo o complexo de séries de cordões lagunares. Isto leva a estimar que estes depósitos começaram a se formar durante o Pleistoceno tardio

As evidências encontradas nos radargramas 80, 81 e 82 e nos testemunhos sedimentares TUR 3, TUR 4 e TUR 5, além das imagens de satélite e das fotos aéreas, ajudam a concluir que houve uma mudança na dinâmica de deposição da 1ª série de cordões (Q4pcs1). As causas desta mudança na sedimentação ainda não estão bem compreendidas. As demais séries de cordões litorâneos (Q4pcs2, Q4pcs3 e Q4pcs4) apresentam uma orientação perpendicular em relação à 1ª série de cordões, podendo-se inferir que a formação da 1ª série de cordões está associada à Lagoa Pequena, enquanto que a formação das demais séries de cordões estão associadas à Laguna dos Patos.

As perfilagens geofísicas (GPR) proporcionaram uma visualização da forma e da configuração da geometria dos diferentes tipos de depósitos sedimentares. Já os testemunhos sedimentares colaboraram para a identificação das diferentes fácies sedimentares e permitiram uma melhor interpretação dos radargramas obtidos.

A elaboração do mapa geológico da área de estudo proporcionou uma subdivisão da unidade morfoestratigráfica Praias e Cristas Lagunares (Q4pc), cordões litorâneos lagunares, definida pela CPRM. Esta subdivisão teve base no levantamento geológico de superfície e subsuperfície.

Os bancos subaquosos, vistos na imagem atual do software Google Earth, possuem uma largura maior na desembocadura do Rio Turuçu, estreitando para sul, e alargando novamente na saída do canal do Arroio Corrientes. Isso pode ser uma evidência do predomínio da corrente litorânea em direção sul e, conseqüentemente, o transporte de sedimento também para sul. Neste sentido, pode-se inferir que o suprimento de sedimento para a formação da Série Atual de Cordões é dado, em sua maior parte, pelo Rio Turuçu.

A grande diversidade de feições geomorfológicas existentes na região torna este ambiente complexo e de difícil interpretação, sendo necessário um aprofundamento nos

estudos para que se possa gerar um modelo evolutivo adequado para a região da Lagoa Pequena.

8 Referências Bibliográficas

- ANTHONY, E.J. Beach-ridge plain development: Sherbro Island, Sierra Leone. **Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband**. v. 81, p. 85-98. 1991a.
- ANTHONY, E.J. Coastal progradation in response to variations in sediment supply, wave energy and tidal range: examples from Sierra Leone. **Geodynamique**. v. 6, p. 57-70. 1991b.
- ANTHONY, E.J. Beach-ridge development and sediment supply: examples from West Africa. **Marine Geology**. v. 129, p. 175-186. 1995.
- BERES, M.; HAENI, F.P. Application of ground-penetrating radar methods in hydrogeologic studies. **Ground Water**. v. 29, p. 375–386. 1991.
- CAMARGO, M.G. **Sysgran 3.0**. Centro de Estudos do Mar – UFPR. Disponível em <HTTP://200.17.232.168/sysgran/>. 2005.
- CAMARGO, O.A. Atlas Eólico: Rio Grande do Sul. Secretaria de Energia Minas e Comunicações. Porto Alegre: SEMC. 70 p. 2002.
- CARTER, R.W.G. The morphodynamics of beach-ridge formation: Magilligan, Northern Ireland. **Marine Geology**. v. 73, p. 191–214. 1986.
- CASTELÃO, R.M.; MÖLLER, O.O. Sobre a circulação tridimensional forçada por ventos na Lagoa dos Patos. **Atlântica**. v. 25, n. 2, p. 91-106. 2003.
- COLLINSON, J.D., THOMPSON, D.B., 1989. apud NEAL, A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth-Science Reviews**. v.66, p. 261-330. 2004.
- CORRÊA, I.C.S. Les variations du niveau de La mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de La plate-forme continentale Du Rio Grande do Sul-Brésil. **Marine Geology**. v. 130, p. 163-178. 1996.
- CPRM/CECO 2006. Carta Geológica. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Subprograma de Integração Geológica e Metalogenia. Escala 1:750.000
- DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**. v. 37, n.5, p. 531-551. 1989.

- FERNANDES, E.H.L., *et al.* The Patos Lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). **Continental Shelf Research**. v. 22, p. 1699–1713. 2002.
- FITZGERALD, D.M., *et al.* Sedimentologic and morphologic evolution of a beachridge barrier along an indented coast: Buzzard Bay, Massachusetts. In: Fletcher, C.H., Wehmiller, J.F. (Eds.). **Quaternary Coasts of the United States: Marine and Lacustrine Systems**. SEPM Spec. Publ., SEPM, Tulsa, v. 48. p. 64-75. 1992.
- FRYE, J.C.; WILLMAN, H.B. 1962, apud SUGUIO, K. A Importância da Geomorfologia em Geociências e Áreas Afins. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 1, n. 1, p. 80-87. 1999.
- FOLK, R. L. & WARD. W. C. Brazos River Bar: Study and significance of grain size parameters. **Journal Sedimentary Petrology**, 27(1) 03-26. 1957.
- GANDOLFO, O.C.B., *et al.* Estratigrafia rasa da Ilha Comprida (SP): um exemplo de aplicação do GPR. **Brazilian Journal of Geophysics**. v. 19, n. 3, p. 251-262. 2001.
- GOY, J.L.; ZAZO, C.; DABRIO, C.J. A beach-ridge progradation complex reflecting periodical sea-level and climate variability during the Holocene (Gulf of Almería, Western Mediterranean). **Geomorphology**. v. 50, p. 251–268. 2003.
- HARVEY, N. Holocene coastal evolution: barriers, beach ridges, and tidal flats of South Australia. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 1, p. 90–99. 2006.
- HESP, P.A. Sand Beach Ridges: Definitions and Re-Definition. **Journal of Coastal Research**, SI 39. Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Itajaí, SC, Brasil. p. 72-75. 2006.
- HIRATA, F.E.; FREDO, G.C.; MÖLLER JR., O.O. Influência do balanço precipitação-evaporação no tempo de residência das águas da Lagoa dos Patos – Rs. **II Congresso Brasileiro de Oceanografia**, 09 a 12 de Outubro, Vitória, ES, Brasil. 2005.
- ISLA, F.I.; BUJALESKY, G.G. Cannibalisation of Holocene gravel beach-ridge plains, northern Tierra del Fuego, Argentina. **Marine Geology**. v. 170, p. 105–122. 2000.
- JOL, H.M.; SMITH D.G. 1991. Ground penetrating radar of northern lacustrine deltas. **Canadian Journal of Earth Sciences**. v. 28, p. 1939-1947.
- JOL, H.M., LAWTON, D.C., SMITH, D.G. Ground penetrating radar: 2-D and 3-D subsurface imaging of a coastal barrier spit, Long Beach, WA, USA. **Geomorphology**. v. 53, p. 165-181. 2002.
- KJERFVE, B. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: Wolfe, D.A. (Ed.), **Estuarine Variability**. Academic Press, Orlando, FL, p. 63–81. 1986.

- KNAPP, R.W. Vertical resolution of thick beds, thin beds and thin-bed cyclothems. **Geophysics**. v.55, p. 1183-1190. 1990.
- LI, C.X., et. al. Holocene regression and the tidal radial sand ridge system formation in the Jiangsu coastal zone, east China. **Marine Geology**. v. 173, n. 1-4, p. 97-120. 2001.
- MITCHUM, R.M.,JR.; VAIL, P.R.; SANGREE, J.B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 6. Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C.E. (ed.). **Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration**. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists Memoir, v. 26, p.117-133. 1977.
- MÖLLER, O.O.; PAIM, V; SOARES, I.D. Effects and mechanisms of water circulation in the Patos Lagoon Estuary. **Bulletin Institut Geologique Bassin d'Aquitaine Bordeaux**, 49: 15-21. 1991.
- MÖLLER, O.O. Hydridynamique de la Lagune dos Patos (30S, Brésil). Mesures et modélisation. Tese de Doutorado. Universidade de Bordeaux, França, 204 p. 1996.
- MÖLLER, O.O., *et al.* The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. **Continental Shelf Research**. v. 16, n. 3, p. 335-351. 1996.
- NEAL, A.; RICHARDS, J.; PYE, K. Sedimentology of coarse-clastic beach-ridge deposits, Essex, southeast England. **Sedimentary Geology**. v. 162, p. 167-198. 2003.
- NEAL, A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth-Science Reviews**. v.66, p. 261-330. 2004.
- OTVOS, E. Beach ridges - definition and significance. **Geomorphology**. v. 32, p. 83-108. 2000.
- POSAMENTIER, H.W., *et al.* Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples and exploration significance. **The American Association of Petroleum Geologists Bulletin**. v. 76, n. 11, p. 1687-1709. 1992.
- PSUTY, N.P. Beach-Ridge Development in Tabasco, Mexico. **Reprinted from Annals of the association of American geographers**. United States of America. v. 55, n. 1, p. 112-124. 1965.
- REDMAN, 1852, 1864, apud TAYLOR, M.J.; STONE, G.W. Beach-ridges: a review. **Journal Of Coastal Research**. v. 12, n. 3, p. 612-621. 1996.
- SHEPARD, F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, 24:151-158. 1954.

- SHERIFF, R.E., 1977. apud NEAL, A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth-Science Reviews**. v.66, p. 261-330. 2004.
- SMITH, D.G., JOL, H.M. Ground-penetrating radar: antenna frequencies and maximum probable depths of penetration in Quaternary sediments. **Journal of Applied Geophysics**. v. 33, p. 93-100. 1995b.
- SUGUIO, K. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: passado + presente = futuro. São Paulo: Paulo's Comunicações e Artes Gráficas, 366 p. 1999.
- TANNER, W.F.; DEMIRPOLAT, S. New beach ridge type: Severely limited fetch, very shallow water. **Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies**. v. 38, p. 367-373. 1988.
- TANNER, W.F. Origin of beach ridges and swales. **Marine Geology**. v. 129, p. 149–161. 1995.
- TAYLOR, M.J.; STONE, G.W. Beach-ridges: a review. **Journal Of Coastal Research**. v. 12, n. 3, p. 612–621. 1996.
- THOMPSON, T.A.; BAEDKE, S.J. Beach-ridge development in Lake Michigan: shoreline behavior in response to quasi-periodic lake-level events. **Marine Geology**. v.129, p. 163-174. 1995.
- TOLDO Jr., E.E. *et. al.* Wave prediction along Lagoa do Patos coastline, southern Brazil, **Atlântica**. Rio Grande. v. 28(2): 87-95. 2006.
- TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R. Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brasil. **Marine Geology**, v. 244, p.33-45. 2007.
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: Holz, M.; De Ros, L.F. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, CECO/UFRGS. P. 375-406. 2000.
- VAN OVERMEEREN, R.A. Radar facies of unconsolidated sediments in The Netherlands: A radar stratigraphy interpretation method for hydrogeology. **Journal of Applied Geophysics**. v. 40, p. 1-18. 1998.
- VAZ, A.C.; MÖLLER, JR. O.O.; ALMEIDA, T.L. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**. v. 28, n. 1, p.13-23. 2006.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. Planície costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: Becker, F.G.; Ramos, R.A.; Moura, L.A.. Biodiversidade. Regiões

- da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul / Ministério do Meio Ambiente. – Brasília: MMA / SBF. P. 20-33. 2006.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**. V. 8, p. 1-45. 1995.
- VILLWOCK, J. A. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. **Pesquisas**. v. 16, p. 5-49. 1984.
- VILLWOCK, J. A. Aspectos da sedimentação da região nordeste da lagoa dos Patos. Porto Alegre. **Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS**. 189p. 1977.
- WELLS, L.E. The Santa beach ridge complex: sea-level and progradational history of an open gravel coast in Central Peru. **Journal of Coastal Research**. v. 12, n.1, 1-17. 1996.