



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE ESTUDOS COSTEIROS (IECOS) – BRAGANÇA-PA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE MESTRADO EM ECOLOGIA DE ECOSSISTEMAS COSTEIROS E
ESTUARINOS

Wladson da Silva Leite

**ESTRATIGRAFIA DE DUNAS COSTEIRAS DE SALINÓPOLIS/PA EM
ASSOCIAÇÃO COM VARIAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS**

BRAGANÇA-PA

2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Campus Universitário de Bragança - Biblioteca Prof. Armando Bordallo da Silva

Leite, Wladson da Silva

Estratigrafia de dunas costeiras de Salinópolis/PA em associação com variações pluviométricas/Bragança-PA. / Wladson da Silva Leite; orientador, Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto. – Bragança: [S.n.], 2010.

65f.

Inclui bibliografias

Dissertação (Mestrado em Recursos Biológicos da Zona Costeira Amazônica) – Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Bragança, Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental, Bragança, 2010.

1. Geologia estratigráfica- Salinópolis (PA). 2. Geologia histórica. 3. Dunas- Salinópolis (PA). 4. Sedimentos. I. Universidade Federal do Pará. II. Asp Neto, Nils Edwin, orient. III. Título.

CDD – 18.ed.: 551.7098115

Wladson da Silva Leite

**ESTRATIGRAFIA DE DUNAS COSTEIRAS DE SALINÓPOLIS/PA EM
ASSOCIAÇÃO COM VARIAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental (Ecologia de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos), da Universidade Federal do Pará, Campus de Bragança, para obtenção do título de Mestre em Biologia Ambiental.

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto

Orientador

Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho

Co-orientador

BRAGANÇA-PA

2010

Wladson da Silva Leite

**ESTRATIGRAFIA DE DUNAS COSTEIRAS DE SALINÓPOLIS/PA EM
ASSOCIAÇÃO COM VARIAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto (Orientador)
Universidade Federal do Pará, Instituto de Estudos Costeiros – UFPA

Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho (Co-orientador)
Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências - UFPA

Prof. Dr. Pedro Andrés Chira Oliva (Titular)
Universidade Federal da Pará, Instituto de Estudos Costeiros - UFPA

Prof. Dr. Ulf Mehlig (Titular)
Universidade Federal da Pará, Instituto de Estudos Costeiros - UFPA

Prof. Dr. Marcelo Rollnic (Titular)
Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências - UFPA

Setembro

2010

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	15
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3.	ÁREA DE ESTUDO	16
3.1.	LOCALIZAÇÃO.....	16
3.2.	GEOLOGIA LOCAL.....	17
4.	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1.	ESTRATIGRAFIA: MÉTODO GPR E SONDAgens.....	20
4.2.	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS.....	21
4.3.	SONDAGEM E SEDIMENTOLOGIA.....	22
4.4.	DATAÇÕES POR LUMINESCÊNCIA.....	24
4.4.1.	Fundamentação Teórica dos Métodos de Datação por Luminescência.	24
4.4.2.	Coleta das Amostras para Datação por Luminescência	26
4.5.	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	26
4.6.	ETAPAS DE CAMPO.....	26
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1.	DATAÇÃO POR LUMINESCÊNCIA ÓPTICA.....	32
5.2.	ESTRATIGRAFIA DAS DUNAS COSTEIRAS.....	33
5.3.	DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS TESTEMUNHOS.....	37
5.4.	CLIMATOLOGIA.....	42
6.	CONCLUSÕES	45
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	ANEXOS	53

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

FIGURA 1: Localização da área de estudo (imagem CBERS, 03/08/2010), com destaque para os sítios de estudo (quadrados vermelhos).....	17
FIGURA 2: Geologia da região do Atalaia, modificado de Silva (1996).....	18
FIGURA 3: Coluna estratigráfica da Zona Bragantina, modificado de Rossetti (2001).....	19
FIGURA 4: GPR (<i>Ground Penetrating Radar</i>) com uma antena de 400 MHz, utilizada no presente estudo.....	20
FIGURA 5: Apresentando o sistema de trados manuais utilizado, bem como uma exemplificação de sua operação.....	23
FIGURA 6: Organograma mostrando as etapas de peneiragem de sedimentos.....	24
FIGURA 7: Praia do Maçarico com os locais onde foram feitos os perfis de GPR e a coleta de testemunhos para datação e análise granulométrica.....	27
FIGURA 8: Lago da Coca-Cola localizado na Praia do Atalaia com os perfis de GPR e o testemunho utilizado na análise granulométrica.....	28
FIGURA 9: Duna parabólica localizada na praia do Atalaia mostrando os perfis de GPR e os testemunhos utilizados para análise granulométrica e datação.....	29
TABELA 1: Localização e detalhamento dos testemunhos e amostras coletadas.....	30
FIGURA 10: Trincheira em duna transversal próxima ao lago da coca-cola, evidenciando as lâminas de mineral pesado que permitem uma visualização e contraste ideais nos radargramas.....	31
TABELA 2: Localização e idade das amostras datadas.....	32
FIGURA 11: Radargrama mostrando o perfil 1307, localizado na praia do Maçarico e sua interpretação.....	34
FIGURA 12: Radargrama mostrando os perfis 1313 e 1314 localizados na praia do Atalaia e sua interpretação.....	36
FIGURA 13: Radargrama do Perfil 1309 e sua interpretação, evidenciando algumas superfícies de reativação no pacote eólico holocênico, bem como	37

FIGURA 14: Croquis de descrição dos testemunhos coletados e analisados.....	40
FIGURA 15: Distribuição granulométrica da praia do Maçarico obtida através de sondagem (SLA-2) realizada no cruzamento do perfil 1304 e 1305.....	41
FIGURA 16: Distribuição granulométrica da praia do Atalaia obtida através de sondagem (ATA-4) realizada no perfil 1313.....	41
FIGURA 17: Distribuição granulométrica da praia do Atalaia obtida através de sondagem realizada no perfil 1314.....	41
FIGURA 18: Parâmetros granulométricos das amostras dos testemunhos SLA-2, ATA-4 e ATA-5.....	42
FIGURA 19: Correlação de dados de precipitação e anomalias de TSM.....	43

DEDICATÓRIA

A minha Mãe Minervina com muito amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tantas graças alcançadas e pela sabedoria e capacidade de aprendizado, ao meu orientador professor Dr. Nils Asp que me ajudou bastante nas horas difíceis deste trabalho, ao professor Dr. Ilya Buynevich pelos equipamentos fornecidos e ao professor Dr. Pedro Walfir.

Agradeço aos meus pais, Wladir e Minervina Leite que sempre me deram forças nas horas difíceis da minha vida e me ensinaram a nunca desistir dos meus sonhos mesmo quando eles parecem tão distantes, aos meus irmãos Wanderson e Wladirzinho, e a minha sobrinha linda Ana Luiza. Agradeço a minha namorada Liliane da Mata pela força e companheirismo, muito obrigado minha linda! A Capes pela concessão da bolsa de Mestrado. Ao programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental e professores, e ao IECOS (Instituto de Estudos Costeiros).

Aos meus grandes amigos que estiveram presente ao longo do desenvolvimento desse trabalho, Kleiton, Jânio, Roney, Madson, Vando, Murilo, Paulo, Junho e toda a equipe do LAGECO (Laboratório de Geologia Costeira), muito obrigado pelo apoio.

RESUMO

O presente estudo foi realizado no município de Salinópolis, nas praias de Atalaia e Maçarico (PA/Brasil), com o objetivo de se obter um panorama morfo-estratigráfico das dunas costeiras e sua evolução recente na área, avaliando também as correlações com variações climáticas no Holoceno tardio. Na área de estudo foram realizados trabalhos nas dunas transversais e nas dunas parabólicas utilizando-se principalmente perfilagem geofísica com Radar de Penetração no Solo (GPR), sondagens, análises granulométricas e datações. Foi utilizado o sistema GPR digital SIR-2000 com uma antena de 200 MHz, para se obter a estratigrafia dos depósitos dunares, identificando suas fácies estratigráficas e possíveis reativações destas dunas em tempos pretéritos. Testemunhos de sedimentos foram coletados a partir de um sistema de trado manual para complementação, obtenção de material para análises e datações, especialmente nos locais onde os registros de GPR, e conseqüentemente a estratigrafia, se mostraram interessantes. Na Praia do Maçarico foram identificadas duas cristas de dunas frontais principais, com idades de 69 e 80 anos respectivamente com uma taxa média de progradação de 6 metros/ano. Na praia do Atalaia o cenário apresenta-se com caráter mais transgressivo, onde se observou uma feição provavelmente pleistocênica, embora a datação obtida indique uma idade de apenas 58 anos. A duna parabólica investigada nessa área revelou uma migração da ordem de 4 metros/ano, semelhante à taxa observada na praia do Maçarico e possivelmente correspondendo a fases anuais de migração, que ocorreriam durante o período seco e de ventos mais fortes. A estratigrafia das dunas na área de estudo mostra uma correspondência com as oscilações climáticas sazonais de pluviosidade e ventos, seu uso é de grande potencial para estudos climáticos.

Palavras-chave: Duna Parabólica, estratigrafia, Salinópolis, datação.

ABSTRACT

The present study was carried out at Salinópolis covering the Atalaia and Maçarico beaches (PA/North Brazil) to obtain a morpho-stratigraphic overview of the local coastal dunes and their evolution in Late Holocene, considering also climatic oscillations. Ground Penetrating Radar (GPR), auger coring, granulometric analysis and dating were used. The GPR-system SIR-2000 with a 400MHz antenna was used to reveal dune stratigraphy, including sedimentary facies and reactivation surfaces. At key-points of profiles sediment cores were obtained to proper interpretation of radargrams and sediment samples collection for grain size analysis and optical dating. At the Maçarico beach two main foredune crests were identified and dated at 69 and 80 years B.P. revealing a progradation rate of around 6 meters/year. The Atalaia beach presented a transgressive scenario, including retrogradation of the Holocene beach over older sediment layers, which include a feature interpreted as of Pleistocene age, although optical dating indicates an age of only 58 years B.P. due to actual sun light exposition. There, a parabolic dune was investigated and had revealed a migration rate of around 4 meters/year, where the reflectors indicate annual episodes of migration, possibly corresponding to the seasonal cycles of dryer periods and stronger winds. The general stratigraphy of the area seems to be a good tool for further studies on climate for the region, due to its good correlation with seasonal climatic patterns and long term register.

Key-words: Dune Parabolic, stratigraphy, Salinópolis, dating.

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira, região onde o continente encontra o mar, constitui uma zona de fronteira sujeitas a contínuas alterações morfodinâmicas, modeladas por processos de origem continental e marinha, apresenta grande variabilidade temporal e espacial, comportando-se como um sistema ambiental instável, desde o passado remoto até os dias atuais, em função de uma série de processos geológicos continentais e marinhos, muitos dos quais são fundamentalmente controlados por fatores meteorológicos. Esses processos, determinantes na formação de distintos tipos de costa, englobam movimentos tectônicos ao longo das margens continentais, oscilações do nível do mar e dinâmica erosiva e deposicional associada à ação de ondas, marés, correntes e também à ação fluvial, glacial e eólica (Silva *et al.*, 2004).

Os processos morfodinâmicos que atuam na linha de costa são representados por ações naturais físicas, biológicas e químicas, que exercem grande influência na modelagem costeira, seja através da ação destrutiva (erosão) em determinados locais ou da ação construtiva em outros (deposição) (Silva, *op. cit.*).

As praias são regiões que apresentam uma alta dinâmica, e estão em constantes mudanças causadas principalmente por ondas e marés, que são os principais agentes que controlam o transporte de sedimentos na região costeira.

As modificações morfológicas periódicas que se observam na maioria das praias são derivadas principalmente das alternâncias na energia das ondas. Ondas pequenas, de tempo bom, tendem a construir as praias, enquanto ondas de tempestade provocam erosão, transportando o material da praia para a região submersa imediatamente ao largo (Goldsmith, 1985). Essas modificações morfológicas são de grande importância para a formação de dunas costeiras principalmente quando há o acúmulo de sedimentos no pós-praia.

Dunas eólicas costeiras ocorrem onde existe grande suprimento de sedimentos arenosos com granulometria fina, ventos constantes capazes de mover as areias em um local apropriado onde estas podem se acumular. As planícies costeiras são, portanto, ambientes apropriados, onde estas condições são observadas em diversos locais. Nas regiões costeiras, campos de dunas eólicas podem se formar em clima árido, temperado e mesmo em áreas úmidas (Goldsmith, 1985).

As dunas compõem importante estoque de areias litorâneas, que podem ser remobilizadas pelos processos costeiros, sendo, portanto, de importância estratégica, pois servem de anteparo à erosão durante tempestades. Assim sendo, elas interagem com os processos litorâneos, “emprestando” areias para a praia e para a região da antepraia, permitindo a manutenção de um perfil de equilíbrio.

Praias e dunas formam um sistema complexo designado de Zona Litorânea Ativa, sendo caracterizada, na maioria das vezes, pela ação conjunta dos ventos e das ondas, que promovem o transporte e troca de sedimentos entre os componentes do sistema (Viles & Spencer, 1995).

A presença de vegetação costeira, em locais de clima mais úmido, favorece a estabilização das dunas, o que ocasiona sua menor mobilidade horizontal e maior crescimento vertical (Silva *et al.*, 2004).

As dunas são classificadas de diferentes maneiras na literatura científica, Goldsmith (1985) considera dois tipos principais de dunas em sua classificação: dunas vegetadas e cadeias de dunas transversas. As dunas vegetadas normalmente formadas por dunas parabólicas, onde apenas o “nariz” da duna caminha perpendicularmente ao litoral, na direção predominante do vento, enquanto que os “braços” das dunas são fixos pela vegetação. As dunas transversas envolvem as dunas migratórias, onde não existe o efeito de fixação ocasionado pela vegetação. Estas dunas movem-se livremente em direção ao continente, em resposta aos ventos litorâneos predominantes, podendo estar isoladas, na forma de dunas barcanas, ou formando cadeias transversais ou longitudinais.

Glennie (1970) e Reineck & Sing (1980) classificam as dunas por sua dinâmica deposicional e/ou erosional, sendo reconhecido os seguintes tipos: dunas estacionárias e dunas migratórias.

As dunas estacionárias têm sua imobilidade decorrente de fatores como o aumento de umidade, agregação dos grãos, atuação de obstáculos internos (troncos, blocos de rocha, etc.) ou o desenvolvimento de vegetação de fixação. Nas dunas migratórias o transporte de grão segue inicialmente o ângulo da face de barlavento, depositando-se a seguir no sotavento, gerando uma estrutura interna de leitos com mergulho próximo da inclinação do sotavento (a inclinação máxima para a existência de repouso dos sedimentos é de 34°, de acordo com Reineck & Sing, 1980) e causando a migração do corpo da duna.

A migração de dunas pode ocasionar problemas de soterramento e assoreamento nas zonas litorâneas brasileiras, bem como o desvio do curso natural de rios próximos à costa. Diferentes técnicas são utilizadas na tentativa de imobilizar dunas migratórias, sendo a mais eficiente delas o plantio de vegetação psamofítica ou de certas gramíneas, a barlavento, tornando a duna estacionária (Goldsmith, 1978; Reineck & Sing, 1980; Mckee, 1983).

De acordo com Reineck & Sing (1980), o vento constitui-se em um eficiente meio de transporte e deposição de partículas, bem como de um eficiente agente selecionador de grãos, porém não se constitui numa ferramenta eficiente para efetuar erosão significativa.

Goldsmith (1985) observa que a aerodinâmica e, portanto, a própria forma da duna, variam com a velocidade do vento, onde em ventos de baixa velocidade, o valor crítico da velocidade de cisalhamento necessário para remover e transportar sedimento não é alcançado, exceto próximo à crista da duna, fazendo com que haja transporte basicamente nestas imediações. Desta forma, ventos de baixa velocidade apresentam uma tendência a produzir um achatamento do topo e da crista da duna, além do alongamento do seu perfil, enquanto que em situações de ventos de alta velocidade, tende a prevalecer a retirada de materiais de barlavento (frente da duna) em direção à face de sotavento (parte de trás da duna).

A ação eólica também condiciona a organização dos grãos de areia, produzindo estruturas sedimentares conhecidas como marcas onduladas e estratificação cruzada. Feições como dunas e certos tipos de marcas onduladas e de estratificação cruzada, quando preservados no registro geológico, representam evidências inegáveis de atividade eólica no passado, permitindo muitas vezes a reconstituição do cenário paleoambiental e paleogeográfico do local (Sígolo, 2003).

Os sedimentos associados às atividades eólicas compõem-se quase que exclusivamente de pequenos grãos de quartzo, sendo, portanto, monominerálicos. Esta característica está ligada à abundância desse mineral nas rochas comuns da crosta terrestre e à sua grande resistência à alteração intempérica. Além disso, depósitos de origem eólica exibem elevada seleção granulométrica como característica peculiar (Sígolo, *op. cit.*).

Feições características da ação eólica podem ser reconhecidas em sedimentos antigos e rochas sedimentares, permitindo a reconstituição de diferentes paleoambientes eólicos. Por exemplo, a identificação em sedimentos antigos de

estruturas internas e externas típicas das dunas atuais, tais como estratificações cruzadas, marcas onduladas, barlavento e sotavento, permite o reconhecimento de uma duna fóssil. Através da análise da orientação das faces barlavento e sotavento em dunas fósseis, é possível identificar o sentido preferencial do vento na época de sua formação (Sígolo, *op. cit.*).

No litoral norte do Brasil (região amazônica) dunas costeiras não são feições predominantes, tanto em função de um regime de macro-marés, quanto por conta de um importante aporte de sedimentos finos, desfavoráveis ao desenvolvimento de dunas (Souza Filho *et al.*, 2009). No entanto, na região nordeste do estado do Pará o regime de ventos e uma plataforma continental predominantemente composta por areias de granulometria fina favorece a formação de dunas costeiras.

Na área de estudo, localizada no município de Salinópolis/PA, existe uma grande escassez de estudos sobre taxa de migração e estratigrafia de dunas, devido essa carência o presente estudo tenta suprir a falta de informações sobre as dunas costeiras da região nordeste do Pará. O entendimento dos processos de reativação e migração de dunas pode ser uma importante ferramenta para a identificação de eventos de El Niño na região amazônica (períodos secos), que resultariam em fases de reativação e migração.

Neste contexto o presente estudo está inserido no projeto PARADIME (*Pará Dunes Into the Modes of Evolution*), coordenado pelo Prof. Dr. Ilya V. Buynevich do *Woods Hole Oceanographic Institution* (EUA), contando com a participação dos orientadores desta proposta.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

- Obter um panorama morfoestratigráfico das dunas costeiras e sua evolução recente no município de Salinópolis (PA/Brasil), utilizando-o como ferramenta na avaliação das variações climáticas no Holoceno tardio.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar através dos radargramas, as radarfácies das dunas costeiras das praias do Maçarico e de Atalaia, com destaque para superfícies de reativação;
- Obter através de sondagens e datações óticas combinadas aos radargramas informações da crono-estratigrafia das dunas costeiras, especialmente referentes às taxas de migração;
- De posse do panorama morfo-estratigráfico, avaliar aspectos da evolução das dunas costeiras;
- Obter um panorama das variações climáticas (precipitação e ventos) das últimas décadas e buscar correlacionar estas variações com a dinâmica das dunas, avaliando seu potencial como ferramenta para estudos climáticos e ecológicos na região costeira amazônica.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO

A praia do Atalaia, distante aproximadamente 220 km de Belém, está localizada na ilha de mesmo nome, pertencente ao Município de Salinópolis (Figura 1). A mesma encontra-se limitada pelos paralelos 00°35'22" S e 00°38'43" S e meridianos 47° 15' 47" W e 47° 21' 12" W. A ilha do Atalaia limita-se à leste com a baía de Arepépó, a oeste com o canal de maré Destacado, a sul com o rio Sampaio e sua porção norte é voltada para o Oceano Atlântico (Gregório, 2004).

A região costeira de Salinópolis apresenta características peculiares da Região Equatorial, temperatura média anual em torno de 27,7° C, sendo as médias mínimas e máximas com valores de 25,1° C e 31,0° C, respectivamente. O período entre julho a dezembro é caracterizado como o mais quente do ano (Mengawaco, 1995).

O clima na costa amazônica é governado por mudanças sazonais na posição da Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT) e linhas de instabilidade. Climatologicamente, a posição latitudinal da ZCIT é cerca de 14° N em agosto e setembro, e cerca de 2° S em março e abril. A média anual de precipitação ao longo da costa estudada (região nordeste do Pará) aumenta em direção a oeste, de 2250 mm em Tracuateua para 2650 mm em Salinas. Um registro anual de trinta anos da estação meteorológica de Tracuateua, 15 km a oeste de Bragança, indica que a precipitação média anual varia de 2300 mm a 2800 mm. A estação chuvosa é bem definida entre Janeiro e Abril, quando 73% da precipitação anual ocorre. A estação seca ocorre entre Setembro e Novembro com precipitações médias próximas de zero (Souza Filho *et al.*, 2009).

Baseados em dados de vento (Janeiro de 2003 a Maio de 2005) de uma estação meteorológica localizada na península do Caeté, os ventos alísios de leste sopram ao longo do ano, com velocidades médias entre 2 m.s⁻¹ e 4 m.s⁻¹. Variações sazonais, contudo, ocorrem devido a proximidade da ZCIT entre Janeiro e Abril. Enquanto que ventos de leste representam 70% dos registros na estação seca, com velocidades médias entre 4 m.s⁻¹ e 6 m.s⁻¹. Ventos mais fortes ocorrem em Setembro, com uma velocidade máxima de cerca de 10 m.s⁻¹. (Souza Filho *op. cit.*).

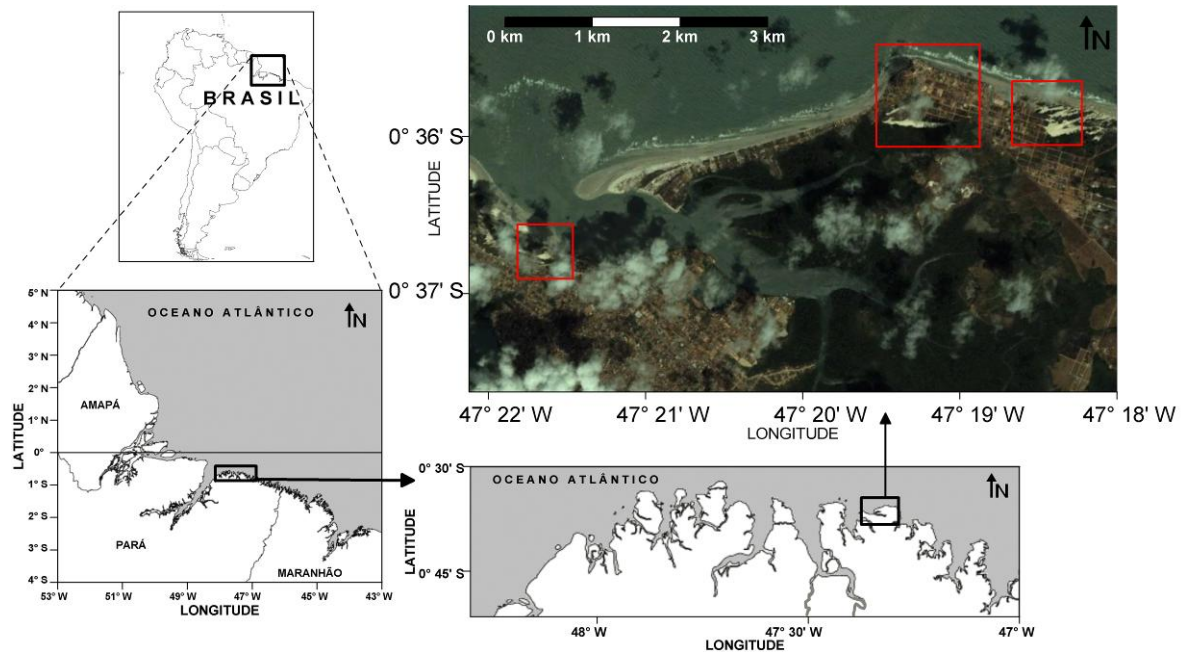


Figura 1: Localização da área de estudo (imagem de satélite extraída do GoogleEarth), com destaque para os sítios de estudo (quadrados vermelhas).

3.2. GEOLOGIA LOCAL

Na planície costeira de Salinópolis estão presentes três unidades litoestratigráficas: Formação Pirabas, o Grupo Barreiras e os Depósitos Holocênicos. A formação Pirabas com afloramento principalmente na região litorânea do nordeste do Pará é constituída por rochas carbonáticasossilíferas depositadas durante o Mioceno inferior (Góes *et al.*, 1990) (Figura 2 e 3).

O Grupo Barreiras é constituído por sedimentos areno-argilosos e ocasionalmente conglomeráticos, mal consolidados, e ocorre discordante sobre as rochas cretácicas ou rochas do embasamento.

Os depósitos Holocênicos da Planície Costeira de Salinópolis são representados pelas praias, dunas e planícies de maré (lamosa e arenosa). Silva (1996) dividiu os depósitos Holocênicos em quatro unidades morfológicas: Planalto Costeiro, Planícies Estuarinas, Planície de Maré e Planície Litorânea onde este autor enquadra o Campo de Dunas (Figura 2).

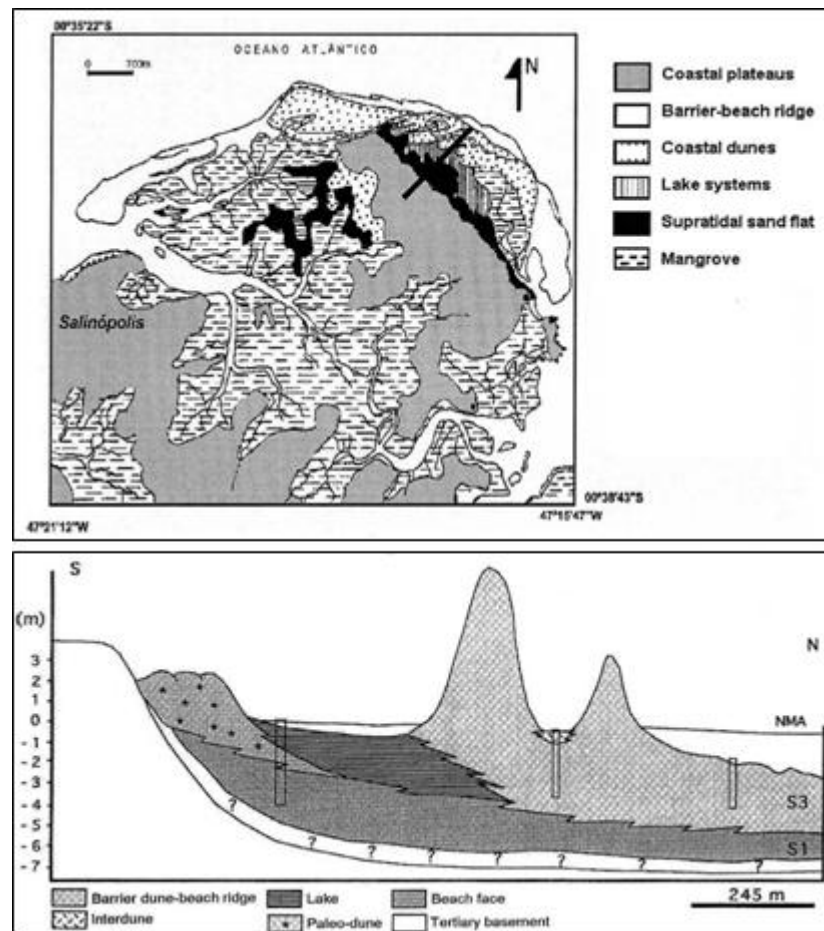


Figura 2: Geologia da região do Atalaia, modificado de Silva (1996).



IDADE		UNIDADE LITOLÓGICA/ESTRATIGRÁFICA
PLIOCENO/ QUATERNÁRIO		 Pós-Barreiras
MIOCENO	SUP	(paleossolo laterítico)
	MÉDIO	Fm Barreiras (média/superior)
	INFERIOR	Fm Barreiras (inferior)
OLIGOCENO SUPERIOR		 Fm Arabas <p>(paleossolo laterítico/bauítico)</p>
CRETÁCEO		Grupo Itapecuru

Figura 3: Coluna estratigráfica da Zona Bragantina, modificado de Rossetti (2001).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. ESTRATIGRAFIA: MÉTODO GPR E SONDAGENS

O GPR (*Ground Penetrating Radar*) consiste em uma técnica geofísica baseada na propagação e reflexão de ondas eletromagnéticas, que permite obter imagens de alta resolução em subsuperfície rasa. O princípio deste método envolve a transmissão de pulsos curtos de ondas eletromagnéticas de alta frequência (10 a 1000 MHz), que são propagadas para o interior da terra por uma antena transmissora (Robinson & Michaud, 1999). Quando o pulso transmitido encontra mudanças abruptas nas propriedades dielétricas (densidade, condutividade, saturação e etc.), parte da energia é refletida e difratada, sendo captada em superfície por uma antena receptora (figura 4).

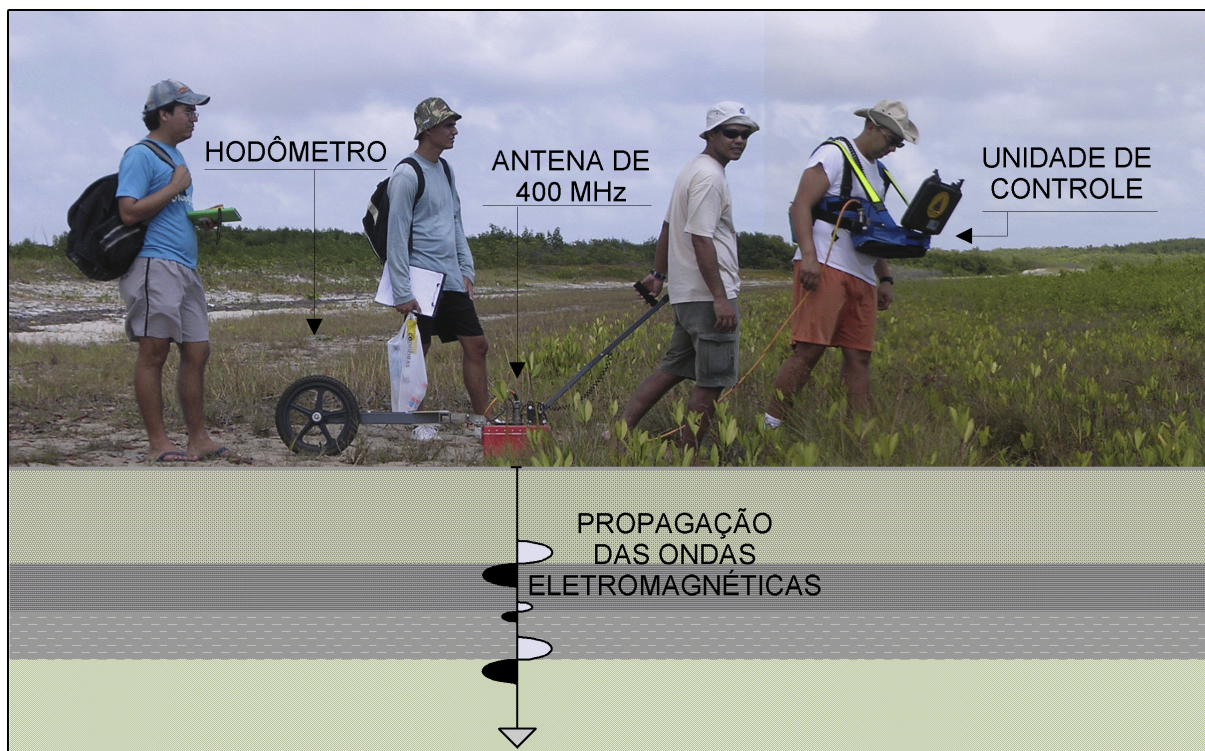


Figura 4: GPR (*Ground Penetrating Radar*) com uma antena de 400 MHz, utilizada no presente estudo.

Os sinais de GPR são visualizados em um perfil denominado Radargrama, onde o eixo horizontal representa a distância da origem do levantamento e o eixo vertical corresponde ao tempo duplo de viagem das ondas (Robinson & Michaud, 1999). As diferenças na transmissão/resistência ao sinal aparecem então como camadas mais claras ou mais escuras no radargrama, permitindo a interpretação estratigráfica. A propagação do sinal eletromagnético depende, além das propriedades elétricas das camadas a serem atravessadas, da frequência do sinal transmitido (Neal *et al.*, 2002). Assim, variando-se a frequência emitida e captada pela antena, obtêm-se os melhores resultados de penetração e resolução em cada situação.

Para o estudo geofísico na área de estudo foi utilizado o sistema GPR digital SIR-2000 com uma antena de 400 MHz (Figura 4). Testemunhos de sedimentos foram coletados a partir de um sistema de trado manual para complementação, obtenção de material para análises granulométricas e datações, especialmente nos locais onde os registros de GPR, e conseqüentemente a estratigrafia, se mostram interessantes (superfícies de reativação).

4.2. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Os parâmetros considerados na análise estatística foram: Mediana, seleção, assimetria. A distribuição dos tamanhos de grãos de cada amostra foi analisada estatisticamente através das equações propostas por Folk & Ward (1957). Os parâmetros estatísticos utilizados são descritos com suas respectivas fórmulas matemáticas.

Mediana (Md): É o tamanho do grão presente no percentil 50, pode ser lida diretamente nas curvas de frequência acumulada em escala probabilística. E representa exatamente o meio da amostra (em peso), onde os 50% da esquerda são de grosseiros e os 50% da direita são dos finos.

Grau de Seleção (So): Mede a dispersão dos tamanhos de grão, ou a tendência que os grãos têm de está em uma classe.

$$S_o = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2}$$

Assimetria (SK_0): É a tendência da curva deslocar-se para os extremos dos finos (assimetria positiva) ou dos grosseiros (assimetria negativa), formando as caudas da distribuição.

$$SK_0 = \frac{\phi 84 + \phi 16 - 2(\phi 50)}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 95 + \phi 5 - 2(\phi 50)}{2(\phi 95 - \phi 5)}$$

4.3. SONDAGEM E SEDIMENTOLOGIA

Para a sondagem e caracterização das camadas sedimentares superiores foi utilizado um sistema de trados manuais (*Bailer Boring Auger Set – EIJKELKAMP*), que permite a sondagem de camadas de até 10 metros de sedimentos inconsolidados. O sistema consiste basicamente em ponteiras e secções prolongadoras que podem ser adicionadas, ver figura 5. Normalmente o lençol freático limita a sondagem, mas esta limitação pode ser superada com o revestimento do furo por tubos acessórios.

Os locais para a obtenção das sondagens foram escolhidos em função dos radargramas visualizados *in situ*. Com o trado foi possível a obtenção de amostras de sedimento em profundidades variadas, assim como uma melhor interpretação granulométrica dos radargramas, sendo esta a função fundamental das sondagens realizadas.

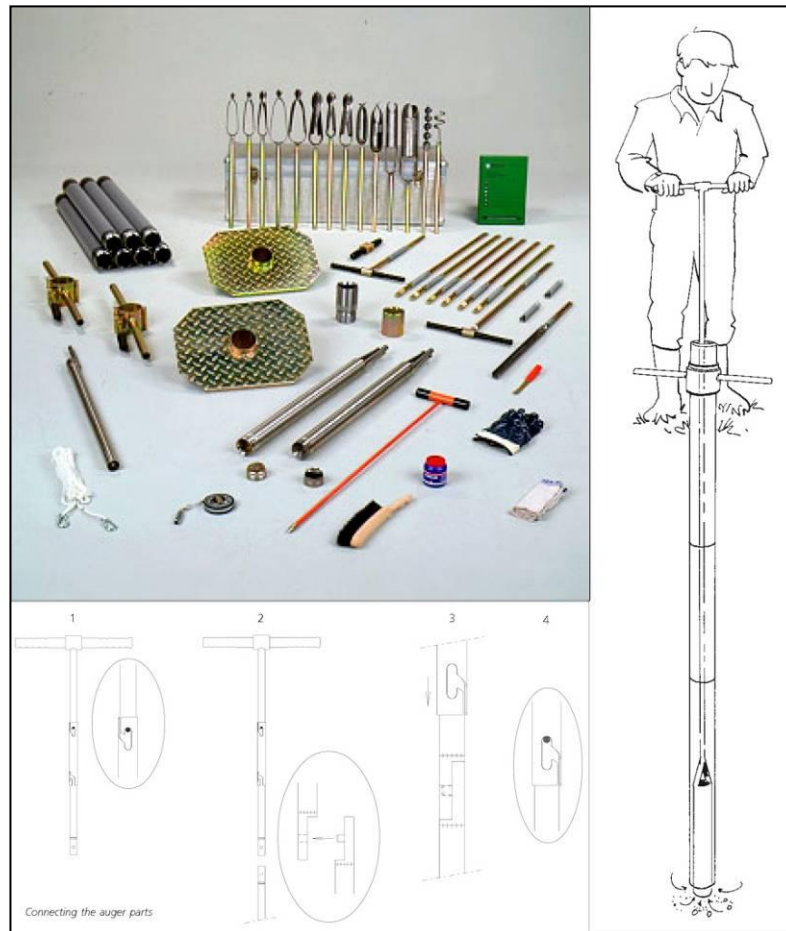


Figura 5: Apresentando o sistema de trados manuais utilizado, bem como uma exemplificação de sua operação.

As amostras de sedimentos coletadas por sondagem, além de amostras superficiais de sedimento, foram submetidas à análise granulométrica para diferenciação em detalhe das camadas e dos processos de transporte associados.

No laboratório, utilizou-se 100 gramas de cada amostra coletada. Todos foram lavados para remoção de sais e colocados na estufa com temperatura de 60°C durante 48 horas. Posteriormente o peneiramento a seco foi realizado através de um agitador de peneiras, sendo o intervalo utilizado entre as peneiras de $\frac{1}{4}$ de Φ da escala granulométrica de Wentworth (1922), para que as pequenas variações granulométricas dos sedimentos eólicos pudessem ser avaliadas (figura 6).

O termo phi (Φ), proposto por Krumbein (1934), é o logaritmo negativo na base dois do diâmetro das partículas em milímetros. As amostras foram peneiradas durante 10 minutos seguindo a metodologia de Lindholm (1987). O material acumulado em cada peneira foi pesado e apresentado segundo a interpretação de

Folk & Ward (1957). Nas análises estatísticas foram obtidas: Média, Mediana, Seleção, Assimetria e Curtose.

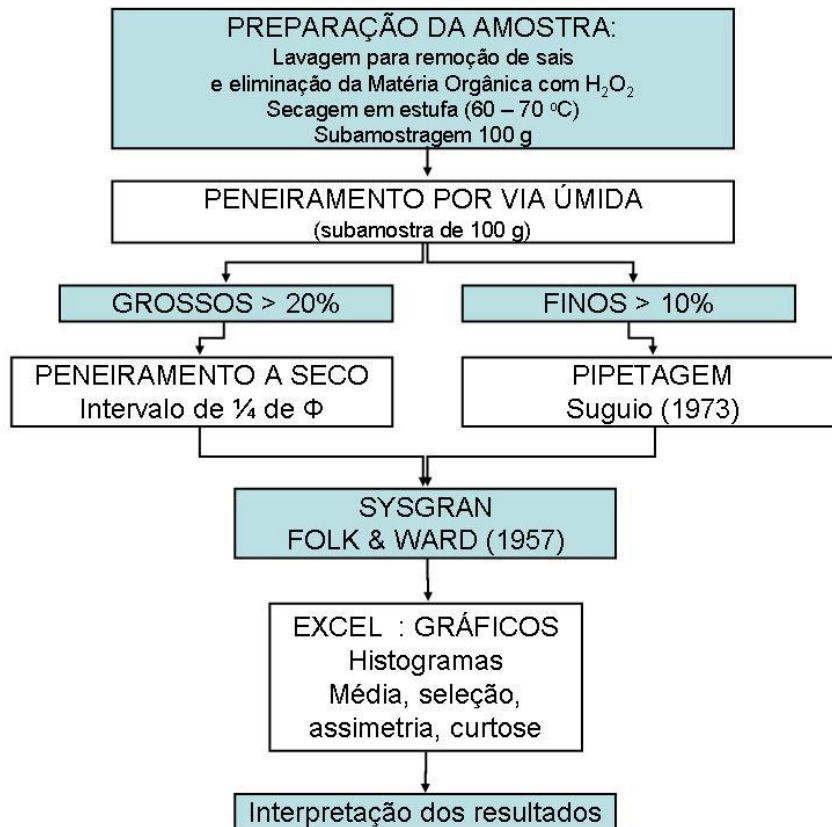


Figura 6: Organograma mostrando as etapas de peneiragem de sedimentos.

4.4 DATAÇÕES POR LUMINESCÊNCIA

4.4.1 Fundamentação teórica dos métodos de datação por luminescência

Vários autores utilizaram métodos de estimativa baseando-se em parâmetros como idade relativa, morfologia, topografia, textura, extensão, litologia, coloração e etc., para classificar e datar as gerações de dunas.

A partir da década de 80 teve início o uso da técnica da Termoluminescência (TL) para a datação de depósitos sedimentares de diferentes ambientes geológicos: marinho profundo, praias, estuarinos, fluviais, espeleológicos, vulcânicos, regiões com ocorrência de falhas geológicas e, de forma específica, em sedimentos eólicos

(Wintle & Huntley, 1980; Matsuoka *et al.*, 1984; Dreimanis *et al.*, 1985; Berger, 1988; Less *et al.*, 1990; Nanson *et al.*, 1992; Shulmeister & Less, 1992; Tatumi *et al.*, 1992 e Tatumi *et al.*, 1993).

No Brasil, alguns pesquisadores tem desenvolvido trabalhos voltados na aplicação de datação por TL em geologia do Quaternário, sendo essa metodologia empregada principalmente da datação de sedimentos eólicos, Poupeau *et al.* (1988), Dillenburg (1994), Barreto (1996), Maia *et al.* (1999).

O termo luminescência refere-se à luz emitida por materiais cristalinos ou vítreos quando submetidos ao aquecimento por uma fonte de calor ou luz ultravioleta. Na LOE (ou OSL *optically stimulated luminescence*), a emissão da luz é estimulada pela luz ultravioleta. O método de Datação por Luminescência tem como princípio básico a ionização de átomos e moléculas de um mineral por radiação α , β , e γ , que provém de elementos naturais como ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K . Os elétrons livres produzidos por essa ionização circulam pela estrutura do mineral até serem capturados por defeitos (“armadilhas”) existentes na estrutura do cristal, podendo ficar aprisionados por centenas, milhares ou até milhões de anos. Quando o mineral sofre aquecimento ou exposição à luz solar, os elétrons que estavam aprisionados absorvem energia para escapar das “armadilhas” e então regressar para os átomos aos quais estavam anteriormente ligados. Esse processo de reorganização implica emissão de luz visível, denominada Termoluminescência (Silva, 2002).

A intensidade da luz emitida, ou o número de fótons produzidos, pode ser medida proporcionalmente ao número de elétrons aprisionados que, por sua vez, é proporcional à dose total de irradiação ionizante recebida pelo mineral. O sinal TL de um mineral é destruído quando aquecido a altas temperaturas (maiores que 300°C), exposto a luz solar, ou quando da ocorrência de sua recristalização (Silva, *op.cit.*).

Uma superfície de duna, quando exposta à luz solar por mais de duas horas (pelo efeito de fotoesvaziamento, ou *bleaching*), perde quase que totalmente qualquer TL (termoluminescência) anteriormente induzida, sendo este momento considerado o “marco zero” do relógio geológico. À medida que essa camada vai sendo coberta por novas camadas, e não sofrendo mais a incidência de raios do sol, começa a acumular termoluminescência (TL), (Silva, *op.cit.*).

4.4.2 Coleta das amostras para datação por luminescência

Para a coleta de amostras de sedimentos foram utilizados tubos de PVC que foram introduzidos lateralmente em pequenos poços feitos especificamente para este fim, para evitar exposição à luz das amostras. Em todos os casos as amostras foram obtidas entre 50 e 70 cm profundidade, sempre acima do nível do lençol freático.

Em seguida, já com os sedimentos aprisionados no interior dos tubos de PVC, estes foram devidamente vedados para evitar que as amostras recebessem radiação solar através das extremidades dos tubos. As amostras foram enviadas ao Dr. R.J. Goble (Departamento de Geociências, Universidade de Nebraska-Lincoln) para a datação.

4.5. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A preparação das amostras foi realizada sob condições de luz âmbar. As amostras são peneiradas a úmido para extrair a fração granulométrica de 90-150 μm , e em seguida tratados com 1N HCL para eliminar os carbonatos. Grãos de quartzo e feldspato foram extraídos por flotação, utilizando uma solução 2,7 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ de sódio politungstato, em seguida, tratados por 75 minutos em HF 48%, seguido por 30 minutos em 47% HCl. A amostra então revista e a fração < 90 μm descartada para remover os grãos residuais de feldspato. Os grãos de quartzo gravados são montados no interior de 2 mm ou 5 mm de 1 centímetro de discos de alumínio utilizando Silkospray.

As análises químicas foram realizadas por Chemex Labs, Inc., Sparks, NV (Nevada-USA), usando uma combinação de ICP-MS e ICP-AES. Taxas-Dose são calculadas utilizando o método de Aitken (1998) e Adamiec & Aitken (1998). A contribuição cósmica à taxa-dose foi determinada utilizando as técnicas de Prescott & Hutton (1994).

4.6 ETAPAS DE CAMPO

Na praia do Maçarico foram obtidos cinco perfis de GPR, sendo que apenas os perfis 1305, 1306 e 1307 foram utilizados neste trabalho para interpretação da estratigrafia (Resultados). Foram coletados testemunhos para análise granulométrica, datação e caracterização da área de estudo. O testemunho coletado

para caracterização da área de estudo foi o SLA-1, atingindo um comprimento de 106 cm, coletado no perfil 1306, o lençol freático atingiu uma profundidade de aproximadamente 80 cm; SLA-2 coletado no perfil 1304 foi utilizado para análise granulométrica e atingiu uma profundidade de 160 cm, o lençol freático atingiu uma profundidade de 140 cm; e SLA-3 coletado no perfil 1305 e com uma profundidade de 80 cm, foi utilizado para caracterização da área de estudo, o lençol freático atingiu uma profundidade de 80 cm. No perfil 1307 foram coletados sedimentos para datação (SLO-1 e SLO-2). Usualmente a limitação de profundidade dos testemunhos se deu pelo lençol freático, que normalmente impede a sondagem mais profunda com trado manual em terrenos arenosos (Figura 7).

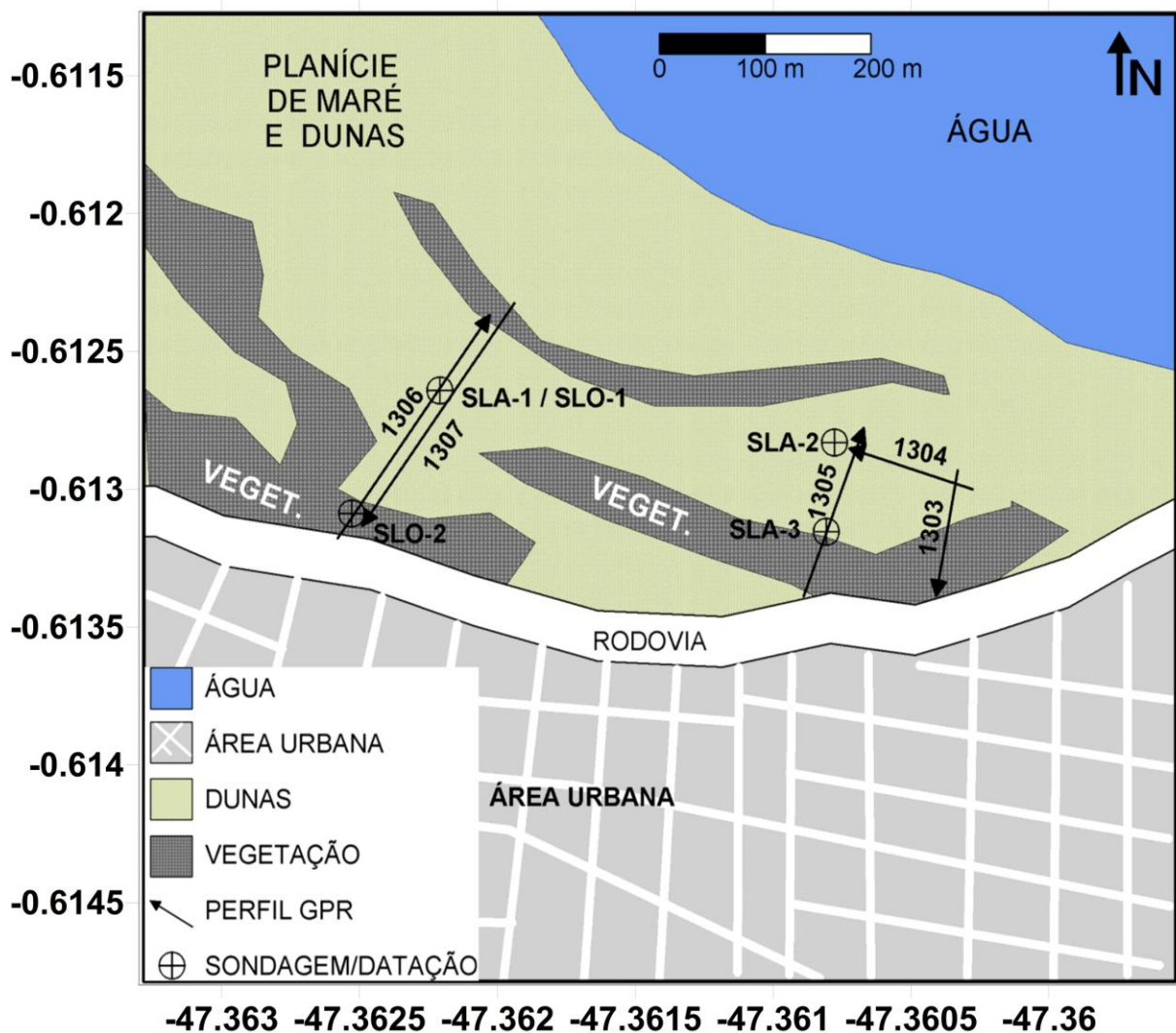


Figura 7: Praia do Maçarico com os locais onde foram feitos os perfis de GPR e a coleta de testemunhos para datação e análise granulométrica.

Na região da praia de Atalaia foram avaliadas duas áreas: proximidades do lago da Coca-Cola e a área de afloramentos da Formação Pirabas onde está a duna parabólica. Nas proximidades do lago da Coca-Cola foram obtidos três perfis de GPR (1308, 1309 e 1310) e também três testemunhos. O testemunho ATA-1, utilizado para caracterização da área de estudo e datação (ATO-0), foi coletado no perfil 1309 e atingiu um comprimento de 140 cm, o lençol freático obteve uma profundidade de aproximadamente 110 cm. O testemunho ATA-2 utilizado para caracterização da área de estudo foi obtido ao longo do perfil 1308 na depressão adjacente ao lago Coca-Cola, atingiu uma profundidade de 130 cm e o lençol freático foi alcançado a 5 cm de profundidade. O testemunho ATA-3 coletado no perfil 1311, utilizado para datação (ATO-1) foi obtido diretamente na margem do lago Coca-Cola, com 0,80 cm de comprimento, o lençol freático foi encontrado superficialmente. (Figura 8).

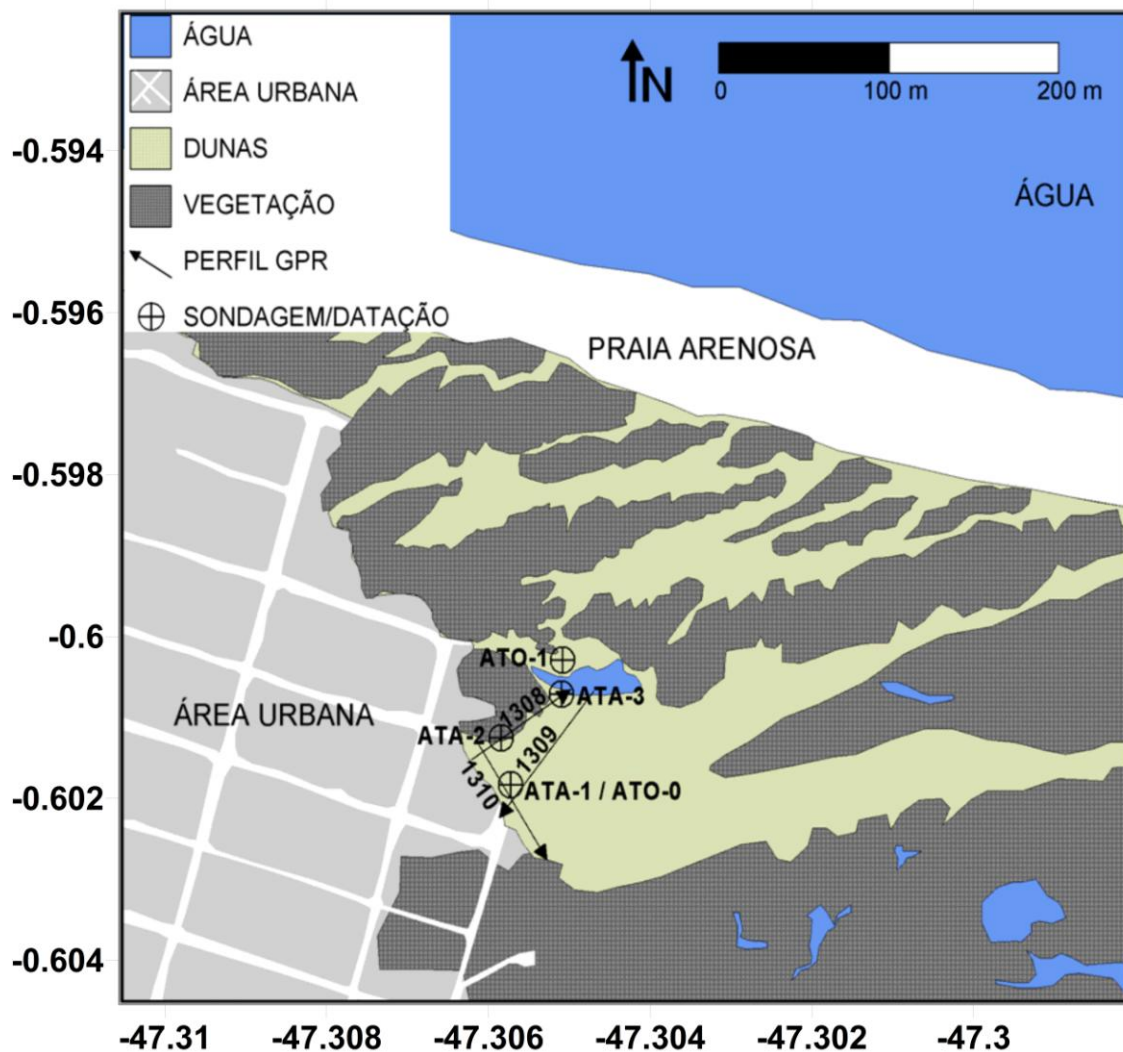


Figura 8: Lago da Coca-Cola localizada na Praia do Atalaia com os perfis de GPR e o testemunho utilizado na análise granulométrica.

Na área da duna parabólica e afloramentos do Pirabas (praia do Atalaia) foram realizados nove perfis de GPR localizados na frente e sobre a duna, sendo que apenas os perfis, 1313 e 1314 foram utilizados na interpretação da estratigrafia, pois resumem as principais características encontradas na área de estudo, seis testemunhos foram coletados. O testemunho ATA-4 localizado no perfil 1313 foi coletado a 1 m, 2 m e 3 m de profundidade, ATA-5 localizado no perfil 1314 foi coletado a 0,5 m, 1,0 m e 1,5 m, estes testemunhos foram utilizados na análise granulométrica. Os testemunhos ATO-2 localizado no perfil 1313, ATO-3 e ATO-4 localizado no perfil 1314 e ATO-5 localizado no perfil 1320 foram utilizados para datação (Figura 9).

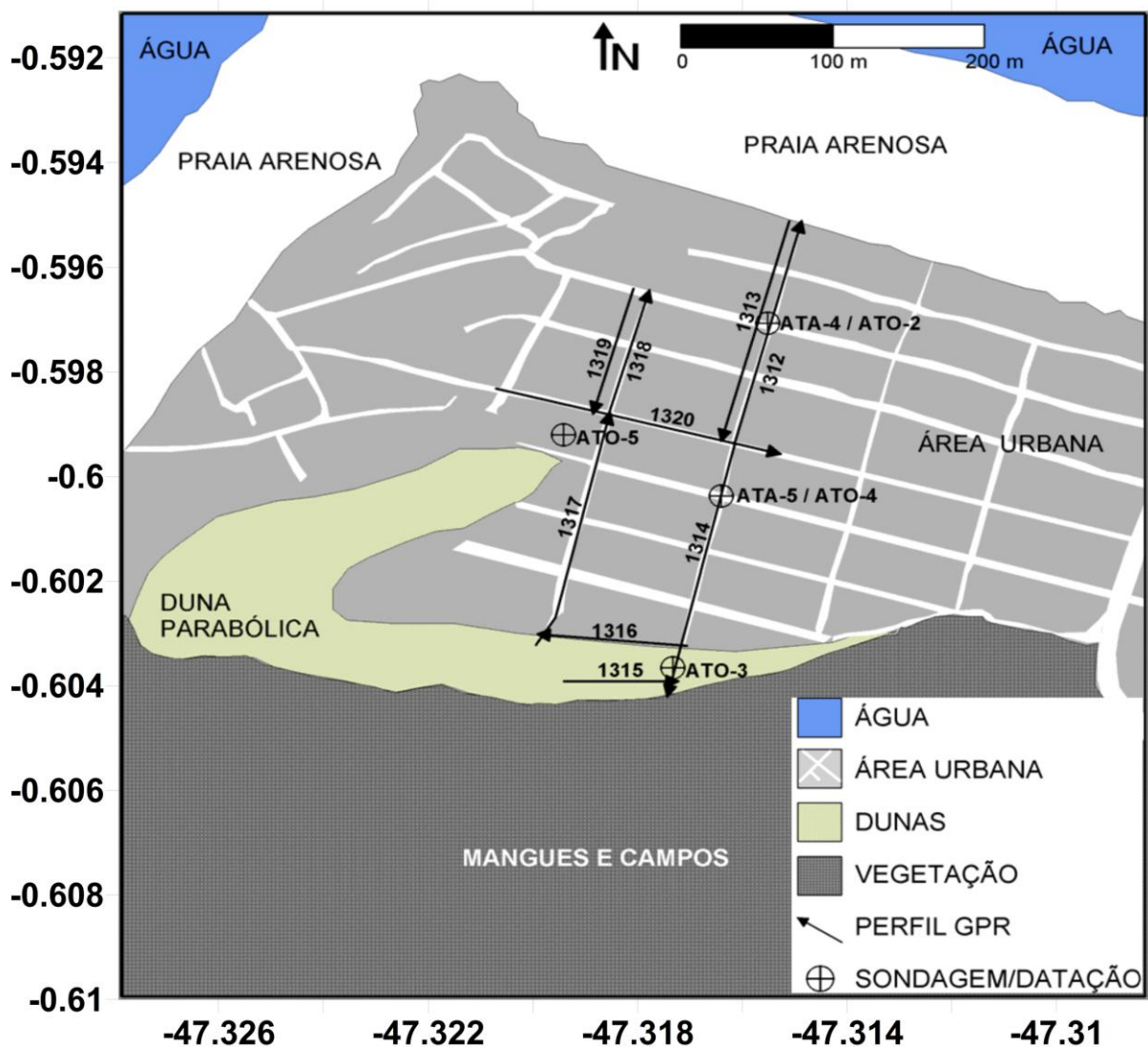


Figura 9: Duna parabólica localizada na praia do Atalaia mostrando os perfis de GPR e os testemunhos utilizados para análise granulométrica e datação.

O detalhamento dos testemunhos (sondagens) e amostras coletadas é apresentado na Tabela 1, incluindo os três sítios amostrados: Praia do Atalaia, Lago da Coca-Cola e Praia do Maçarico.

Tabela 1: Localização e detalhamento dos testemunhos e amostras coletadas.

IDENTIFICAÇÃO PERFIL/TEST.	COMP. DO TESTEMUNHO	LOCAL	AMOSTRAS P/ GRANULOMETRIA	AMOSTRAS P/ DATAÇÃO
1306 / SLA-1	1,06 m	Maçarico	Caracterização da área de estudo	
1304 / SLA-2	1,65 m	Maçarico	Granulometria #1 (SUPERFÍCIE) # 2 (1,2 m) # 3 (1,6 m)	
1305 / SLA-3	0,80 m	Maçarico	Caracterização da área de estudo	
1307		Maçarico	Caracterização da área de estudo	SLO-1 (0,50 m) / SLO-2 (0,50 m)
1309 / ATA-1	1,40 m	Atalaia (Lago Coca-Cola)	Caracterização da área de estudo	ATO-0
1308 / ATA-2	1,30 m	Atalaia (Lago Coca-Cola)	Caracterização da área de estudo	
1311 / ATA-3	0,80 m	Atalaia (Lago Coca-Cola)	Caracterização da área de estudo	ATO-1 (0,50 m)
1313 / ATA-4	3,00 m	Atalaia (Duna Parabólica)	Granulometria #1 (1 m) # 2 (2 m) # 3 (3 m)	ATO-2 (0,50 m)
1314 / ATA-5	1,60 m	Atalaia (Duna Parabólica)	Granulometria #1 (0,5 m) # 2 (1 m) # 3 (1,5 m)	ATO-3 (0,50 m) / ATO-4 (0,50 m)
1320		Atalaia (Duna Parabólica)	Caracterização da área de estudo	ATO-5 (0,50 m)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral a presença de camadas delgadas de minerais pesados de coloração escura, associados à erosão, nos contatos entre fases deposicionais, proporcionou bom contraste e visualização da estratigrafia das dunas estudadas através do GPR (Figura 10).



Figura 10: Trincheira em duna transversal próxima ao lago da Coca-Cola, evidenciando as lâminas de mineral pesado que permitem uma boa visualização e contraste nos radargramas.

Os principais refletores observados nos registros podem ser divididos em dois grupos básicos: horizontais/sub-paralelos e sigmoidais. O primeiro corresponde ao embasamento, representado por vezes pelo Grupo Barreiras, e por vezes pela Formação Pirabas; o lençol freático; e superfícies erosionais, seguidas de novas fases de deposição. Os refletores sigmoidais correspondem às fases/superfícies de reativação (migração) das dunas. Esses refletores também foram encontrados por Rossetti *et al.* (2001) na mesma área de estudo.

Embora não se tenha realizado levantamento topográfico concomitantemente à perfilagem com o GPR, a identificação do lençol freático aliada às observações de campo, permitiu também o ajuste dos perfis com relação à elevação.

Naturalmente, as sondagens, análises granulométricas e datações propiciaram uma melhor interpretação dos radargramas. Com relação às idades, as datações revelaram dunas ativas e com sedimentos e camadas notadamente mais jovens que o esperado, que era de idades milenares. Com datações seqüenciais em

alguns perfis onde a estratigrafia se mostrava interessante pôde-se também estimar taxas de migração pela distância entre os refletores. A seguir os principais resultados obtidos são apresentados e discutidos.

5.1. DATAÇÃO POR LUMINESCÊNCIA ÓPTICA

Os testemunhos feitos na praia do Maçarico utilizados para datação, SLO-1 e SLO-2, obtiveram idades de 69 ± 56 anos e 80 ± 43 anos respectivamente, mostrando que as dunas do Maçarico são muito jovens (ver figura 7). O testemunho da praia do Atalaia nas proximidades do lago da coca-cola, ATO-1, obteve uma datação de 17 ± 5 anos, também sendo uma duna muito jovem (ver figura 8). Os testemunhos ATO-2, ATO-3, ATO-4 e ATO-5 feitos na praia do Atalaia nas proximidades da duna parabólica obtiveram respectivamente 58 ± 16 anos, 37 ± 21 anos, 140 ± 10 anos e 92 ± 5 anos. As idades nesta área mostram-se muito jovens, principalmente ATO-2, que aparentava ser uma praia-duna mais antiga (estabilizada), devido a sua coloração amarelada por causa da oxidação do ferro e sua elevação (ver figura 9). A tabela 2 apresenta a localização e idade das amostras datadas.

Tabela 2: Localização e idade das amostras datadas

Amostra	Local	Profundidade	Idade corrigida (OL)
SLO-1	MAÇARICO	50 cm	69 ± 56 anos
SLO-2	MAÇARICO	50 cm	80 ± 43 anos
ATO-0	ATALAIA (Área lago Coca-cola)	30 cm	0 ± 34 anos
ATO-1	ATALAIA (Área lago Coca-cola)	50 cm	17 ± 5 anos
ATO-2	ATALAIA (Praia – Duna Parabólica)	50 cm	58 ± 16 anos
ATO-3	ATALAIA (Praia – Duna Parabólica)	50 cm	37 ± 21 anos
ATO-4	ATALAIA (Praia – Duna Parabólica)	50 cm	140 ± 10 anos
ATO-5	ATALAIA (Praia – Duna Parabólica)	50 cm	92 ± 5 anos

Devido à alta dinâmica e conseqüentemente a pequena idade das dunas avaliadas, seu estudo parece melhor refletir a história evolutiva das últimas décadas e últimos 2 séculos do que dos últimos séculos e milênios como se supunha inicialmente.

Uma vez que a estratigrafia das dunas na área de estudo mostra uma grande correspondência com as variações climáticas sazonais de pluviosidade e ventos, seu uso como ferramenta para estudos climáticos é de grande potencial. Por exemplo, a distância (extensão horizontal) entre as faces de sotavento das dunas nos registros indicaria a intensidade e duração dos períodos secos. Por outro lado, a grande dinâmica do ambiente é um fator complicador, principalmente se considerarmos a precisão dos métodos de datação por luminescência.

5.2. ESTRATIGRAFIA DAS DUNAS COSTEIRAS

Os radargramas apresentam um cenário de uma costa progradante, mas com características transgressivas, assim como descrito por Souza Filho *et al.* (2009) para a costa nordeste paraense como um todo. Embora dunas e cristas de praia sejam usualmente mais jovens em direção à linha de costa atual, evidenciando a progradação, as superfícies sigmoidais correspondentes à migração das dunas mergulham em direção ao continente, tanto na Praia do Maçarico quanto na Praia do Atalaia, evidenciando seu comportamento transgressivo.

Na Praia do Maçarico foram identificadas duas cristas de dunas frontais principais, onde a mais jovem e mais próxima da praia apresentou uma idade de aproximadamente 69 anos, enquanto que a mais antiga apresentou uma idade de cerca de 80 anos. Uma vez que a distância entre as cristas é de aproximadamente 66 metros, obtém-se uma taxa média de progradação de 6 metros por ano. Porém, esta progradação teria ocorrido de maneira episódica, provavelmente através da migração de bancos intermareais, suprindo a praia de areia e propiciando a formação de nova crista de dunas. Rossetti *et al.* (2001) em trabalho realizado na mesma área de estudo mostrou que planícies de maré estariam responsáveis pelas reflexões paralelas. Na maior parte do tempo as dunas, aparentemente, apresentam comportamento transgressivo, como indicado pelos refletores sigmoidais que são

refletores inclinados. A figura 11 mostra o radargrama do perfil 1307 que foi escolhido por sintetizar as principais características da área de estudo.

Os refletores sigmoidais representam as faces de sotavento das dunas. Em geral estes refletores estão distantes uns dos outros de 3 a 6 metros na horizontal, como evidenciado nos perfis 1306 e 1307 (Figura 11). Um refletor sub-paralelo próximo a superfície indica uma importante fase de reativação das dunas na área, mas sua idade não foi estabelecida.

Considerando-se as idades observadas e as taxas de progradação estimadas, as fases transgressivas das dunas estariam em uma base anual, onde durante o primeiro semestre do ano haveria estabilidade do cordão de dunas, devido à alta pluviosidade e ventos fracos, e a migração ocorreria no segundo semestre, especialmente entre setembro e novembro, período notadamente mais seco e com ventos mais intensos (Moraes *et al.*, 2005; Pereira *et al.*, 2009; Souza Filho *et al.*, 2009).

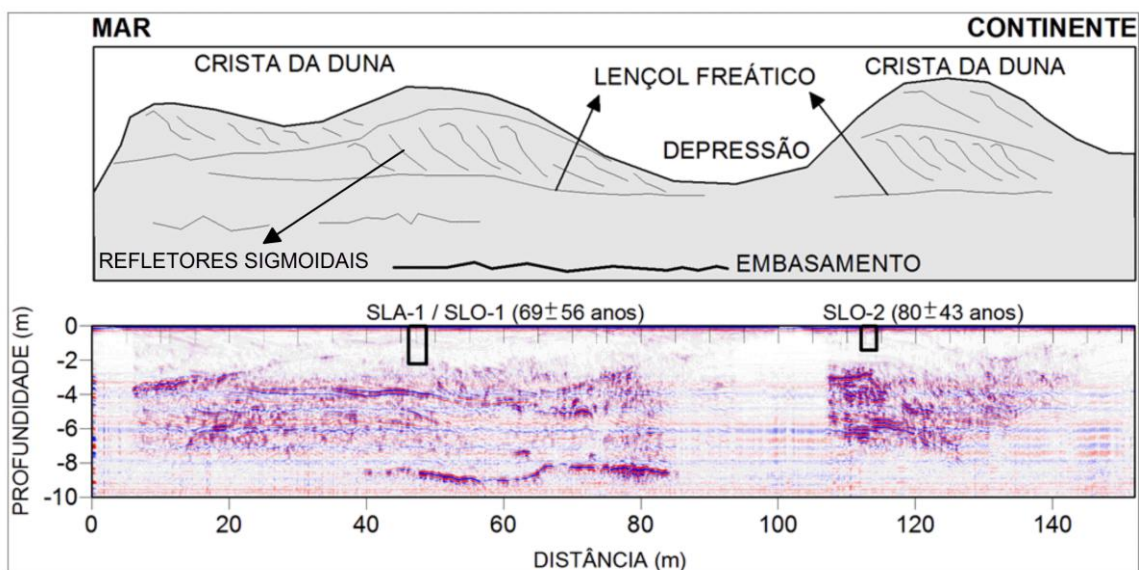


Figura 11: Radargrama mostrando o perfil 1307, localizado na praia do Maçarico e sua interpretação estratigráfica.

O pacote de sedimentos holocênicos na praia do Maçarico apresenta-se delgado, com uma espessura média de 4 metros, sendo ainda separado do embasamento por outra camada, que se enquadraria no chamado “Pós-Barreiras”, que na área poderia corresponder a sedimentos praias e eólicos pleistocênicos. O embasamento miocênico se apresenta como um forte refletor sub-horizontal,

interpretado como sendo o Grupo Barreiras, que inclusive aflora em várias partes da área de estudo.

Na praia do Atalaia, cerca de 5 km a leste da praia do Maçarico, o cenário estratigráfico é similar, porém não se observa evidências de progradação recente, tendo a praia no geral um aspecto transgressivo. Além disso, o próprio embasamento apresenta-se mais diverso, onde duas unidades distintas são observadas: Grupo Barreiras e a Formação Pirabas, ambos aflorantes em diversas porções da área. Os calcários fossilíferos da Form. Pirabas afloram na face da praia atual, enquanto que o Grupo Barreiras aflora na porção mais interior. Resultado também encontrado por Rossetti *et al.* (1989, 1990), Arai *et al.* (1988), Góes *et al.* (1990).

A figura 12 apresenta os perfis 1313 e 1314 de GPR obtidos na praia do Atalaia, que foi escolhido por melhor representar as características da área. Os registros incluem parte do pós-praia atual, bem como uma área mais elevada (aproximadamente 8 metros acima do nível médio do mar) cerca de 600 m da linha de maré alta, bem como uma área baixa mais interior e posteriormente um dos braços da duna parabólica lá existente.

O pacote de sedimentos holocênicos na área parece ser bem delgado, com a exceção do braço da duna parabólica, onde este atinge cerca de 8 metros de espessura. A porção mais elevada próxima à praia apresentou uma idade de cerca de 58 anos, a 50 cm da superfície. Porém, a idade esperada da mesma seria pleistocênica, correspondendo a um trato de mar alto, provavelmente correspondente ao estágio "5e" de ^{18}O (estágio isotópico marinho do período interglacial), com uma idade de cerca de 120.000 anos. Os principais indícios disso são o aspecto oxidado dos grãos, sua granulometria que remete a sedimentos praias e não eólicos, e sua cota (8 m de elevação). Barreiras pleistocênicas já foram estudadas detalhadamente por vários autores no litoral brasileiro. Em São Paulo ela foi denominada de Transgressão Cananéia por Suguio & Martin (1978), na Bahia e Pernambuco foi chamada de Penúltima Transgressão por Bittencourt *et al.* (1979) e no Rio Grande do Sul foi denominada de Ilhas-Barreiras/Lagunas III por Villwock *et al.* (1986). A baixa idade que de fato foi obtida, seria o reflexo da exposição recente dos sedimentos à luz quando da urbanização da área, especialmente nos anos 1950-1960.

Novos estudos são necessários para verificação desta possibilidade, uma vez que a barreira arenosa correspondente à penúltima transgressão (Barreira III) ainda não havia sido descrita no litoral norte do Brasil.

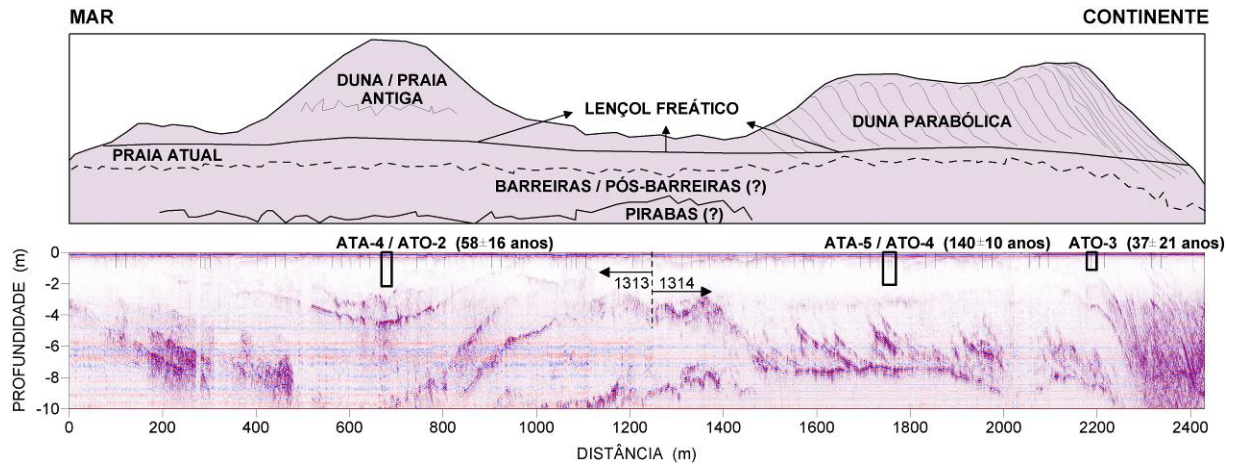


Figura 12: Radargrama mostrando os perfis 1313 e 1314, localizados na praia do Atalaia, e sua interpretação.

A figura 12 mostra as datações ATO-3 e ATO-4 que apresentam uma distância de 400 metros. A diferença, em relação à idade, entre elas é de aproximadamente 100 anos, esses resultados revelaram um avanço da duna parabólica da ordem de 4 metros por ano, semelhantemente ao observado na praia do Maçarico. Por outro lado, os refletores sigmoidais (faces de sotavento) apresentam um espaçamento bastante irregular, indicando que a intensidade da migração varia consideravelmente de ano a ano. Em um setor de cerca de 700 metros que se inicia no começo do perfil 1314 e vai até o testemunho ATO-3 são observadas 5 a 6 fases de maior distância entre os refletores sigmoidais, correspondendo à reativações mais intensas (Figura 11).

Desta maneira as reativações mais intensas corresponderiam a intervalos de aproximadamente 30 anos, possivelmente referentes a períodos mais secos.

Na área do lago da coca-cola as porções onde o pacote holocênico é mais espesso correspondem às grandes dunas transversais que ocorrem nesta área, tendo o lago da coca-cola se formado na superfície de deflação entre duas destas dunas. O perfil 1309 de GPR foi obtido em uma porção mais interna (continental) do sistema de dunas transversais, onde embora se observe algumas superfícies de reativação, a dinâmica das dunas não está bem clara (Figura 13). Nota-se o embasamento a profundidades em torno de 6 a 8 metros, bem como evidências de

camadas possivelmente do Pós-Barreiras, abaixo dos sedimentos eólicos claramente holocênicos e o embasamento miocênico.

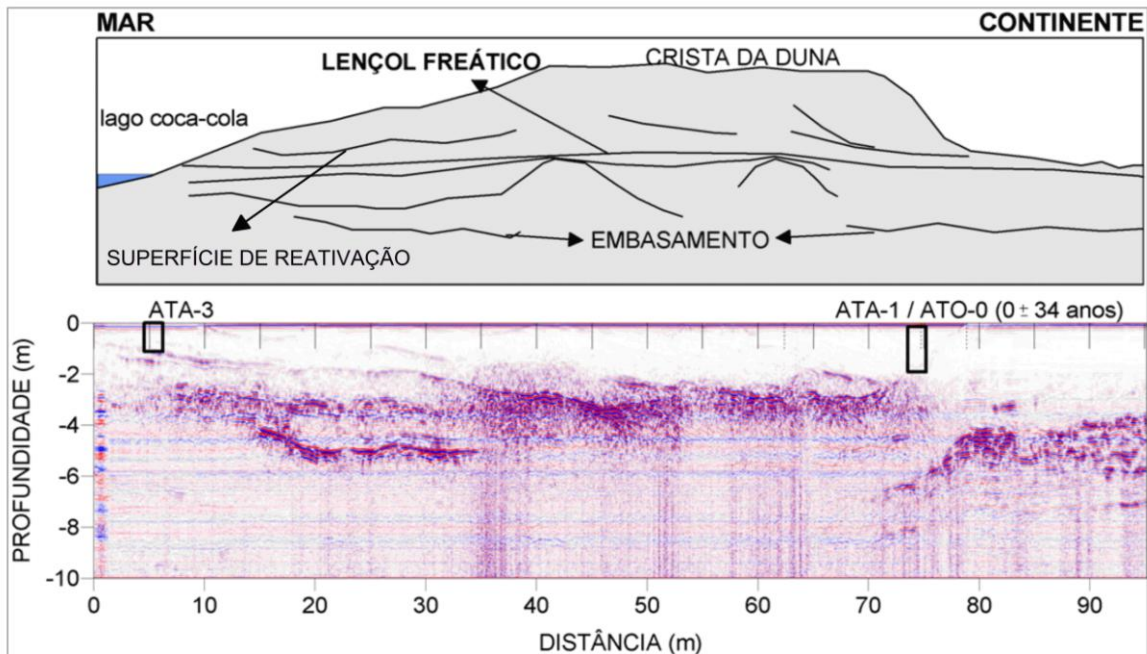


Figura 13: Radargrama do Perfil 1309 e sua interpretação, evidenciando algumas superfícies de reativação no pacote eólico holocênico, bem como refletores sub-horizontais mais profundos.

5.3. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS TESTEMUNHOS

No geral os testemunhos, como esperado, apresentaram certa monotonia sedimentológica, sendo na maior parte do registro compostos por areias muito finas (3Φ areia fina e 4Φ areia muito fina) bem-selecionadas limpas, de coloração branca-amarelada.

Os testemunhos coletados na praia do Maçarico foram identificados com as letras “SLA”, assim como os testemunhos da praia do Atalaia foram nomeados “ATA”. A seguir cada um dos testemunhos é descrito.

SLA-1: Testemunho com 106 cm de comprimento, composto essencialmente por areia muito fina. Os primeiros 5 cm apresentam características de solo, com teores substanciais de matéria orgânica (MO). O lençol freático foi atingido aos 76 cm. A coloração geral do testemunho era acinzentada, evidenciando condições redutoras (anóxicas).

SLA-2: Testemunho com 165 cm, caracterizado na íntegra como uma areia “limpa” (sem MO). No topo a areia apresentou-se levemente menos selecionada e mais grossa (areia fina) que o resto do testemunho, que se caracterizou como uma areia muito fina bem selecionada e com distribuição aprox. simétrica.

SLA-3: Testemunho de 80 cm, composto por areia muito fina cinzenta, apresentando raízes a uma profundidade de 40 cm, tendo atingido o lençol freático na base do testemunho.

ATA-1: Testemunho de 140 cm, composto por areia muito fina cinzenta, sem variações aparentes ao longo do testemunho, tendo atingido o lençol freático a 110 cm.

ATA-2: Testemunho de 130 cm, composto por areia muito fina cinzenta, sem variações aparentes ao longo do testemunho, apresentando saturação de água já aos 5 cm de profundidade.

ATA-3: Testemunho coletado na margem do chamado “lago da coca-cola”, sendo saturado desde o topo, com um comprimento de 80 cm, composto por areia muito fina cinzenta, mas com uma camada com alto teor de MO de 50 a 70 cm.

ATA-4: Testemunho com 300 cm, não tendo alcançado o lençol freático. Este testemunho se diferenciou dos demais por apresentar uma fração expressiva de areia fina, tendendo a areia média na base, assim como apresentando uma coloração amarelo-escura, atribuída ao revestimento por óxido de ferro.

ATA-5: Este testemunho de 160 cm encontrou o lençol freático aos 120 cm, apresentando uma coloração branco-amarelada e sem MO. Também não foram observadas variações importantes ao longo do testemunho, que apresentou a melhor seleção de todas as amostras analisadas.

A figura 14 apresenta os croquis de descrição de cada um dos testemunhos analisados. A figura 15 apresenta a distribuição granulométrica no testemunho SLA-2, onde percebe-se que há uma variação significativa na granulometria em diferentes profundidades. Como um todo, os sedimentos têm característica eólica. No topo do testemunho o sedimento se caracteriza como uma areia fina mais grossa e com distribuição mais assimétrica e mais selecionada que as amostras a 1,2 e 1,6 metros de profundidade. Esta variação indica um processo mais erosivo atual no topo do testemunho (superfície), o que pode ser atribuído ao fato das coletas terem sido realizadas no período do final de setembro e início de outubro, quando os ventos são fortes e a pluviosidade baixa (Figura 15).

A distribuição granulométrica no testemunho ATA-4 (Atalaia, duna-praia antiga) mostra uma seleção substancialmente menor que os demais testemunhos, da mesma forma que o tamanho médio dos grãos foi maior. Também nota-se uma tendência grano-crescente para a base. Apesar de sua considerável elevação, os sedimentos apresentam uma característica praias e não eólica, corroborando a hipótese de praia pleistocênica levantada anteriormente (Figura 16).

A figura 17 mostra a distribuição granulométrica no testemunho ATA-5 e nota-se que nas diferentes profundidades a distribuição praticamente não se altera, e o sedimento é bem selecionado. Todos os parâmetros estatísticos indicam um sedimento tipicamente eólico holocênico. A figura 18 apresenta os valores de Mediana, assimetria e seleção de cada testemunho/amostra analisada.

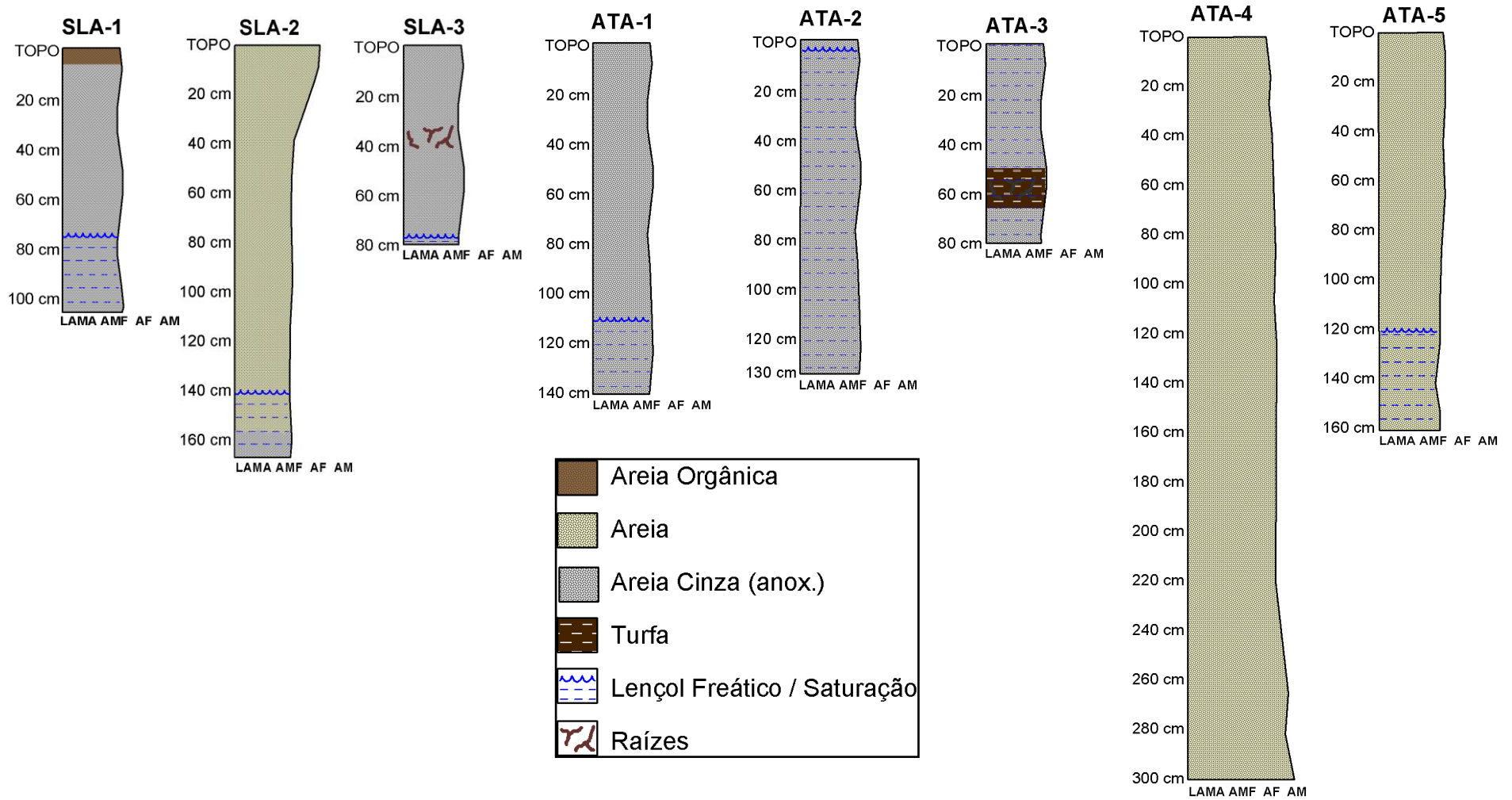


Figura 14: Croquis de descrição dos testemunhos coletados e analisados.

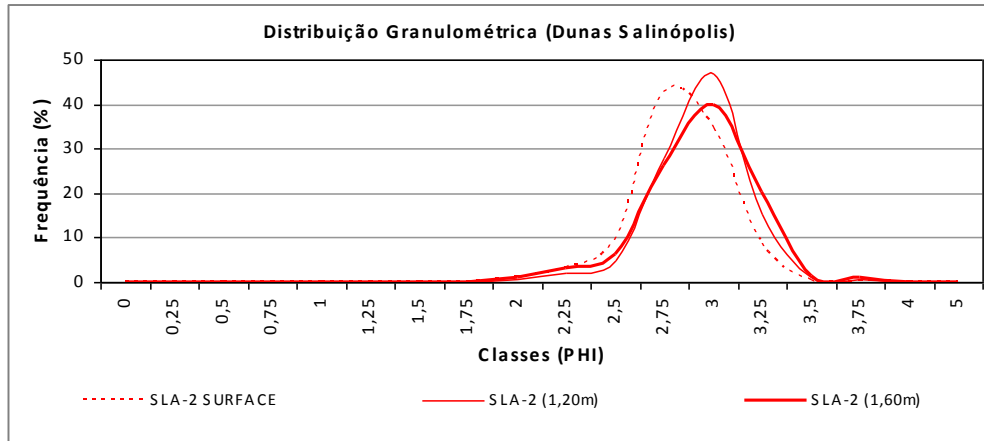


Figura 15: Distribuição granulométrica da praia do Maçarico obtida através de sondagem (SLA-2) realizada no cruzamento do perfil 1304 e 1305.

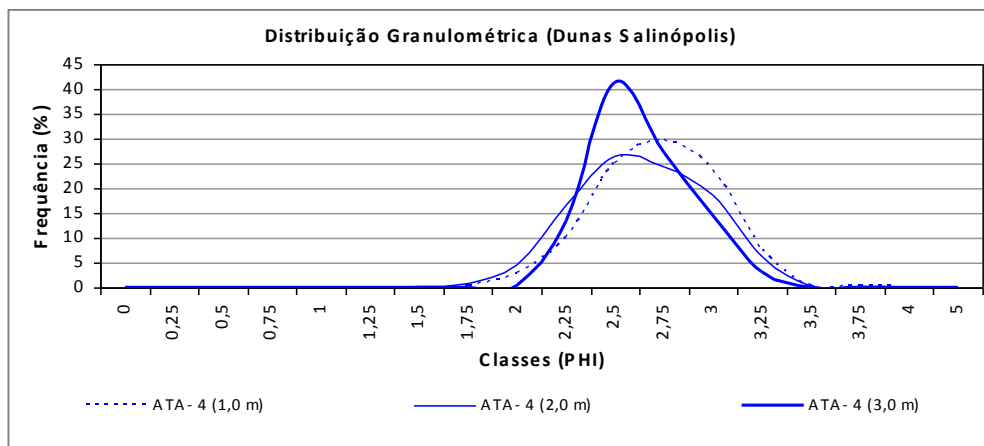


Figura 16: Distribuição granulométrica da praia do Atalaia obtida através de sondagem (ATA-4) realizada no perfil 1313.

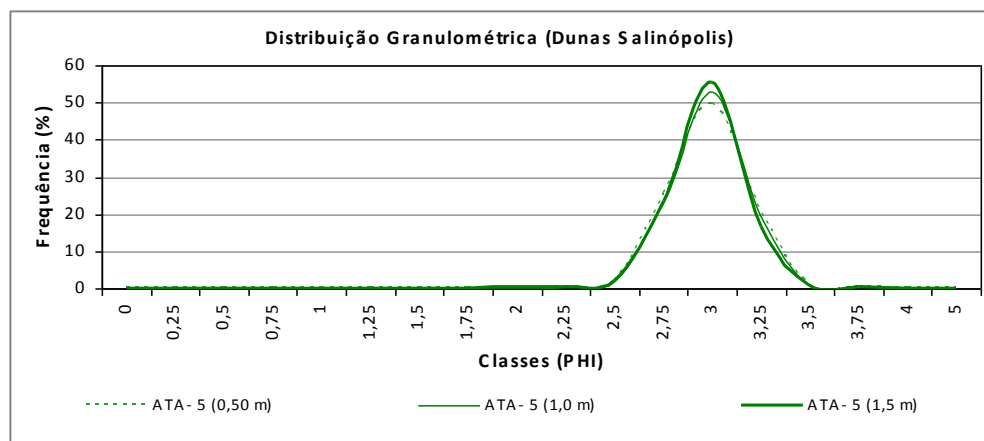


Figura 17: Distribuição granulométrica da praia do Atalaia obtida através de sondagem (ATA-5) realizada no perfil 1314.

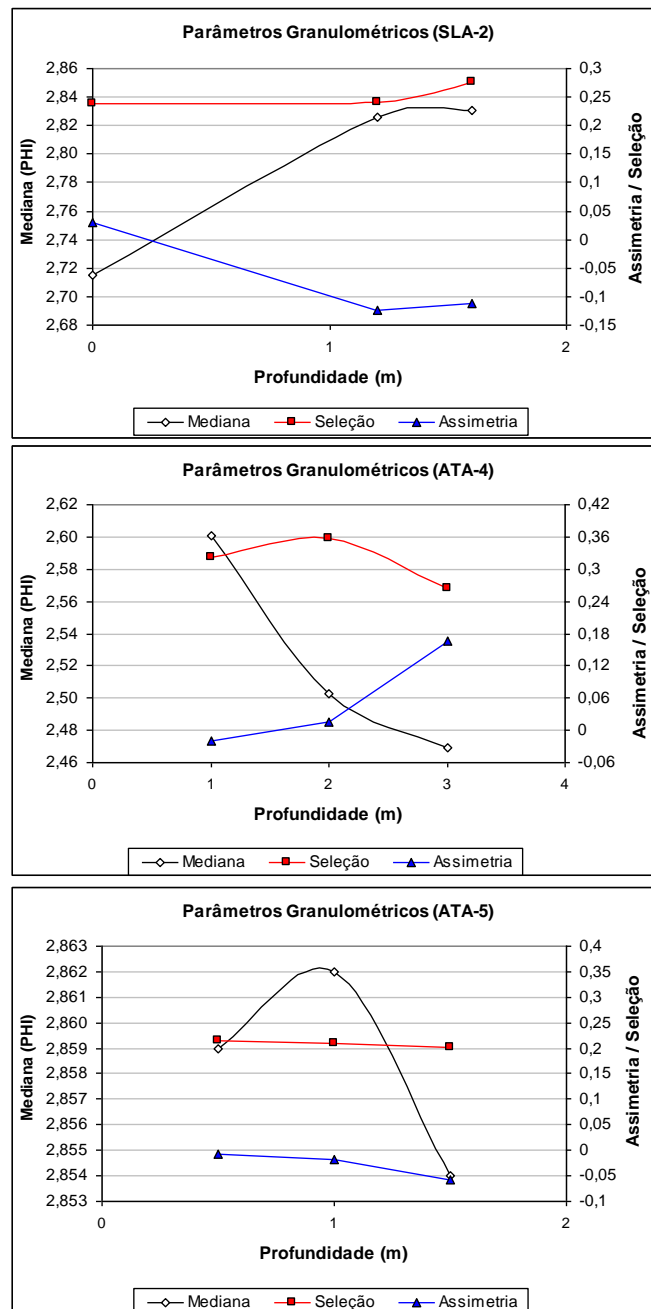


Figura 18: Parâmetros granulométricos das amostras dos testemunhos SLA-2, ATA-4 e ATA-5.

5.4 CLIMATOLOGIA

No presente trabalho buscou-se correlacionar eventos de El Niño com a precipitação para observar se havia uma influência destes fatores com a taxa de migração de dunas. Para que pudesse ser feita tal correlação foram baixados dados de precipitação do INMET/INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) dos

anos de 1960 a 2000. Dados de precipitação de longo período usualmente estão disponíveis somente para as capitais estaduais. Assim, utilizou-se aqui os dados meteorológicos de Belém do Pará para comparação com os dados de anomalias STM (temperatura da superfície do mar).

A figura 19 apresenta a comparação dos dados médios (anuais e por semestre) de Belém com as anomalias STM do pacífico, que representam a ENSO (oscilação sul de El Niño).

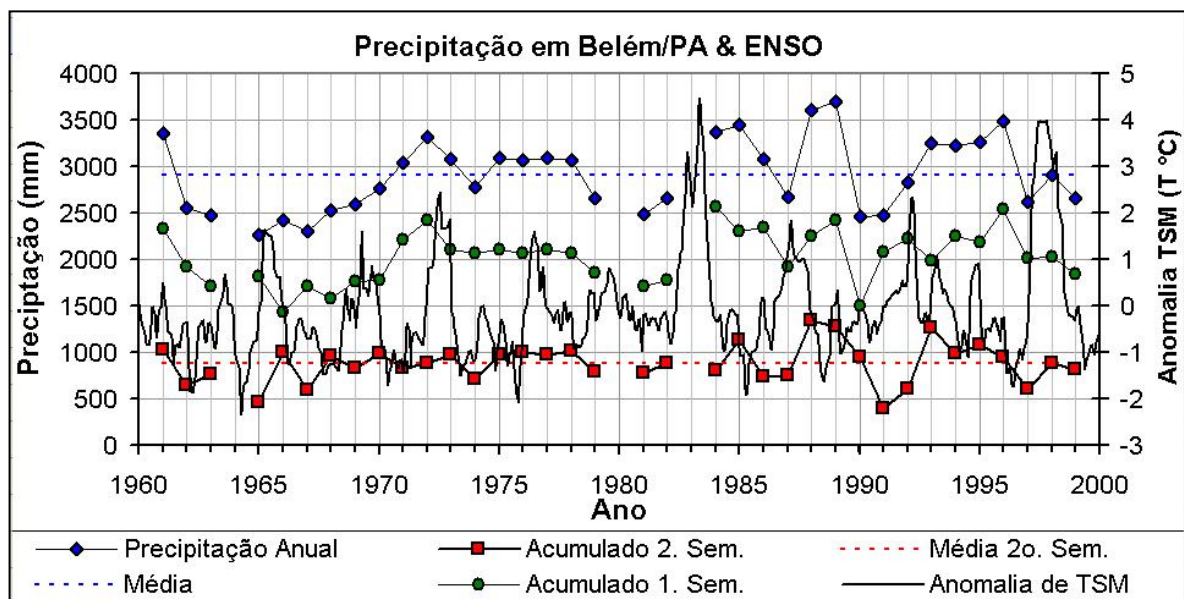


Figura 19: Correlação de dados de precipitação e anomalias de TSM.

Aparentemente não houve correlação clara de uma diminuição da precipitação em Belém com eventos de El Niño. Ao se tentar estabelecer correlações lineares, os valores de " R^2 " foram próximos de zero, independentemente de se considerar a precipitação do primeiro semestre (época de chuvas), do segundo semestre (época de seca) ou do ano como um todo.

Este resultado teria duas explicações possíveis: O clima de Belém está sujeito a variações próprias locais; e/ou o clima geral da região não reage tão diretamente ao El Niño - Oscilação do Sul (ENSO).

De fato, o padrão geral de circulação relacionado com precipitação na costa nordeste da Amazônia é mais associado diretamente à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico equatorial. A ZCIT é formada pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte e os ventos alísios do Hemisfério Sul. A ZCIT

é responsável pelas precipitações sobre as áreas costeiras da Amazônia e do NE brasileiro. Por outro lado, este sistema seria igualmente afetado pela ENSO.

Grandes reduções nos totais anuais de precipitação parecem estar relacionadas com a ocorrência de eventos fortes de El Niño - Oscilação do Sul (ENSO), isso ocorre porque o El Niño controla o deslocamento da ZCIT deslocando esta massa de ar mais cedo para o norte, o que diminui a precipitação no norte e nordeste do Brasil. Possível associação entre ENSO e secas ou redução de precipitação foram explicadas por Kousky *et al.*, (1984). Convecção mais intensa que o normal estabelece-se sobre as águas anormalmente quentes do Pacífico equatorial leste. O ramo ascendente da circulação de Walker é deslocado para oeste sobre as águas mais quentes e intensificado pela forte convecção. O ramo descendente cobre praticamente toda a Amazônia e chega até a costa da África, causando reduções notáveis da precipitação.

Esta questão precisa ainda ser melhor investigada, principalmente se verificando com base em outras estações meteorológicas da região se reduções de precipitação podem ser de fato associadas a ENSO.

De qualquer forma os resultados da estratigrafia das dunas de Salinópolis revelaram grande potencial para o estudo de variações climáticas, independentemente destas variações (períodos mais secos) serem ou não atribuídos a ENSO.

6. CONCLUSÕES

- As características dos sedimentos eólicos costeiros da região de Salinópolis mostraram-se bons para a aplicação do método de Radar de Penetração no Solo (GPR), devido à presença de minerais pesados.
- O método de datação por Luminescência Ópticamente Induzida se mostrou adequado, porém as idades observadas foram bastante jovens, resultando em redução da confiabilidade de interpretação;
- A pequena idade observada na maioria dos casos evidenciou a grande dinâmica das dunas na região, onde os processos de migração, reativação e estabilização ocorrem em base essencialmente anual, com potencial para estudo de processos da ordem de décadas a poucos séculos;
- Serão necessários mais estudos e a utilização de uma metodologia mais adequada (coleta de sedimentos a profundidades maiores) para ter uma idade mais precisa.
- Os radargramas apresentam um cenário de uma costa progradante, mas com características transgressivas, assim como descrito por Souza Filho *et al.* (2009) para a costa nordeste paraense como um todo.
- Embora dunas e cristas de praia sejam usualmente mais jovens em direção à linha de costa atual, evidenciando a progradação, as superfícies sigmoidais correspondentes à migração das dunas mergulham em direção ao continente, tanto na Praia do Maçarico quanto na Praia do Atalaia, evidenciando seu comportamento transgressivo;
- A distância entre as cristas das dunas da praia do Maçarico é de aproximadamente 66 metros, obtém-se uma taxa média de progradação de 6 metros por ano. Porém, esta progradação teria ocorrido de maneira episódica, provavelmente através da migração de bancos intermareais, suprimindo a praia de areia e propiciando a formação de nova crista de dunas. Na maior parte do tempo as dunas, aparentemente, apresentam comportamento transgressivo, como indicado pelos refletores sigmoidais;

- Na praia do Atalaia o cenário apresenta-se com caráter mais transgressivo, sem evidência de progradação recente.
- Na praia do Atalaia se observou uma feição que foi interpretada como sendo possivelmente a barreira pleistocênica correspondente ao estágio isotópico 5e, de cerca de 120 ka BP, embora a datação obtida indique uma idade de apenas 58 anos, o que foi atribuído ao retrabalhamento antrópico do local quando da urbanização da área, sendo esta uma importante questão a ser investigada futuramente.
- A duna parabólica investigada nessa área revelou uma migração da ordem de 4 metros por ano, se assemelhando a taxa observada na praia do Maçarico e possivelmente correspondendo a fases anuais de migração, que ocorreriam durante o período seco e de ventos mais fortes;
- Uma vez que a estratigrafia das dunas na área de estudo mostra uma grande correspondência com as variações climáticas sazonais de pluviosidade e ventos, seu uso como ferramenta para estudos climáticos é de grande potencial. Por exemplo, a distância (extensão horizontal) entre as faces de sotavento das dunas nos registros indicaria a intensidade e duração dos períodos secos. Por outro lado, a grande dinâmica do ambiente é um fator complicador, principalmente se considerarmos a precisão dos métodos de datação por luminescência;
- Esta questão precisa ainda ser melhor investigada, principalmente se verificando com base em outras estações meteorológicas da região se reduções de precipitação podem ser de fato associadas a ENSO;
- De qualquer forma, os resultados da estratigrafia das dunas de Salinópolis revelaram grande potencial para o estudo de variações climáticas (taxa de precipitação), independentemente destas variações (períodos mais secos) serem ou não atribuídos a ENSO.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMIEC, G. & AITKEN, M. Dose-rate conversion factors: update. **Ancient TL**, 16, 37-50. 1998.

AITKEN, M.J. Introduction to optical dating. Oxford, **Oxford University Press**. (1998).

ARAI, M., UESUGUI, N., ROSSETTI, D.F.; GÓES, A. M. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará. In: SBG, **Congresso Brasileiro de Geologia**, 35, Belém, Anais, 2:738-752. 1988.

BARRETO, A.M.F. Interpretação paleoambiental do sistema de dunas fixadas do médio Rio São Francisco, Bahia. IG/USP, São Paulo, **Tese de Doutorado**, 174p. 1996.

BERGER, G.W. Dating quaternary events by luminescence. In: D.J. Easterbrook (ed.) *Dating Quaternary Sediments*. **Geological Society of America Special Paper**, 227: 13-50. 1988.

BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; VILAS-BOAS, G.S.; FLEXOR, J.M. The marine formations of the coast of the State of Bahia, Brazil. In: Suguio *et al.* (Eds.). **International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary**, São Paulo. *Proceedings...* 232-253. 1979.

DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, 37: 531-551. 1989.

DILLENBURG, S.R. A laguna de Tramandaí: a evolução e aplicação do método geocronológico da termoluminescência na datação de depósitos sedimentares lagunares. IG/UFRGS. Porto Alegre, **Tese de Doutorado**, 113p. 1994.

DREIMANIS, A.; HÜTT, G.; RAUKAS, A.; WHIPPEY, P. I-Thermoluminescence Dating. In N.W. Rutter (ed.) *Dating Methods of Pleistocene Deposits and Their Problems*. **Geoscience Canada**, 2, Canada, 1-7. 1985.

FOLK, R.L. & WARD, W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27(1): 3-26. 1957.

GLENNIE, K.W. *Desert Sedimentary Environments*. Developments in Sedimentology, 14. Amsterdam, **Elsevier**, 222p. 1970.

GÓES, A.M.; ROSSETTI, D.F.; NOGUEIRA, A.C.R.; TOLEDO, P.M. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Ciências da Terra**, 2: 3-15. 1990.

GOLDSMITH, V. Coastal dunes. In: R. A. Davis Jr (ed.) **Coastal Sedimentary Environments**. New York, Springer-Verlag, 171-235. 1978.

GOLDSMITH, V. Coastal dunes. In: R.A Davis (ed.). **Coastal sedimentary environments**. Springer-Verlag. New York, pp. 303-378. 1985.

GREGÓRIO, A.M.S. Caracterização morfo-sedimentológica da praia do Atalaia, Salinópolis, Pará. **Trabalho de Conclusão de Curso**, UFPA/Centro de Geociências-Belém-Pa. 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Disponível em <http://www.cptec.inpe.br/> [Acessado em 10/03/10].

KOUSKY, V.E. & KAYANO, M.T. Principal Modes of Outgoing Longwave Radiation and 250-mb Circulation for the South American Sector. **J. Climate**, 7, 1131–1143. 1994.

KRUMBEIN, W.C. Size frequency distribution of sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, 4: 65-77. 1934.

LESS, B.G.; LU, Y.; HEAD, J. Reconnaissance thermoluminescence dating of northern Australian coastal dune systems. **Quat. Res.**, 34: 169-185. 1990.

LINDHOLM, R.C. **A Practical Approach to Sedimentology**. Allen & Unwin, Londres, UK. 276 pp. 1987.

MAIA, L.P.; RODRIGUES, A.C.B.; CASCON, H.M.; BARRETO, A.M.F.; CASTRO, I.B.; TATUMI, S.H.; COSTA, A.A. Correlação estratigráfica em poços de subsuperfície e datação de dunas costeiras inativas na região de Cauípe e Pecém – costa oeste do Ceará. In: **Congresso da ABEQUA, 7, Porto Seguro, Anais**. Porto Seguro: ABEQUA, 1999.

MATSUOKA, M.; TAKATOHI, U.E.; WATANABE, S. TL Dating of fish fossil from Brazil. **Radiation Protection Dosimetry** 6: 185-188. 1984.

MCKEE, E.D. Eolian sand bodies of the world. In M. E. Brookfield & T. S. Ahlbrandt (eds.) **Eolian Sediments and Processes. Developments in Sedimentology**, 38. Amsterdam, Elsevier, 1-25. 1983.

MENGAWACO, A. Caracterização Climática da Cidade de Salinópolis/PA. 37 p. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Departamento de Meteorologia, **Trabalho de Conclusão de Curso**. 1995.

NANSON, G.C.; CHEN, X.Y.; PRICE, D.M. Lateral migration, thermoluminescence chronology and colour variation of longitudinal dunes near Birdsville in the Simpson Desert, Central Australia. **Earth Surface Processes and Landforms**, 17: 807-819. 1992.

NEAL, A.; PONTEE, N.I.; PYE, K.; RICHARDS, J. Internal structure of mixed-sand-and-gravel beach deposits revealed using ground-penetrating radar. **Sedimentology**, 49: 789–804. 2002.

PEREIRA, L.C.C.; MENDES, C.M.; MONTEIRO, M.C.; ASP, N.E. Morphological and sedimentological changes in a macrotidal sand beach in the Amazon littoral (Vila dos Pescadores, Pará, Brasil). **Journal of Coastal Research**, 56, 2009.

POUPEAU, G.; SOLIANIR JR., E.L.; RIVERA, A.; LOSS, E.L.; VASCONCELOS, M.B.A. Datação por termoluminescência de alguns depósitos arenosos costeiros, do último ciclo climático, no nordeste do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 21: 25-29. 1988.

PRESCOTT, J.R. & HUTTON, J.T. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. **Radiation Measurements**, 23, 497-500. 1994.

REINECK, H.E. & SING, I.B. **Depositional sedimentary environments**. New York, Springer-Verlag, 549p. 1980.

ROBINSON, S. & MICHAUD, Y. Ground penetrating radar. In: Handbook of Geophysical Techniques for Geomorphic and Environmental Research, Gilbert, B. Editor, Open file 3731, **Geological Survey of Canada**, p. 69-102. 1999.

ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A.M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra 1:25-74. 1989.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. A influência marinha nos Sedimentos Barreiras. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra 2:17-29. 1990.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; SOUZA, L.S.B. Estratigrafia da sucessão sedimentar pós-Barreiras (zona bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. **Brazilian Journal of Geophysics**, 19 (2), 2001.

SHULMEISTER, J. & LESS, B.G. Morphology and chronostratigraphy of a coastal dunefield; Groote Eylandt, Northern Australia. **Geomorphology**, 5: 521-534. 1992.

SÍGOLO, J.B. Processos Eólicos e Ação dos Ventos. In: Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p. 247-260.

SILVA, C.G.; PATCHINEELAM, S.M.; NETO, J.A.B.; PONZI, V.R.A. Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos Atuantes na Linha de Costa. In: NETO, J.A.B.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. (Orgs.). **Introdução à Geologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. p. 175-218.

SILVA, E.A.J. As Dunas Eólicas de Natal/RN: Datação e Evolução. PPGG/UFRN, Natal, **Dissertação de Mestrado**, 111p. 2002.

SILVA, M.S. Morfoestratigrafia e Evolução Holocênica da Planície Costeira de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará. 142 p. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, **Dissertação de Mestrado**. 1996.

SOUZA FILHO, P.W.M.; LESSA, G.C.; COHEN, M.C.L.; COSTA, F.R.; LARA, R.J. The subsiding macrotidal barrier estuarine system of the eastern Amazon coast, northern Brazil, p. 347-376. In: DILLENBURG, S.F., HESP, P.A. **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil** (Eds.). New York: Springer-Verlag. Series: Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 107. 380p. 2009.

SUGUIO, K. & MARTIN, L. Quaternary marine formations of the states of São Paulo and southern Rio de Janeiro. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary, São Paulo. *Special Publication...*1, 55p. 1978.

TATUMI, S.H.; MATSUOKA, M.; WATANABE, S. Parameter evaluation of Thermoluminescence glow peaks in a natural dolomite. **Phys. Stat. Sol.**, (a) 129: K57-K60. 1992.

TATUMI, S.H.; NAGATOMO, T.; MATSUOKA, M.; WATANABE, S. Thermoluminescence and ESR in aragonite speleothem. **J. Phys. D: Appl. Phys.**, 26: 1482-1486. 1993.

VILES, H. & SPENCER T. Coastal problems. **Geomorphology, Ecology and society at the Coast**, 59-106. 1995.

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

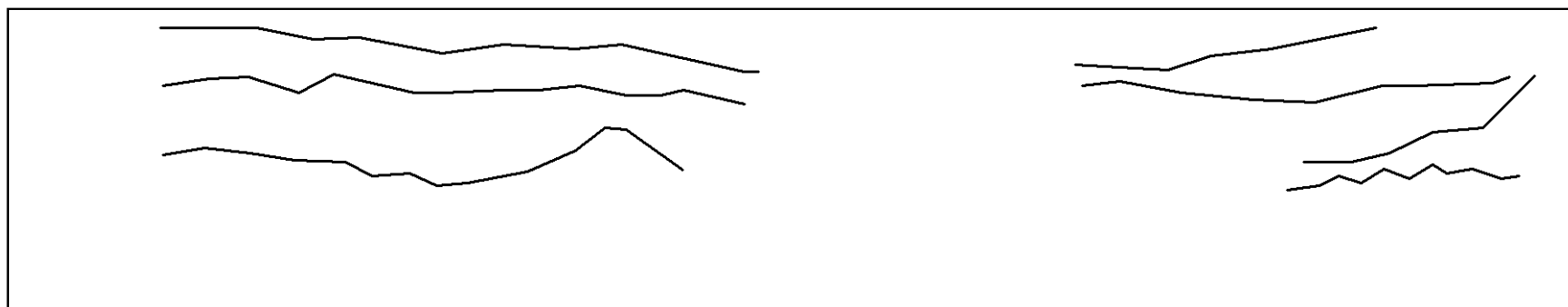
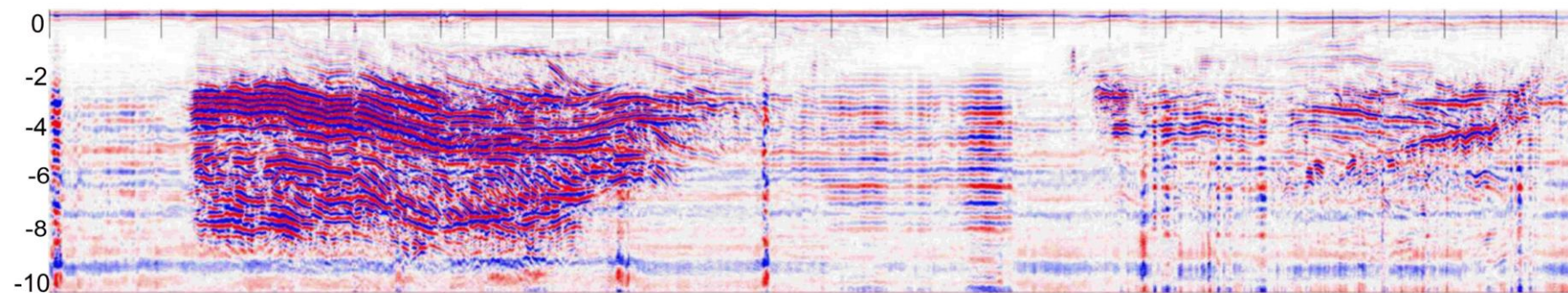
WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, 30: 377-392. 1922.

WINTLE, A.G. & HUNTLEY, D.J. Thermoluminescence dating of ocean sediments. **Canadian Journal of Earth Sciences**, 17: 348-360. 1980.

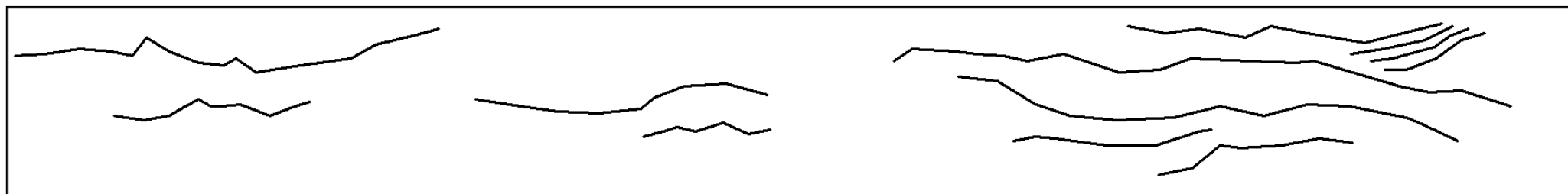
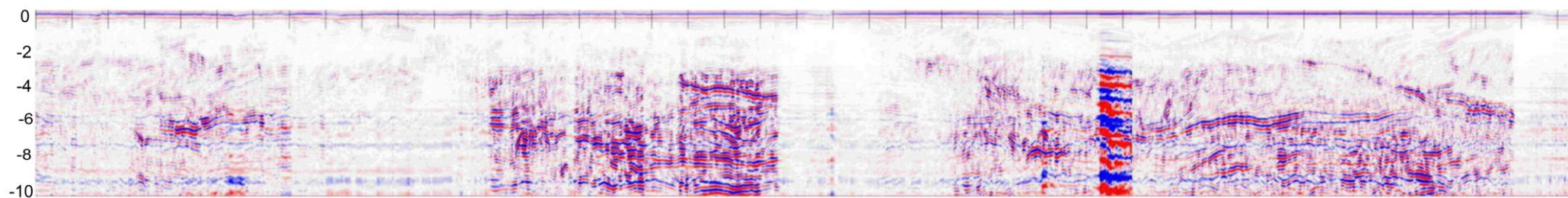
ANEXOS

I) RADARGRAMAS (PRAIA DO MAÇARICO)

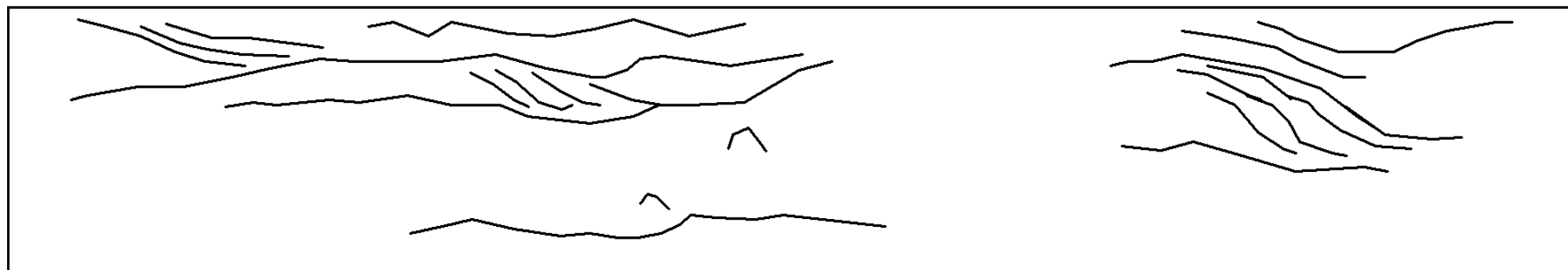
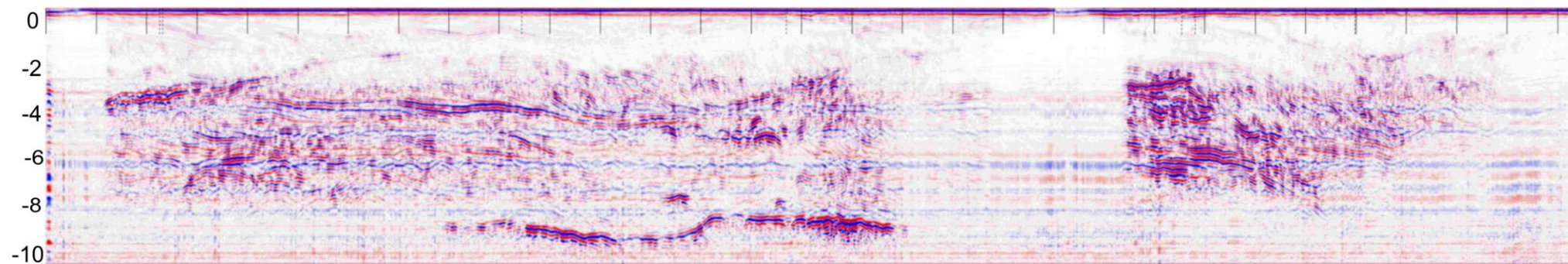
PERFIL 1305



PERFIL 1306

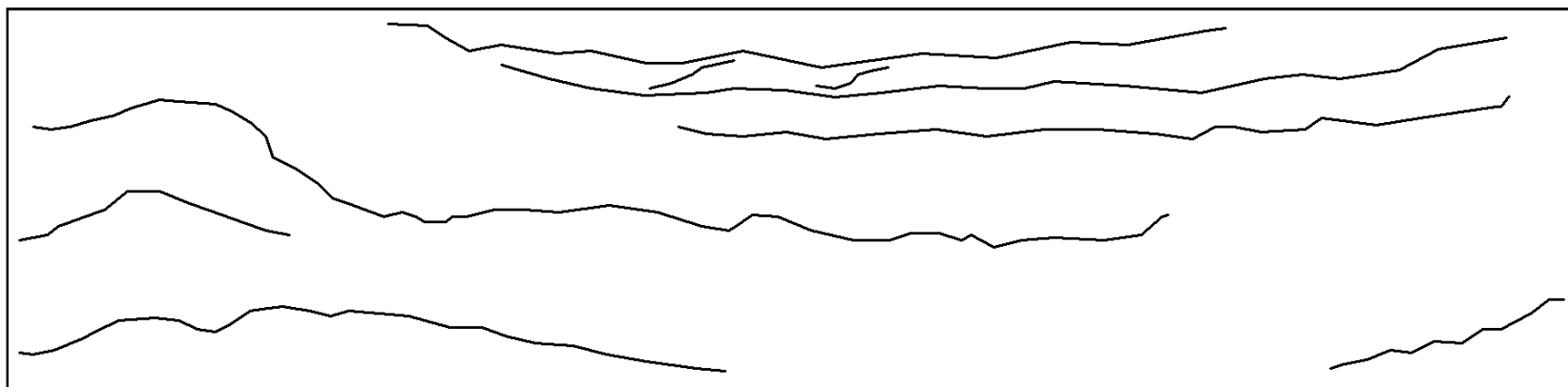
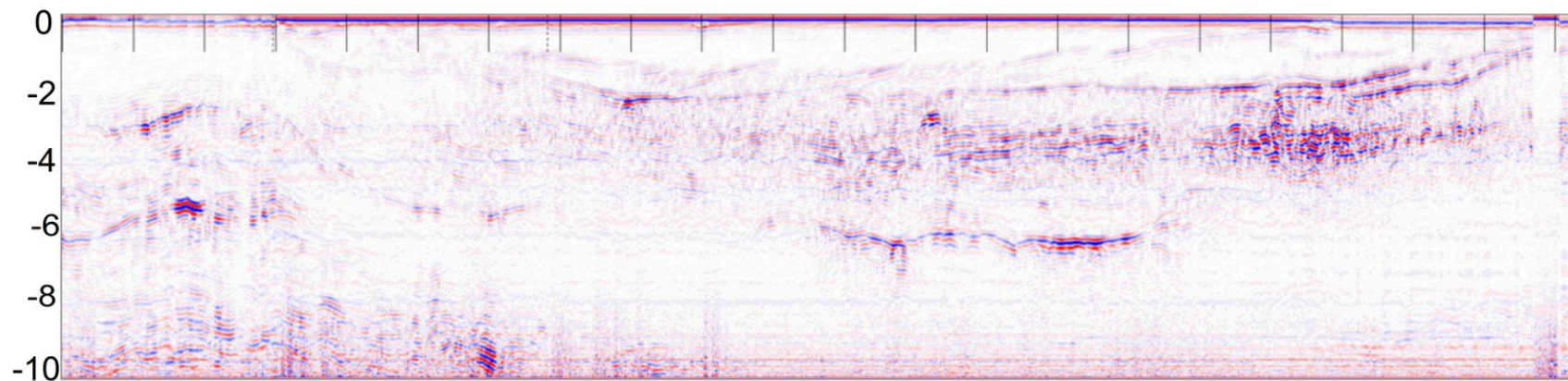


PERFIL 1307

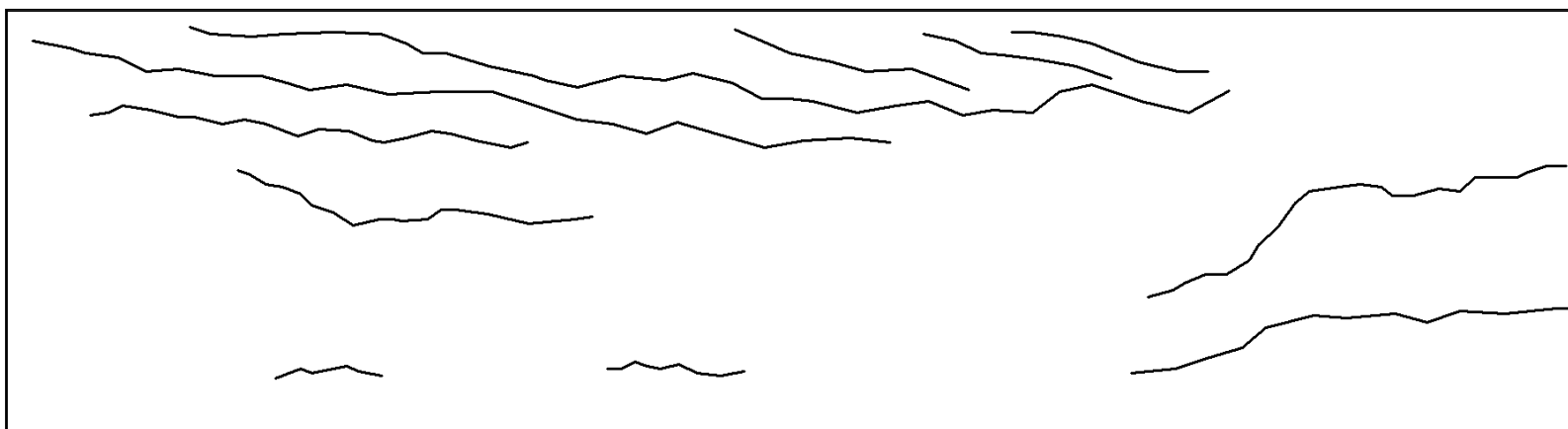
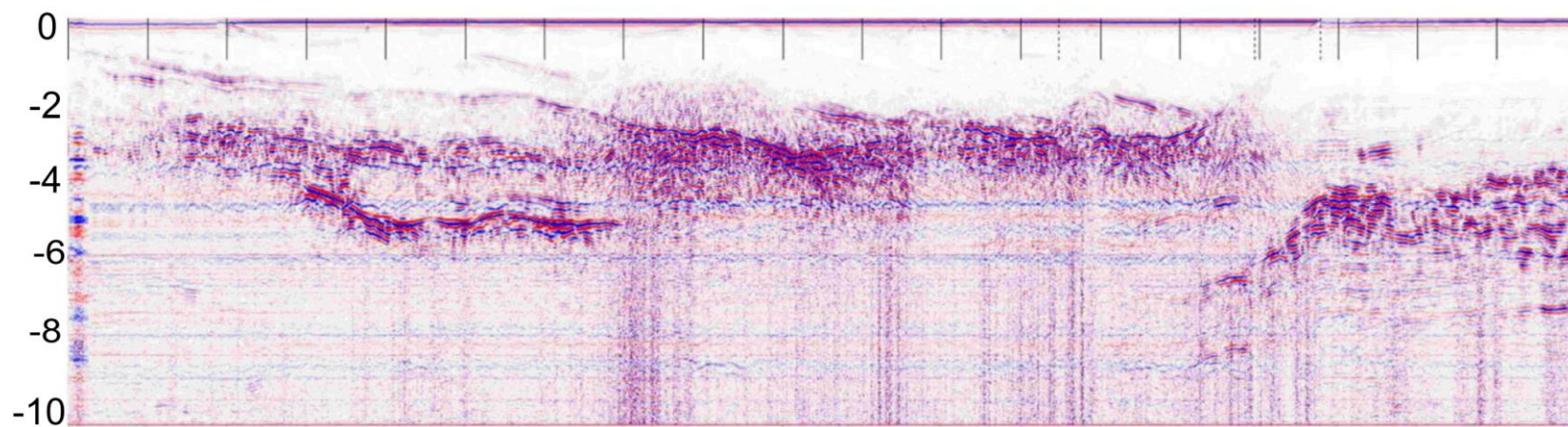


II) RADARGRAMA (ATALAIA)

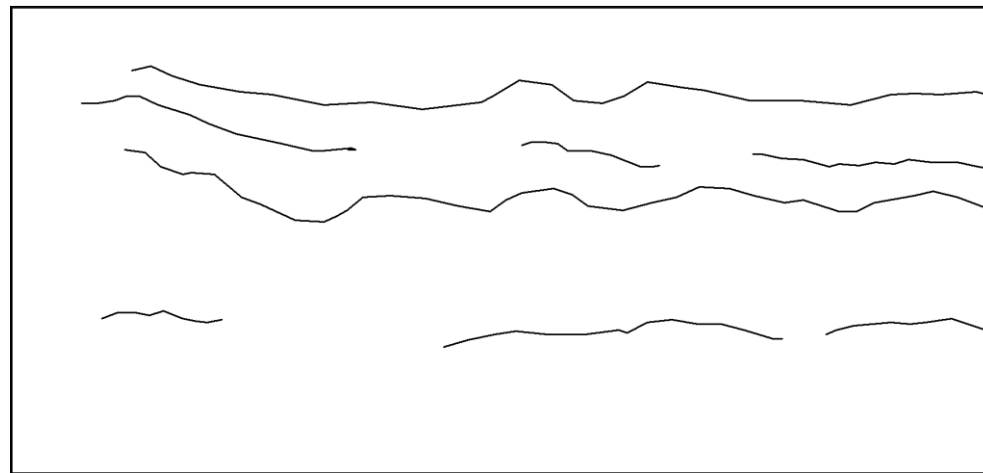
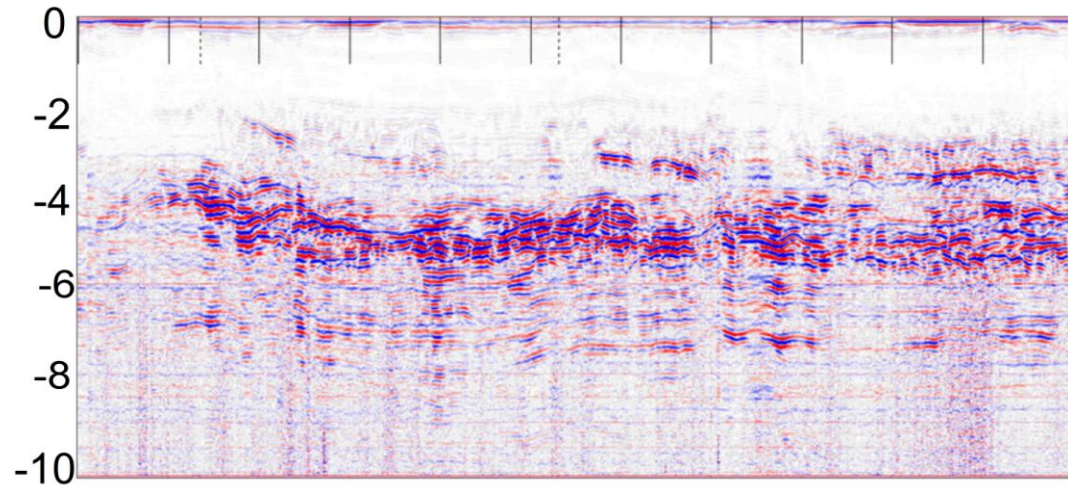
PERFIL 1308



PERFIL 1309

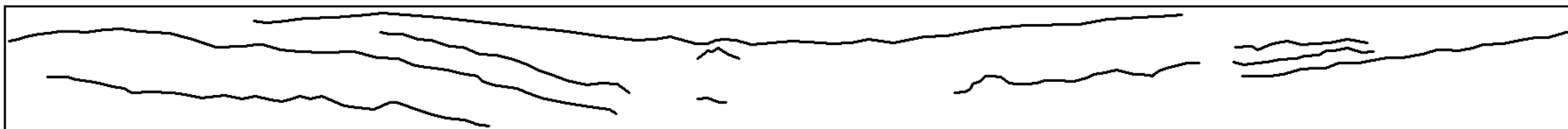
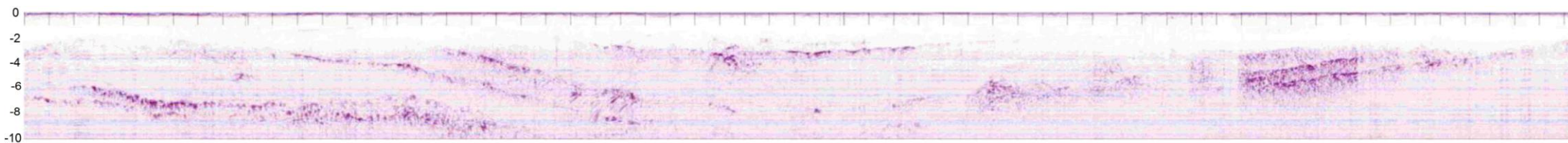


PERFIL 1310

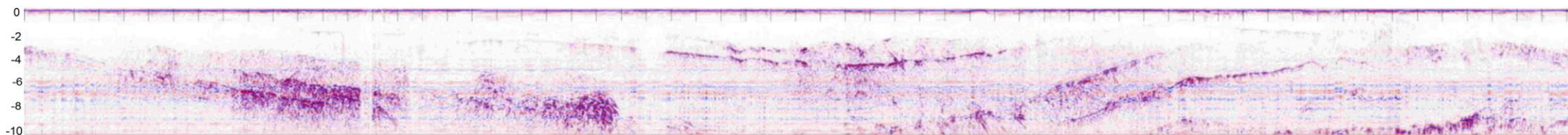


III) RADARGRAMA (DUNA PARABÓLICA)

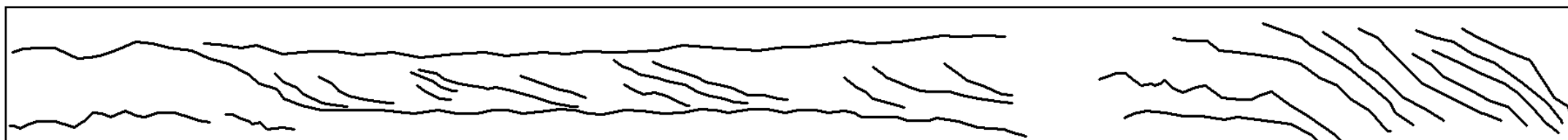
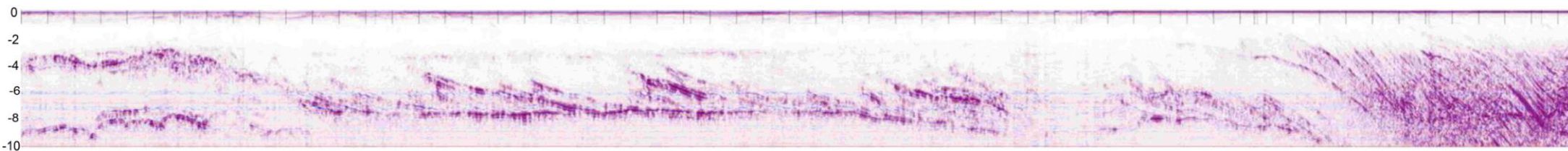
PERFIL 1312



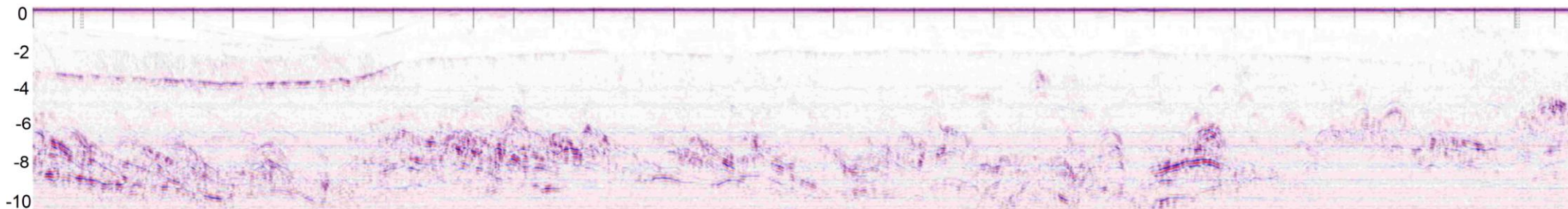
PERFIL1313



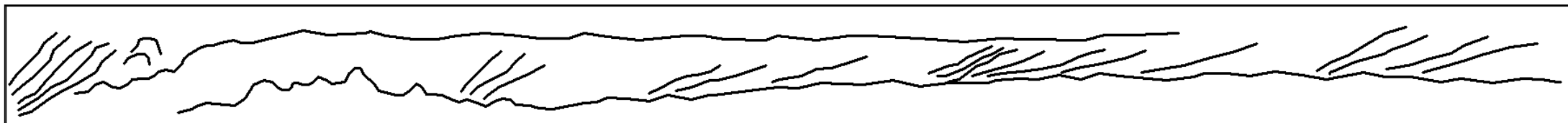
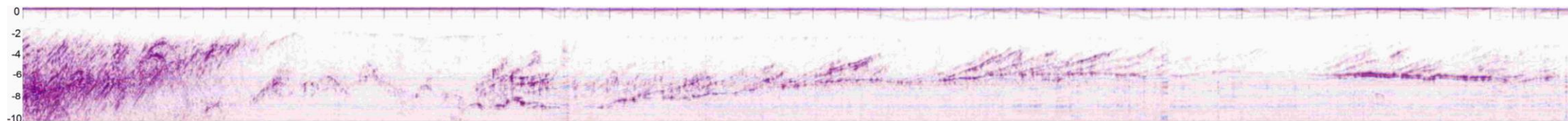
PERFIL 1314



PERFIL 1316



PERFIL 1317



PERFIL 1318

