



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

JORGE HAMILTON SOUZA DOS SANTOS

**LENÇÓIS MARANHENSES ATUAIS E PRETÉRITOS: UM TRATAMENTO
ESPACIAL**

RIO DE JANEIRO
2008

JORGE HAMILTON SOUZA DOS SANTOS

**LENÇÓIS MARANHENSES ATUAIS E PRETÉRITOS: UM TRATAMENTO
ESPACIAL**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Emérito. Jorge Xavier da Silva

Rio de Janeiro
2008

JORGE HAMILTON SOUZA DOS SANTOS

**LENÇÓIS MARANHENSES ATUAIS E PRETÉRITOS: UM TRATAMENTO
ESPACIAL**

Tese de doutorado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor.

Aprovada em ____/ __/____

Jorge Xavier da Silva (Orientador)
Doutor em Geografia - UFRJ

Jorge Soares Marques
Doutor em Geografia - UERJ

André de Souza Avelar
Doutor em Geotecnia - COPPE/UFRJ

João Wagner Alencar Castro
Doutor em Geografia - Museu Nacional/UFRJ

Evaristo de Castro Junior
Doutor em Geografia - UFRJ

Aos meus queridos e amados filhos.
A minha esposa.
Aos meus pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelas bolsas de doutorado necessária a viabilização do doutorado.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão – FAPEMA, pelo auxílio financeiro objetivando a datação de cinco amostras de sedimentos.

Ao IBAMA, em especial aos funcionários do PNLN pelas informações prestadas.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, pela liberação das imagens de satélite (Landsat-7 ETM+ /Geocover-2000) do litoral oriental do estado do Maranhão, o que permitiu a montagem do mosaico e as análises da área em estudo.

Ao INPE pela doação das imagens CBERS-2 dos anos de 2004 e 2005.

A Diretoria do Serviço Geográfico do Exército DSG/Recife-PE, pelo envio das cartas topográficas e de 10 fotografias aéreas da região dos Lençóis Maranhenses.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (SEOMA / 3º Distrito) pelo desconto concedido quando da aquisição dos dados climáticos da estação de Parnaíba-PI.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (SEOMA / 2º Distrito) pelos dados climáticos, do ano de 2007, da estação de São Luís-MA.

Ao Laboratório de Meteorologia da Universidade Estadual do Maranhão pela liberação dos dados climáticos (anos de 2005, 2006 e parte de 2007), da estação de São Luís.

A INTERSAT, pelo desconto concedido durante a negociação para compra das imagens SPOT 4 e 5.

Ao Laboratório de Sedimentologia do Laboratório de Hidrobiologia da UFMA, na pessoa do Dr. Paulo Saraiva Cavalcante, que gentilmente cedeu os equipamentos necessários à realização das análises granulométricas, o meu sincero agradecimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Xavier da Silva, pelos prestimosos ensinamentos repassados ao longo do curso, pela idéia inicial da análise retroativa e pela cooperação e troca de idéias sobre a geomorfologia costeira, análise ambiental e o geoprocessamento.

A minha esposa, Nádja Furtado Bessa dos Santos que sempre esteve presente nesta jornada, dando-me apoio, compartilhando idéias e conhecimentos sobre a área de estudo, bem como pela atenção, dedicação e carinho com que cuidou dos nossos filhos durante a minha freqüente ausência neste período, sou profundamente grato.

Aos meus queridos filhos, André Luís e Aline Bessa dos Santos que suportaram momentos de ausência durante este período e que cederam muitas horas de meu convívio para que este trabalho pudesse ser concluído.

Aos meus pais Carlos Alberto dos Santos e Raimunda Souza dos Santos, pelas palavras de incentivo e apoio durante a realização do doutorado, pelo exemplo de honestidade e simplicidade, assim como pelo carinho e a educação (formal e informal) transmitida.

Aos irmãos Sérgio Luís Souza dos Santos, pelo empréstimo do carro para a realização dos trabalhos de campo e a Sílvia Regina Souza dos Santos pelas palavras de incentivo durante esta jornada.

Aos meus sogros Lindberg Pereira Bessa e Izidora Leis Furtado Bessa e as cunhadas Nióbel Furtado Bessa e Naysa Hèlene Furtado Bessa, pelas palavras de incentivo e por terem ajudado a cuidar dos meus filhos nos anos em que passei no Rio de Janeiro.

À equipe do Laboratório de Geoprocessamento (LAGEOP) da UFRJ, pelas contribuições prestadas durante a execução deste trabalho, Rosangela Garofalo, e em especial ao geógrafo Oswaldo Elias Abdo, pela ajuda prestada durante a utilização do SAGA e na confecção dos mapas.

Aos professores do PPGG da UFRJ, em especial ao Prof.Dr, Antônio José Teixeira Guerra, ao Prof. Dr. Dieter Muehe, Dr. Cláudio Egler, à Prof^a Dr^a. Ana Maria Bicalho, à Prof^a. Dr^a. Mônica Marçal, Prof. Dr. Evaristo de Castro Junior, pelos ensinamentos, amizade, pelos empréstimos bibliográficos e sugestões no decorrer do trabalho.

Aos Professores Dr. Gilberto Tavares de Macedo Dias e a Dr^a Sandra Baptista Cunha, da Universidade Federal Fluminense-UFF, pelos ensinamentos e a amizade demonstrada.

Aos Coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Geografia-PPGG/UFRJ, Dr. Cláudio Antônio Gonçalves Egler, Dr^a. Ana Luiza Coelho Netto e Dr^a Ana Maria Bicalho, pela atenção, apoio institucional e liberação de recursos financeiros.

Ao professor João Wagner Alencar Castro pelos ensinamentos, empréstimos bibliográficos, sugestões durante a pesquisa, bem como pelos convites quando da realização de eventos e treinamentos realizados pelo Laboratório de Geologia Costeira do Museu Nacional/UFRJ.

A Dr^a Vanda Claudino Sales e ao Dr. Luiz Parente Maia pelas sugestões e envio de material bibliográfico.

Ao Dr. Kenitiro Suguio por ter indicado o laboratório responsável pela realização das datações por termoluminescência.

A professora Maria José Saraiva Lopes, do Laboratório de Hidrobiologia – LABOHIDRO da Universidade Federal do Maranhão-UFMA, pelo empréstimo do estereomicroscópio para realização das análises morfoscópicas.

Agradeço a Dr^a Sonia Tatum, Coordenadora do Laboratório de Vidros e Datação da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, pelas explicações e sugestões sobre a coleta das amostras. Extensivo também ao doutorando Sílvio Brito, pela atenção dispensada durante os contatos telefônicos sobre o andamento das datações.

Ao Dr. Marcio Costa F. Vaz dos Santos, pelas discussões sobre os Lençóis Maranhenses, bem como pelo empréstimo dos GPS topográficos e auxílio quando da exportação dos dados coletados em campo para o ambiente CAD.

Agradeço ao Prof. Dr. José Edgar Freitas Tarouco, pelas discussões sobre a pesquisa e ajuda durante a viagem para coleta de 5 amostras de sedimentos arenosos, objetivando a datação.

Ao graduando de Engenharia Civil da UFRJ Leonardo Franklin Fornelos, pela ajuda durante o processamento das imagens e elaboração das cartas temáticas.

Ao professor do Departamento de Geociências da UFMA, Msc. Maurício Rangel, pelo auxílio na classificação da imagem de satélite SPOT-5.

Ao Professor do Departamento de Geociências da UFMA, Dr. Antônio Cordeiro Feitosa, pelo empréstimo do altímetro e anemômetro.

A empresa Tropical Adventure, em especial, à Alfonso H. Leal, pelos descontos quando do fretamento dos veículos, bem como pela ajuda no primeiro trabalho de campo.

Ao geógrafo Janilson Rosa Viana, pela colaboração durante os trabalhos de campo e as análises sedimentológicas.

A amiga Maria da Glória Rocha Ferreira pelo apoio e incentivo, bem como pelo convívio saudável durante a realização do doutorado.

Àos funcionários do PPGG, Guilherme A. S. Britto, Nildete F. Claudino, em especial à secretária Ildione de Jesus O. Rocha pela dedicação e amizade demonstrada.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ, que sabem bem o que isso representa.

Aos professores e funcionários do Departamento de Geociências da UFMA pelo decisivo apoio e compreensão quando da redação definitiva da tese.

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para o encaminhamento e finalização deste estudo.

“A formulação de um problema freqüentemente é mais essencial que sua solução...Para levantar-se novas questões, novas possibilidades, considerar velhas questões a partir de um novo ponto de vista, requer imaginação criativa e marca um avanço real na ciência.”

Albert Einstein

RESUMO

SANTOS, Jorge Hamilton Souza dos. Lençóis Maranhenses Atuais e Pretéritos: um tratamento espacial. Rio de Janeiro, 2008. Tese de doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

O litoral oriental do estado do Maranhão abriga um dos maiores registros de dunas costeiras desenvolvidas ao longo do Quaternário, onde são reconhecidas gerações de dunas fósseis fixadas pela vegetação e dunas atuais, relativamente próximas à linha de costa, que em alguns locais estão avançando sobre as mais antigas. A origem e o desenvolvimento da área estão associados dentre outros fatores às variações eustáticas e climáticas com destaque para a significativa influência da Zona de Convergência Intertropical, responsável pelo considerável índice pluviométrico local e pela presença de duas estações (chuvosa e de estiagem), relativamente bem definidas, ao longo do ano. Embora a referida área caracterize-se pela grande diversidade de ecossistemas presentes (praias, lagoas, estuários, planícies marinha e fluvial, lagoas, manguezais, campos de dunas fixas e móveis), existem poucos estudos disponíveis sobre a sua dinâmica e evolução, principalmente aqueles utilizando mapeamento e respectivas análises em escala de detalhe, assim como técnicas geocronológicas. O presente estudo teve por objetivo realizar uma análise espacializada das principais entidades e eventos atuais e pretéritos caracterizadores do ambiente deposicional eólico dos Lençóis Maranhenses, através de análises geomorfológicas, geocronológicas e pelo uso das tecnologias de GPS, geoprocessamento e interpretação de imagens. Para a identificação e mapeamento dos distintos campos dunares e do processo de migração das dunas atuais, foram elaborados mosaicos a partir da utilização de imagens multitemporais de média e alta resolução, no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, os quais permitiram a obtenção de dados qualitativos e quantitativos sobre a dinâmica existente na referida planície costeira. Os resultados das análises multitemporais, subsidiadas com os dados obtidos em campo, demonstraram que a progressão das dunas no setor sudeste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses variaram desde 4 m/ano a 25 m/ano em função das condições climáticas e da presença ou não de obstáculos naturais representados pela vegetação, lagoas, áreas alagadas e cômoros limitantes. As idades obtidas por termoluminescência das 14 amostras coletadas nos campos de dunas fixas, sugerem que tenham ocorrido pelo menos três fases alternadas de intensa atividade eólica seguidas de elevada umidade, ocorreram na área estudada, resultando na estabilização das formas dunares. Esta deposição arenosa foi identificada principalmente como sendo de idade holocênica. O mapeamento dos diferentes campos de dunas neste setor da planície costeira do Maranhão, assim como uma análise espacializada das principais entidades e eventos atuais e pretéritos, identificados nos Lençóis Maranhenses, são apresentados nesta investigação.

Palavras-chave: Campos de dunas. Lençóis Maranhenses. Dinâmica costeira. Análises geocronológicas e Geotecnologias.

ABSTRACT

SANTOS, Jorge Hamilton Souza dos. Analysis of the present and past Lençóis Maranhenses: a spatial treatment. Rio de Janeiro, 2008. Doctorate Thesis by Geography Pós-Graduation Program. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

The eastern coast of Maranhão State contains one of the greatest record of coastal dunes developed throughout Quaternary; generations of fossil dunes fixed by vegetation and active dunes are seen relatively near the coastal line and, in some places, they are moving over older dunes. The evolution of the area are related to, among other factors, to eustatic and climatic variations, with emphasis on the significant influence of the Intertropical Convergence Zone, which is responsible for the considerable local pluviometric index and for the existence of two relatively well defined seasons (dry weather and rainy season) along the year. Although the referred area is characterized by the great diversity of ecosystems (beaches, lagoons, estuaries, marine and fluvial plains, lakes, marshes, fixed and mobile dune fields), there are few available studies about its dynamics and evolution, specially those related to the use of detailed mapping and analyses, as well as geochronological techniques. This study aims at a spatialized analysis of the main present and past entities and events which characterize the eolian depositional environment of the Lençóis Maranhenses. Geomorphological, geochronological and geoprocessing analyses, and image interpretation, supported by the use of GPS technologies, characterize this investigation. For the identification and mapping of distinct types of dunefields and actual dune migration process, mosaics were elaborated using medium and high resolution multitemporal images available at the Geoprocessing Laboratory of the Geography Department of the Federal University of Rio de Janeiro. This analysis made possible the gathering of qualitative and quantitative data about the present environmental dynamics at the coastal plain. The results of the multitemporal analyses and the field data obtained showed that the migration of the dunes in the southeast sector of Lençóis Maranhenses National Park varied from 4 m/year to 25 m/year, in response to variations in the climatic conditions (winds and rainfall), and also subjected to the eventual presence of natural obstacles such as vegetation, lakes, flooded areas and limiting elongated hills. The ages obtained by thermoluminescence for the 14 samples collected in fixed dune fields suggest that, at least, three alternated phases of intense eolian activity, followed by increased humidity, happened in studied area, resulting in the stabilization of dunelike forms. This sand deposition was identified mainly as being of holocenic age. The mapping of the different dune fields in this sector of the coastal plain of Maranhão, as well as a spatialized analysis of the main entities and present and past events identified in Lençóis Maranhenses, are presented in this investigation.

Key-words: Dune fields. Lençóis Maranhenses. Coastal Dynamics. Geochronological and geotechnological analyses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Mapa de setorização da zona costeira do estado do Maranhão	32
Figura 02	Localização da área de estudo	33
Figura 03	Setor sudeste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses	35
Figura 04	Localização das Unidades de Conservação do Estado do Maranhão	36
Figura 05	Mapa com as principais vias de acesso à região dos Lençóis Maranhenses – e ao PNLN.....	37
Figura 06	Arcabouço Estrutural da bacia de Barreirinhas	38
Figura 07	Coluna litoestatigráfica da bacia de Barreirinhas	40
Figura 08	Carta de uso e cobertura da terra com as localidades de Baixa Grande (A) e Queimada dos Britos (B) ao centro do campo de dunas atuais	44
Figura 09	Mapa batimétrico (isolinhas em cm) de dez lagoas dos Lençóis Maranhenses ..	47
Figura 10	Vista aérea e mapa batimétrico da Lagoa do Caçó.....	48
Figura 11	Vista parcial do litoral e da planície de deflação do PNLN com a presença da foz do rio Negro, sangradouros e lagoas.....	51
Figura 12	Zonas de atuação média dos três principais sistemas meteorológicos que produzem a precipitação no NEB: I - ZCIT; II – frentes frias; III – perturbações e ondas de leste.....	52
Figura 13	As principais estações do ano nos Lençóis Maranhenses.....	56
Figura 14	Médias mensais da precipitação do município de Barreirinhas no período de 1967 a 1991.....	57
Figura 15	Imagem do período chuvoso (junho/04) com presença de áreas inundadas e de estiagem (setembro/05) caracterizando as diferentes paisagens em função das precipitações.....	58
Figura 16	Caracterização pluviométrica da área abrangida pelos estudos para o zoneamento costeiro do estado do Maranhão.....	60
Figura 17	Variação da temperatura média do ar ao longo da região costeira do estado do Maranhão, bem como nos municípios abrangidos pelos estudos para o zoneamento costeiro	61
Figura 18	Rosa dos ventos estação do aeroporto de São Luís	62
Figura 19	Direções predominantes dos ventos do Brasil e especificamente do Estado do Maranhão	63
Figura 20	Os principais mecanismos de transporte eólico.....	80

Figura 21	Modelo deposicional hipotético de ambiente desértico, mostrando a distribuição espacial de vários subambientes, onde se percebe a dominação de processos eólicos (dunas e lençóis arenosos	82
Figura 22	Duna barcana embrionária e seus elementos geométricos.....	90
Figura 23	Duna barcanóide e respectivas faces de deslizamento.....	92
Figura 24	Variações na morfologia de dunas parabólicas (A) Dunas simples (B) Dunas compostas.....	95
Figura 25	Distribuição dos principais campos de dunas transgressivos ativos (em cinza) e campos de dunas interiores estabilizados (áreas K, L, e M) do Brasil.....	97
Figura 26	Modelos de organização espacial de feições deposicionais nos sistemas eólicos ativos do sul do Brasil: A. Mapa esquemático com os dois tipos de associações de fácies na costa centro sul de Santa Catarina. B.Perfil transversal esquemático da planície costeira do Rio Grande do Sul.....	107
Figura 27	Percursos (em amarelo) realizados em agosto de 2005 com GPS geodésico no setor sudeste do PNLN.....	114
Figura 28	Dinâmica do campo de dunas: setor sudeste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses.....	123
Figura 29	Vista em detalhe do soterramento ocorrido sobre os recursos hídricos, áreas agrícolas e trilhas do PNLN no período de 1976 a 2004	127
Figura 30	Limites do campo de dunas do setor lagoa Azul no ano de 1966 Barreirinhas/MA	129
Figura 31	Limites do campo de dunas do setor lagoa Azul no ano de 1976 Barreirinhas/MA	130
Figura 32	Limites do campo de dunas do setor lagoa Azul no ano de 2004 Barreirinhas/MA	131
Figura 33	Limites do campo de dunas do setor lagoa Azul nos anos de 1966 a 2004 Barreirinhas/MA	132
Figura 34	Variação do processo de migração da duna barcana b1 no período chuvoso e de estiagem - setor lagoa Azul, PNLN/ Barreirinhas – MA.....	141
Figura 35	Variação do processo de migração da duna barcana b2 no período chuvoso e de estiagem - setor lagoa Azul, PNLN/ Barreirinhas – MA.....	142

Figura 36	Variação do processo de migração da duna b2, no ano de 2006, com destaque para as medidas efetuadas durante o período chuvoso – setor lagoa Azul – PNLM-MA.....	143
Figura 37	Variação do processo de migração da duna barcana b3 no período chuvoso e estiagem – setor lagoa Azul, PNLM /Barreirinhas – MA.....	144
Figura 38	Variação da taxas de avanço por metro / ano, das 3 dunas monitoradas no setor lagoa Azul, PNLM – Barreirinhas/MA.....	145
Figura 39	Variação das precipitações pluviométricas em São Luís, durante o período de monitoramento das dunas no PNLM.....	145
Figura 40	Imagem da frente de dunas do setor lagoa Azul, monitorada com GPS topográfico no período de ago/05 a dez/07.....	147
Figura 41	Variação da velocidade de migração da frente de dunas barcanóides e transversais, obtidas com GPS topográfico, no período de agosto/06 a dezembro/07 – setor lagoa Azul, PNLM.....	148
Figura 42	Fotografias panorâmicas demonstrando em diferentes datas o soterramento da lagoa do Peixe pelas dunas no PNLM – MA/Brasil.....	150
Figura 43	Variação da velocidade de migração da duna b1 obtida com GPS topográfico no período de agosto/05 a dezembro/07.....	151
Figura 44	Variação da velocidade de migração da duna b2 obtida com GPS topográfico no período de agosto/05 a dezembro/07.....	152
Figura 45	Variação da velocidade de migração da duna b3 obtida com GPS topográfico no período de agosto/05 a dezembro/07.....	152
Figura 46	Limites obtidos com GPS topográfico em agosto de 2005-setor Lagoa Azul/Barreirinhas – MA.....	153
Figura 47	Limites obtidos com GPS topográfico em agosto de 2006 - setor Lagoa Azul/Barreirinhas – MA.....	154
Figura 48	Limites obtidos com GPS topográfico em janeiro de 2007 – setor Lagoa Azul/Barreirinhas – MA.....	155
Figura 49	Limites obtidos com GPS topográfico entre janeiro e dezembro de 2007 – setor Lagoa Azul/Barreirinhas – MA.....	156
Figura 50	Limites obtidos com GPS topográfico entre agosto de 2005 e dezembro de 2007 – setor Lagoa Azul/Barreirinhas – MA.....	157

Figura 51	Distância da duna fixa localizada no município Presidente Vargas a 160 km da linha de costa – Lençóis Maranhenses / Brasil	163
Figura 52	Imagem dos Lençóis Maranhenses com as idades das dunas fixas datadas por termoluminescência	164
Figura 53	Representação gráfica das amostras de dunas fixadas dos Lençóis Maranhenses datadas por termoluminescência (TL).....	172
Figura 54	Representação gráfica do número de amostras datadas em função da idade TL – Rio Grande do Norte	172
Figura 55	Idades TL dos sedimentos arenosos que formam as dunas nas bacias dos rios Negro e Branco situadas na Amazônia.....	173
Figura 56	Imagem dos Lençóis Maranhenses com os locais das coletas de areia.....	175
Figura 57	Diâmetro médio das areias - unidades geomorfológicas (praia e pós-praia) dos Lençóis Maranhenses	178
Figura 58	Diâmetro médio das areias - unidades geomorfológicas (pós-praia, lençol de areia e dunas móveis) dos Lençóis Maranhenses	180
Figura 59	Diâmetro médio das areias - unidade geomorfológica (dunas móveis) dos Lençóis Maranhenses	181
Figura 60	Diâmetro médio das areias - unidade geomorfológica (dunas móveis) dos Lençóis Maranhenses	182
Figura 61	Diâmetro médio das areias - unidades geomorfológicas (rastro de dunas, dunas móveis e fixas) dos Lençóis Maranhenses	183
Figura 62	Diâmetro médio das areias - unidade geomorfológica (dunas fixas) dos Lençóis Maranhenses	184
Figura 63	Diâmetro médio das areias - unidades geomorfológicas (dunas fixas e planura arenosa) dos Lençóis Maranhenses	185
Figura 64	Curva de variação do nível do mar no litoral brasileiro	197
Figura 65	Curvas de variação do nível do mar propostas para a costa brasileira e seus respectivos locais.....	198
Figura 66	Delta do Parnaíba com indicação das quatro desembocaduras existentes	201
Figura 67	Vista da provável desembocadura do rio Preguiças, com largura de aproximadamente 280m de largura e canais abandonados a retaguarda	202
Figura 68	Distância entre o canal atual e a possível foz anterior do rio Preguiças, bem como a esquerda da imagem, à presença de pistas de migração abandonadas a retaguarda do campo de dunas móveis do PNLM.....	203

Figura 69	Localização das dunas fixadas (amarelo) e seus prováveis pontos iniciais de migração (verde) na plataforma continental e/ou reativação eólica no continente – Lençóis Maranhenses / MA. 184	207
Figura 70	Principais campos de dunas atuais e pretéritos dos Lençóis Maranhenses – MA.....	209
Figura 71	Modelo evolutivo dos campos de dunas dos Lençóis Maranhenses entre os rios Munim e o Preguiças, com a identificação das zonas de: alimentação, entrada, retenção e saída.....	210
Figura 72	Representação simplificada do recobrimento sedimentar da plataforma continental brasileira	211
Figura 73	Imagem do PNLN com a indicação dos locais com diferentes formas eólicas	217
Figura 74	Diferentes tipos de dunas e pistas de migração identificadas nos Lençóis Maranhenses – MA.....	218
Figura 75	Carta imagem do litoral oriental do estado do Maranhão com isolíneas altimétricas obtidas a partir da imagem SRTM.....	220
Figura 76	Imagem da região dos Lençóis Maranhenses com presença de drenagem radial ao sul da cidade de Barreirinhas-MA	221

LISTA DE FOTOS

Foto 01	Vista do Farol no povoado de Mandacaru - Barreirinhas / MA	45
Foto 02	Vista parcial da lagoa da Esperança, com presença de dunas móveis avançando sobre o ambiente lacustre, no limite interno do campo de dunas do PNLM	48
Foto 03	Lagoas interdunares no interior do campo de dunas móveis do PNLM.....	49
Foto 04	Vista panorâmica da lagoa Bonita e das cadeias barcanóides no interior do PNLM	50
Foto 05	Vista da praia do PNLM com presença de laguna (temporária) a esquerda e águas marinhas à direita.....	51
Foto 06	Vegetação de restinga ao entorno do campo de dunas móveis do PNLM.....	65
Foto 07	Vegetação de mangue na foz do rio Preguiças-Povoado de Mandacaru	66
Foto 08	Instalação do receptor GPS fixo-Trilha Lagoa Azul (set/05)	113
Foto 09	Instalação do receptor GPS fixo-povoado de Atins (dez/05).	113
Foto 10	Local de coleta da amostra nº 09, situada a margem da MA-204 próximo ao posto da Polícia Militar, chegando a Barreirinhas	217
Foto 11	Local de coleta da amostra nº 10, próximo a lagoa do Caçó	118
Foto 12	Análise morfoscópica utilizando Estereomicroscópio e presença de grãos de areia arredondados, subarredondados e subangulosos.....	121
Foto 13	Dunas migrando em direção ao cordão limitante vegetado (cômoro).....	125
Foto 14	Bifurcação das dunas gerando duas frentes de migração setor lagoa Azul/PNLM	125
Foto 15	Medição da distância dos piquetes instalados em relação as dunas no PNLM	139
Foto 16	Foto aérea do setor lagoa Azul, com a identificação das dunas b1, b2 e b3 monitoradas em campo, no período de agosto de 2005 a dezembro de 2007.....	140
Foto 17	Vista aérea das dunas b1 e b2 com presença de áreas alagadas principalmente a frente da duna b1 (sobrevôo à área em maio de 2006 - estação chuvosa).	142
Foto 18	Frente de dunas migrando em direção a lagoa do Peixe com a presença da planície de deflação parcialmente alagada.....	148
Foto 19	Vista panorâmica de um pequeno curso d' água (sangradouro) desaguando no mar, formando uma pequena "cachoeira", praia dos Lençóis Grandes-PNLM/MA.....	159

Foto 20	Presença dos lençóis de areia situados na pós-praia dos Lençóis Maranhenses, com presença de dunas nebkhas e de sombra.....	213
Foto 21	Presença esteiras de dunas com a presença dos contornos de barlavento e dos cordões de areias limitantes das dunas barcanas	214
Foto 22	Presença de dunas oblíquas originadas pela transformação das cadeias barcanóides	215

LISTA DE QUADROS

Quadro 01	Distribuição pluviométrica de Barreirinhas-MA (período de 1967 a 1991)..	59
Quadro 02	Evolução da população do município de Barreirinhas (1960 a 2005).....	68
Quadro 03	Exemplos de pesquisas realizadas em ambientes sedimentar eólico na zona costeira brasileira (período: 1999-2003).....	99
Quadro 04	Exemplos de pesquisas realizadas em ambientes sedimentar eólico na zona costeira brasileira (período: 2004-2007).....	100
Quadro 05	Exemplos de taxas de migrações de dunas costeiras em diferentes locais no Brasil.....	101
Quadro 06	Classificações das principais feições e formas eólicas da zona costeira do: 1) Rio Grande do Sul – RS; 2) Paracuru – CE e 3) Lençóis Pequenos – MA	103
Quadro 07	Determinação das taxas de migração das frentes de dunas barcanóides e transversais em direção a lagoa do Peixe, localizada no PNLM, Barreirinhas - MA, a partir de fotografias aéreas verticais multitemporais..	134
Quadro 08	Determinação das taxas de migração da duna barcana b1, localizada no (setor lagoa Azul- PNLM, Barreirinhas - MA), obtidas a partir de fotografias aéreas verticais multitemporais	136
Quadro 09	Determinação das taxas de migração da duna barcana b3, localizada no (Setor lagoa Azul- PNLM, Barreirinhas - MA), obtidas a partir de fotografias aéreas verticais multitemporais	138
Quadro 10	Principais índices pluviométricos acima da média registrados no período de 1967 a 1976, em Barreirinhas-MA.....	139
Quadro 11	Medidas morfométricas da lagoa do Peixe obtidas a partir de fotografias aéreas, imagens de satélite e trabalhos de campo com GPS topográfico (2006 e 2007)	149
Quadro 12	Variações das taxas de migração das frentes de dunas, obtidas a partir da monitoria realizada com as fotos aéreas de 1976 e a imagem SPOT-5 de 2004 e as respectivas distâncias em relação ao rio Preguiças e a praia	160
Quadro 13	Idades obtidas e localização das formas eólicas datadas por Termoluminescência.....	165

Quadro 14	Períodos e condições climáticas identificadas na lagoa do Caçó nos últimos 21.000 anos AP	167
Quadro 15	Exemplos de estudos realizados no Brasil com datação de terraços e dunas eólicas por termoluminescência, no período de 1998 a 2002	170
Quadro 16	Exemplos de estudos realizados no Brasil com datação de dunas eólicas por termoluminescência, no período de 2002 a 2005	171
Quadro 17	Média dos parâmetros estatísticos dos sedimentos arenosos dos campos de dunas atuais e fósseis dos Lençóis Maranhenses – MA	190
Quadro 18	Grau de arredondamento dos grãos de diferentes unidades geomorfológicas dos Lençóis Maranhenses-MA	192
Quadro 19	Valores de distâncias e idades utilizados para divisão e obtenção da velocidade média de deslocamento das dunas	205

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Diagrama de Shepard demonstrando a classificação de 18 amostras de areias do campo de dunas atual do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses -MA	186
Gráfico 02	Diagrama de Shepard demonstrando a classificação de 18 amostras de areias do campo de dunas fixas do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses - MA	186
Gráfico 03	Frequência acumulada de 09 amostras de sedimentos arenosos do campo de dunas atuais dos Lençóis Maranhenses – MA	187
Gráfico 04	Frequência acumulada de 09 amostras de sedimentos arenosos do campo de dunas atuais dos Lençóis Maranhenses - MA.....	187
Gráfico 05	Frequência acumulada de 07 amostras de sedimentos arenosos dos campos de dunas fósseis dos Lençóis Maranhenses - MA	188
Gráfico 06	Frequência acumulada de 06 amostras de sedimentos arenosos dos campos de dunas fósseis dos Lençóis Maranhenses - MA	188
Gráfico 07	Relação entre o desvio padrão e assimetria das 18 amostras de sedimentos arenoso do campo de dunas atual do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses – MA.....	189
Gráfico 08	Relação entre o desvio padrão e assimetria das 13 amostras de sedimentos arenosos dos campos de dunas fósseis dos Lençóis Maranhenses - MA	190

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABEQUA	– Associação Brasileira de Estudos do Quaternário
A.P.	– Antes do Presente
CBERS	– China Brazil Earth Resources Satellite
CPRM	– Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPTEC	– Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DEM	– Digital Elevation Model
DGPS	– Differential Global Positioning System
DHN	– Diretoria de Hidrografia e Navegação
ENSO	– El Nino Southern Oscillation
ETM+	– Enhanced Thematic Mapper Plus (sensor do Lansat)
GIS	– Geographic Information System
GPS	– Global Positioning System
IBAMA	– Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	– Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LABOHIDRO	– Laboratório de Hidrologia
LAGEMAR	– Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha
LAGEOP	– Laboratório de Geoprocessamento
LANDSAT	– Land Remote Sensing Satellite
MMA	– Ministério do Meio Ambiente
PC1	– Primeira Componente Principal
PETROBRAS	– Petróleo Brasileiro S. A.
SEMA	– Secretaria do Meio Ambiente (Maranhão)
SIG	– Sistema de Informação Geográfica
SPOT	– Satellite pour l' Observation de la Terre
SRTM	– Shuttle Radar Topography Mission
TM	– Thematic Mapper
UFMA	– Universidade Federal do Maranhão
UTM	– Universal Transverse Mercator
ZCIT	– Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	JUSTIFICATIVA	28
1.2	HIPÓTESES	30
1.3	OBJETIVOS	30
1.3.1	 Gerais	30
1.3.2	 Específicos	30
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
2.1	LOCALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA ÁREA.....	31
2.2	ASPECTOS GEOLÓGICOS	38
2.3	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	42
2.4	ASPECTOS HIDROGRÁFICOS	43
2.5	ASPECTOS CLIMÁTICOS	52
2.6	ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS.....	64
2.7	VEGETAÇÃO.....	64
2.8	FAUNA	67
2.9	ASPECTOS HUMANOS, SOCIAIS E ECONÔMICOS	68
3	REVISÃO DA LITERATURA	70
3.1	CONCEITUAÇÕES BÁSICAS.....	70
3.1.1	 Geoprocessamento: algumas definições	71
3.1.2	 Principais tecnologias envolvidas no geoprocessamento	72
3.1.2.1	Cartografia digital.....	72
3.1.2.2	Sensoriamento remoto	72
3.1.2.3	Modelo digital do terreno	73
3.1.2.4	Sistemas de posicionamento global.....	73
3.1.2.5	Geographic Information System	73

3.2	DEFINIÇÕES E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS GIS	74
3.2.1	Potencialidades	76
3.3	CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS FEIÇÕES EÓLICAS DO AMBIENTE COSTEIRO.....	78
3.3.1	Definições de dunas	79
3.3.2	Mecanismos de erosão, transporte e deposição pelo vento.....	80
3.3.3	Origem das dunas.....	82
3.3.3.1	Arcabouço estrutural	82
3.3.3.2	Oscilação do nível do mar e condições paleoclimáticas	83
3.3.3.3	Ação das ondas e correntes longitudinais.....	85
3.3.3.4	As variações de amplitudes das marés	85
3.3.3.5	Ventos	86
3.3.3.6	Variação do lençol freático	87
3.3.3.7	Tipo de praia	87
3.4	CLASSIFICAÇÃO DE DUNAS COSTEIRAS	88
3.4.1	Principais tipos de depósitos eólicos	88
3.4.2	Dunas ativas	89
3.4.3	Dunas semi-fixas	93
3.4.4	Dunas fixas	94
3.4.5	Estudos sobre dunas costeiras no Brasil	96
3.4.6	Exemplos de classificações.....	102
3.4.7	Quanto a datação de dunas eólicas	106
4	CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS	110
4.1	PROCEDIMENTOS EXECUTADOS.....	110
4.1.1	Etapa de gabinete	111
4.1.1.1	Revisão bibliográfica	111

4.1.1.2	Seleção e aquisição de material cartográfico e de imagens	112
4.1.1.3	Tabulação dos dados e informações	113
4.1.2	Pesquisa de Campo	113
4.1.2.1	Obtenção de pontos de controle para georreferenciamento das imagens.....	114
4.1.2.2	Monitoramento de migração das dunas com piquetes	114
4.1.2.3	Monitoramento de migração das dunas com GPS topográfico	115
4.1.2.4	Coleta de sedimentos para realização das análises textural	116
4.1.2.5	Levantamento fotográfico	116
4.1.2.6	Coleta de amostras para datação por termoluminescência	116
4.1.3	Etapa de laboratório	118
4.1.3.1	Montagem e georreferenciamento dos mosaicos digitais.....	118
4.1.3.2	Monitoramento de migração das dunas com fotografias aéreas.....	119
4.1.3.3	Elaboração da carta imagem com isolinhas altimétricas	120
4.1.3.4	Pré-processamento e edição dos mosaicos	120
4.1.3.5	Procedimentos diagnósticos	120
4.1.3.6	Análises sedimentológicas	121
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	122
5.1	DETERMINAÇÃO DA TAXA DE MIGRAÇÃO DAS DUNAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS E AEROFOTOS	122
5.1.1	Análise da taxa de migração das dunas no setor sudeste do PNL	122
5.1.2	Análise da taxa de migração das dunas no setor lagoa Azul: dunas b1, b3 e da frente de dunas em direção à lagoa do Peixe	128
5.2	DETERMINAÇÃO DA TAXA DE MIGRAÇÃO DAS DUNAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE PIQUETES.....	139
5.2.1	Duna barcana (b1)	140

5.2.2	Duna barcana (b2)	141
5.2.3	Duna barcana (b3)	143
5.3	DETERMINAÇÃO DA TAXA DE MIGRAÇÃO DAS DUNAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE GPS TOPOGRÁFICO	146
5.3.1	Frente de dunas – setor lagoa Azul	147
5.3.2	Dunas barcanas b1, b2 e b3	151
5.4	DATAÇÃO E EVOLUÇÃO DO CAMPO DE DUNAS EÓLICAS INATIVAS DOS LENÇÓIS MARANHENSES	162
5.4.1	Idades obtidas e discussões paleoclimáticas	162
5.5	CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AMBIENTES ARENOSOS DOS LENÇÓIS MARANHENSES	173
5.5.1	Resultados e discussões	173
5.6	ENTIDADES E EVENTOS CONSIDERADOS	193
5.6.1	Principais entidades identificadas	194
5.6.2	Descrição dos principais eventos considerados	195
5.6.2.1	Transgressões e regressões	195
5.6.2.2	Mudanças de posição da foz do rio Parnaíba e suas relações com os campos de dunas atuais e subatuais dos Lençóis Maranhenses	199
5.6.2.3	Considerações sobre as mudanças climáticas ocorridas nos Lençóis Maranhenses	204
5.7	ANÁLISES RETROATIVAS DAS DUNAS FIXADAS	205
5.8	MODELO EVOLUTIVO DOS CAMPOS DE DUNAS DOS LENÇÓIS MARANHENSES	208
6	CONCLUSÕES	223
	REFERÊNCIAS	228
	ANEXOS	246

1 INTRODUÇÃO

As dunas eólicas ocorrem principalmente nos desertos e nas zonas costeiras, onde a formação desses depósitos sedimentares pode ser facilitada pela ocorrência de eventos naturais de abrangência local, regional e /ou global.

Genericamente, as dunas costeiras ocorrem onde existe grande suprimento de sedimentos arenosos, ventos constantes capazes de selecionar e mover as areias e um local apropriado onde estas podem se acumular (SILVA et al., 2004). Assim sendo, as planícies costeiras, com terrenos de baixas altitudes e sem a presença de significativos obstáculos a ação eólica constitui, no entender destes autores, locais adequados à ocorrência das formas eólicas.

Desta maneira, as dunas de areias finas quartzosas representam um dos elementos da paisagem costeira, as quais, geralmente, quando situadas contíguas à linha de costa, destituídas de vegetação, têm uma significativa mobilidade. De acordo com Ribeiro (2000), as mesmas funcionam como forma de proteção natural da linha de costa contra a atuação dos agentes oceanográficos extremos, além de serem importantes áreas de recarga dos aquíferos na franja costeira.

Além destas características, os campos dunares são também excelentes áreas de exploração turística (BAUER; SHERMAN, 1999), assim como indicadores da localização de parques de geração de energia eólica e de exploração de recursos minerais.

As dunas inativas ou fósseis, conforme Barreto (1996), apresentam-se, freqüentemente, cobertas por vegetação e têm a forma original parcialmente modificada por processos erosivos e/ou pedogenéticos atuantes posteriormente à sua sedimentação. São comumente relacionadas a climas pretéritos, provavelmente mais secos que o atual, conforme observado por Thomas e Shaw (1991), corroborado por Barreto (1996) e Giannini et al. (2005), como também as variações do nível do mar ocorridas ao longo do Quaternário.

Devido à diversidade de ambientes existentes, a zona costeira é considerada como de interesse especial para o Brasil, sendo definida como patrimônio nacional pela Constituição Federal de 1988.

O estudo da zona costeira em nosso país, nas duas últimas décadas, tomou um maior impulso em virtude da necessidade de se conhecer melhor este ambiente que encerra múltiplas potencialidades (SANTOS, 1996), tão pouco estudado em escala de detalhe.

Do ponto de vista socioeconômico, essa zona representa importante área para a instalação de atividades relacionadas ao turismo e lazer, em torno da qual se desenvolvem cidades, balneários, áreas comerciais, industriais, turísticas e portuárias (CARVALHO e RIZZO, 1994).

Estas atividades terminam por envolver um significativo número de pessoas, como também altos investimentos financeiros, na forma de empreendimentos turísticos, proliferação de condomínios litorâneos, avenidas e demais construções a beira-mar, muitas vezes inadequadas, e que, no entender de Hoefel (1998), terminam por comprometer a qualidade estética e a dinâmica natural dessas áreas.

Além das alterações decorrentes das atividades antrópicas, a interação dos vários agentes naturais, em especial os climáticos e oceanográficos, fazem da zona costeira um local de intenso dinamismo das feições geomorfológicas, se comparado ao ambiente continental. Em decorrência do número significativo de agentes naturais envolvidos, a linha costeira apresenta uma considerável dinâmica, manifestada pelo assoreamento de manguezais e superfícies líquidas (rios, lagos e lagoas), pelas dunas, bem como pelo surgimento e desenvolvimento das praias, pontais, embocaduras fluviais, bancos e cordões arenosos, dentre outros exemplos, constituindo assim, conforme Silva et al. (2004), significativas alterações espaciais e temporais.

A partir da década de 70 e principalmente na última década, as análises ambientais começaram a ser realizadas com a incorporação das geotecnologias. O desenvolvimento das técnicas computacionais, segundo Xavier-da-Silva (2001), gerou, para as investigações ambientais, novas possibilidades analíticas, tais como a varredura minuciosa de uma área geográfica contida em uma base de dados em uso por um SGI.

Além da citada varredura, conforme o referido autor, os SGIs permitem conjugar numerosos dados de diferentes naturezas (tipos, escalas e resoluções), em um procedimento denominado de integração locacional, uma vez que opera com base no atributo axiomático de localização, inerente a todo dado ambiental.

É válido mencionar que a utilização do geoprocessamento ao longo da franja costeira, vem recentemente propiciando a elaboração de estudos relacionados à dinâmica e evolução dos campos de dunas, a exemplo dos estudos realizados por Santos (1996), Castro (2001), Dias (2005) e Dias et al. (2007).

Desta forma, os estudos sobre a geração, o desenvolvimento e os respectivos processos responsáveis pela dinâmica dos sistemas dunares, vêm sendo realizados por diversos pesquisadores, visando obter novas informações e/ou evidências sobre as mudanças

ambientais ocorridas no Holoceno e no Pleistoceno. Mediante este fato, as pesquisas paleogeográficas, especificamente as relacionadas aos sistemas eólicos, nas últimas décadas, foram sendo dinamizadas pelo surgimento de novos métodos geocronológicos, a exemplo da termoluminescência (TL) e da luminescência opticamente estimulada (LOE), as quais possibilitam datações das areias quartzosas.

A partir dos novos recursos tecnológicos disponíveis e dos métodos geocronológicos capazes de estimar a idade das dunas, cabe perguntar, em atendimento ao interesse científico: quais são as principais entidades responsáveis pela dinâmica local? Qual a fonte supridora dos atuais campos de dunas fixas e móveis? Quando se originaram estas dunas? Quantas gerações de dunas com diferentes idades existem nos Lençóis Maranhenses? Qual a taxa de migração atual das dunas ativas no setor SE do PNLN? Estas questões básicas motivaram a realização desta pesquisa de doutorado.

Nesta perspectiva, este trabalho foi desenvolvido numa área de aproximadamente 4.500 km², centrada no PNLN e áreas vizinhas, situada entre a baía de São José e o rio Parnaíba, com a interpretação de imagens de média e alta resolução, associadas a utilização das geotecnologias citadas, associadas à datação dos sedimentos arenosos por termoluminescência.

Quanto aos trabalhos de campo, visando à estimativa das taxas de migração de dunas isoladas e de frentes de dunas, estes tiveram início em agosto de 2005 e término em dezembro de 2007. Este monitoramento foi executado com a utilização de marcos em campo, caminhamentos com GPS geodésico e pelas medições planimétricas realizadas através das imagens multitemporais dos anos de 1966, 1976, 1999 e 2004.

Ao término desta tese espera-se contribuir para o entendimento e discussão sobre a origem e a dinâmica existente no referido sistema sedimentar eólico, assim como apresentar ponderações no tocante aos procedimentos utilizados para a estimativa das taxas de avanço das dunas. Será apresentada uma síntese sobre a atuação das principais entidades e eventos na área, (entendidas entidades como os componentes espaciais de uma situação ambiental, enquanto os eventos são fenômenos percebidos principalmente na dimensão tempo – XAVIER-da-SILVA, 2004), acompanhada de uma proposta de modelo evolutivo e de uma análise territorial regressiva, baseada nas idades e nas taxas de migração das dunas atuais, obtidas nos trabalhos de campo e no laboratório de geoprocessamento.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os Lençóis Maranhenses, formados ao longo do Quaternário, devido à exuberância e diversidade dos seus ecossistemas, em 02 de junho de 1981, por sugestão do Projeto Radam, teve parte de sua área transformada em Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses.

Toda a área do Parque está inserida na microrregião dos Lençóis Maranhenses, a qual é considerada um sítio geológico único no Brasil, devido à sua natureza e extensão, constituído-se num local propício a estudos de sua gênese, ligada à dinâmica eólica local. Em recente levantamento bibliográfico, percebe-se que o conhecimento sobre a dinâmica e evolução da paisagem do sistema sedimentar eólico do PNLN, é escasso, principalmente, no que diz respeito aos aspectos pormenorizados. Entretanto, muitos aspectos menos aparentes são relevantes e precisam ser estudados e trazidos ao conhecimento, tanto da comunidade local, quanto da comunidade científica.

As informações mais atualizadas da referida Unidade de Conservação - UC, no que diz respeito aos aspectos físicos e socioambientais, estão reunidas no Plano de Manejo do PNLN, publicado em 2003, e no zoneamento costeiro estadual, publicado em 2004. O plano de manejo em referência destaca, dentre as linhas de pesquisas, a necessidade da obtenção das taxas de deslocamento das dunas, bem como a definição das idades dos diferentes campos de dunas. Todavia, a identificação e mapeamento dos distintos campos de dunas móveis e fixas em toda a extensão do litoral, em escala mais detalhada, ou seja, maior que 1:160.000, ainda é inexistente, o que dificulta o efetivo planejamento e a gestão da área.

Nesse sentido Marques (1994) afirma que para se alcançar o conhecimento pleno do que são e representam, uma ou todas, as formas de relevo, identificadas em diferentes escalas espaciais e temporais, é preciso compreender e explicar como elas surgem e evoluem.

De acordo com Guerra e Cunha (1996), “o papel integrador da geomorfologia na busca da compreensão dos processos de evolução do relevo e dos impactos causados pela ação antrópica, tem contribuído de forma significativa quando da realização dos diagnósticos sobre a degradação ambiental, bem como apontando, também, soluções para resolver esses problemas”.

Desta maneira, a falta do mapeamento das diferentes formas de relevo se torna um fator limitador à tomada de decisão, uma vez que a potencialidade do conhecimento geomorfológico, conforme Christofolletti, (1998), é inegável no diagnóstico das condições

ambientais, contribuindo para orientar a alocação e o assentamento das diferentes atividades humanas. Embora os ambientes dunares sejam protegidos por legislação específica, ainda não se tem, até o momento, nenhum mapeamento da extensão e dos locais que devem ser estudados e/ou preservados.

Excluindo-se os estudos de cunho geológico e geomorfológico desenvolvidos pela Petrobras a partir da década de 60, indisponíveis e dos realizados pelo Projeto Radam e pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM em escalas regionais, somente a partir do final da década de 90 as investigações sobre a evolução e a morfodinâmica começaram a ser discutidas.

De acordo com Dominguez e Martin (2007, p.3),

A compreensão da dinâmica e dos controles ambientais responsáveis pelo aparecimento e evolução das dunas presentes na região costeira do nordeste do Brasil é fundamental para o manejo ambiental das mesmas. Estas áreas são extremamente sensíveis devido a sua propensão para mudança mesmo quando submetidas a pequenos estresses ambientais. Pequenos distúrbios podem resultar em danos e mudanças progressivas a longo prazo. Adicionalmente o estudo dos campos de dunas costeiras do nordeste e a datação pelo método do carbono -14 das suas diferentes fases de construção contribuirão para a compreensão e documentação de mudanças climáticas Quaternárias que afetaram o Hemisfério Sul.

Vários aspectos relativos aos campos de dunas merecem atenção, em atendimento ao judicioso parágrafo anteriormente transcrito. Além das questões relacionadas aos locais e ocasiões de origem dos campos de dunas, é relevante obter capacidade para fazer previsões quanto ao seu comportamento atual e de um futuro relativamente próximo.

Tal aspecto de investigação remete à identificação da velocidade de deslocamento das dunas atuais e à localização e deslocamentos pretéritos de campos de dunas ditas fixadas. A determinação das idades das dunas fixadas por termoluminescência e das taxas de migração em diferentes pontos da área de estudo, tornou possível a realização de correlações, para se estimar uma faixa de idade para as dunas atuais, assim como propiciou a execução de uma proposta de análise territorial regressiva, no intuito de se obter a localização das prováveis zonas de origem destas formas eólicas.

Desta maneira, os dados e informações apresentados nesta tese poderão, juntamente com o acervo já existente, propiciar um razoável ganho de conhecimento sobre a gênese e evolução dos campos de dunas atuais e pretéritos dos Lençóis Maranhenses.

1.2 HIPÓTESES

As entidades e eventos ambientais relevantes do Litoral Oriental do Maranhão podem ser identificadas e seus correlacionamentos espaciais e temporais proporcionam ganhos de conhecimento sobre a gênese e evolução sub-atual dos campos de dunas móveis e fixadas existentes na área estudada.

Análises da distribuição espacial de grandes massas de dados georreferenciados, em associação com registros geocronológicos, permitem estimar as dimensões espaciais e temporais de feições geomorfológicas de alto significado local e importância regional.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Gerais

* Contribuir, através de diferentes análises e integração de dados ambientais, para o melhor conhecimento da dinâmica ambiental do Litoral Oriental maranhense.

* Executar análises espaciais das entidades e eventos atuais e pretéritos relevantes nos Lençóis Maranhenses.

1.4.2 Específicos

- Identificar as principais entidades e eventos caracterizadores do ambiente deposicional eólico dos Lençóis Maranhenses;
- Identificar e mapear os diversos campos de dunas ativos e inativos do NE maranhense, com base em dados morfológicos, topográficos, sedimentológicos e geocronológicos;
- Realizar monitoramentos da migração de dunas no PNLM, a partir de trabalhos de campo, análises de fotografias aéreas e imagens de satélite, abrangendo registros referentes a 1966, 1976, 1999, 2004, 2005, 2006, 2007;
- Realizar datações de sedimentos eólicos, visando a discriminação espaço-temporal de distintos campos de dunas pretéritos.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A descrição das características da área do presente estudo se apoiará na vivência profissional do autor e no levantamento e análise das publicações nacionais e internacionais sobre os principais aspectos ambientais da planície costeira maranhense, particularmente os relacionados aos Lençóis Maranhenses.

2.1 LOCALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA ÁREA

O litoral maranhense apresenta uma extensão de 640 km (entre a foz do rio Gurupi, limite com o estado do Pará e o Delta do Parnaíba e limite com o estado do Piauí), e contém um forte controle estrutural (COSTA et al., 1991), seguindo as orientações das falhas normais NW-SE e falhas transcorrentes NE-SW.

De acordo com El Robrini et al. (2006), as características fisiográficas da Zona Costeira e Estuarina do Maranhão (ZCEM) possibilitam a definição de 5 (cinco) setores bem distintos (Figura 01).

Os Lençóis Maranhenses, objeto desta pesquisa, localiza-se na região nordeste do país, mais precisamente no litoral oriental do estado do Maranhão (setor 2), entre as seguintes coordenadas geográficas: 02° 14' 26'' e 03° 26' 25'' lat. S; 44° 15' 24'' e 41° 47' 37'' long. W (Figura 02).

Limita-se ao norte com o oceano Atlântico, ao sul com os tabuleiros dissecados da Formação Barreiras, a leste com o rio Parnaíba/PI e a oeste com a baía de São José/MA e o rio Itapecuru.

A referida área situa-se, por ordem de abrangência territorial, nas mesorregiões norte e leste maranhense e nas microrregiões dos Lençóis Maranhenses, Rosário, Baixo Parnaíba Maranhense, Chapadinha e Itapecuru-Mirim (IBGE, 1997).

Neste setor da planície costeira maranhense tem-se o maior registro de dunas costeiras do Brasil desenvolvidas ao longo do Quaternário (GONÇALVES et al., 2005), onde são reconhecidas gerações de dunas fósseis fixadas pela vegetação e dunas atuais, relativamente próximas a linha de costa, que em determinados locais avançam sobre as mais antigas.

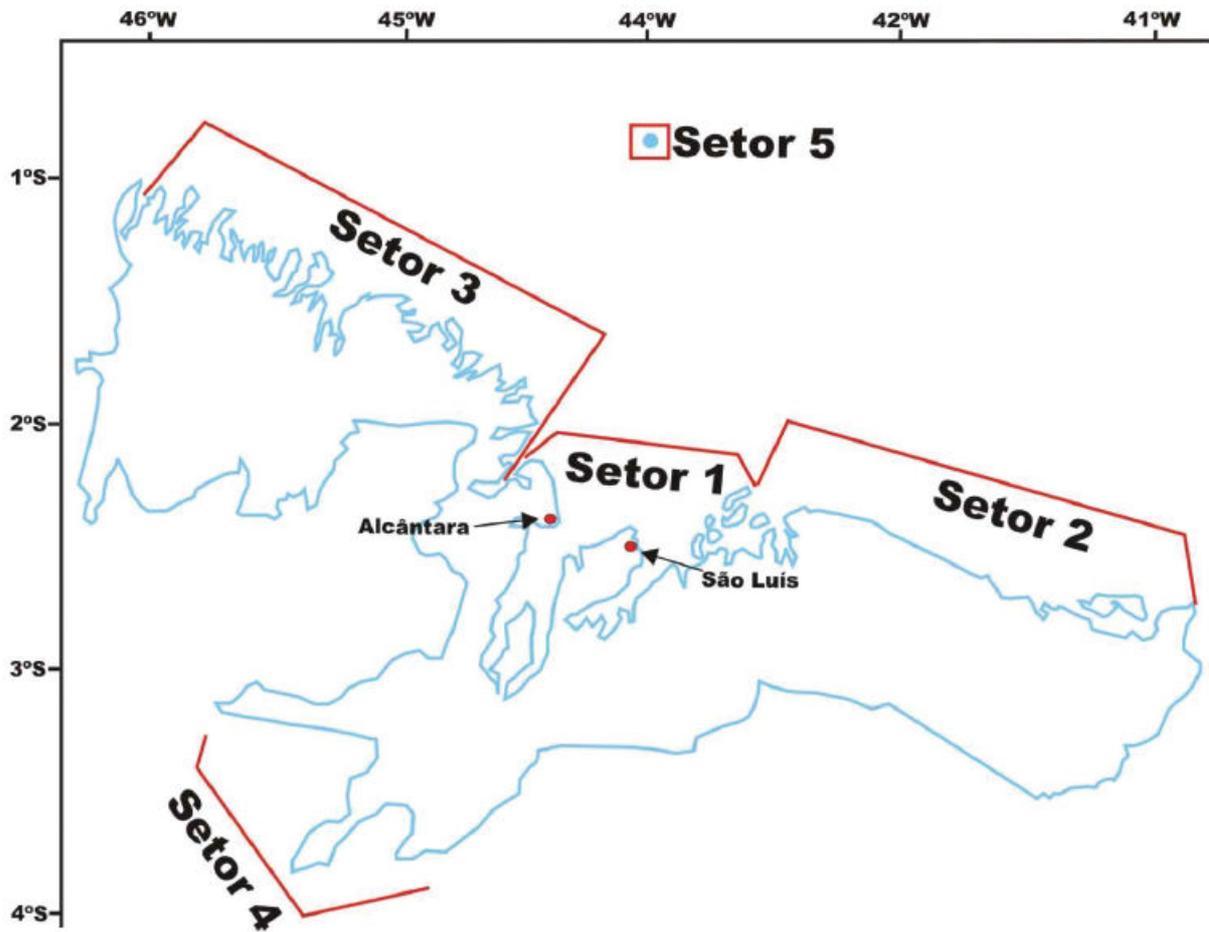
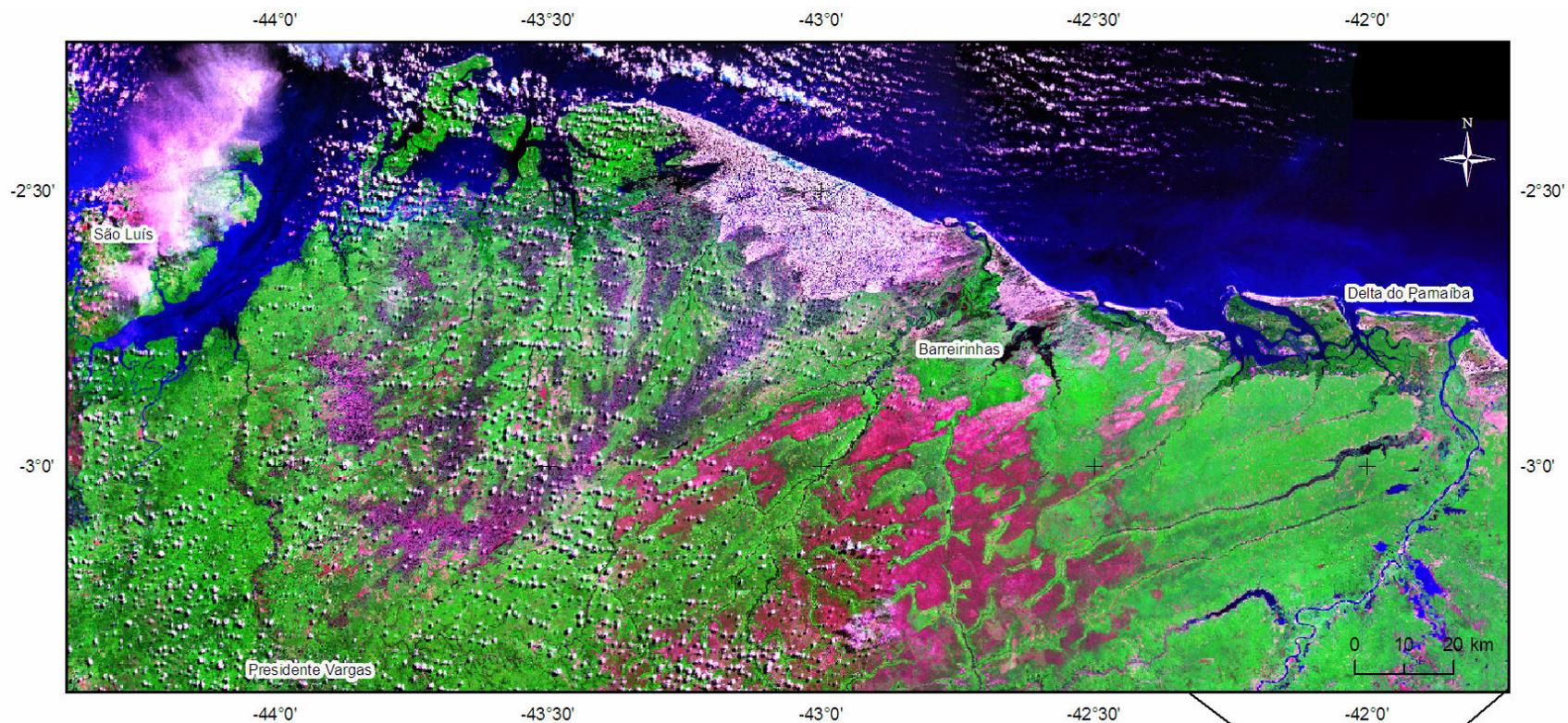


Figura 01 – Mapa de setorização da zona costeira do estado do Maranhão (ZCEM):

1. Golfão Maranhense, 2. Litoral Oriental, 3. Litoral Ocidental,
4. Baixada Maranhense, 5. Parcel Manuel Luís.

Fonte: El Robrini et al. (2006).



Composição colorida Landsat 7 ETM+/Geocover
(2000) 5R4G3B
Mosaico das cenas 219/62 e 220/62

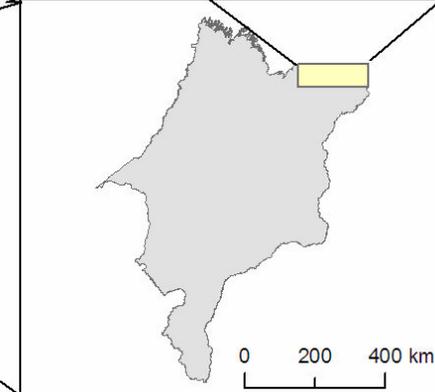
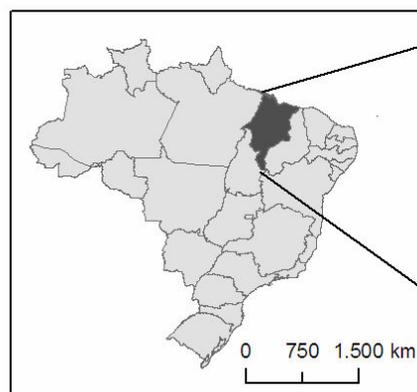


Figura 02 – Localização da área de estudo

Fonte: Imagens cedidas pelo CPRM/RJ, adaptada pelo autor.

Devido à significativa extensão da área de estudo, a falta de imagens orbitais do litoral oriental maranhense, com alta resolução e baixa cobertura de nuvens, associada às dificuldades logísticas para os deslocamentos durante os trabalhos de campo, optou-se por utilizar duas escalas de tratamento nesta pesquisa. A primeira de cunho regional, delimitada pelas coordenadas mencionadas anteriormente, foi utilizada para discernir os diferentes campos de dunas costeiras fixas e móveis na citada planície costeira (desde a baía de São José à foz do rio Parnaíba), através da utilização de imagens de média resolução com escala de trabalho de 1:75.000. A segunda escala de trabalho, de maior detalhe (1: 20.000), foi empregada objetivando realizar o monitoramento da migração das dunas no setor sudeste do PNLM (Figura 03). Este último setor situa-se no município de Barreirinhas, possui uma área de 223,1 km² limitando-se ao norte com parte do campo de dunas móveis; ao sul, com o riacho do Bom Passar e o rio Mançangano; a leste, com o povoado de Cedro e o rio Preguiças; a oeste, com o rio Negro (limite intermunicipal entre Santo Amaro do Maranhão e Barreirinhas). É delimitado pelas coordenadas de 02° 38' e 02° 45' lat. S e 42° 44' e 43° 29' long. W.

Na referida área existem três importantes áreas protegidas por Lei (Figura 04): APA da Foz do Rio Preguiças/Pequenos Lençóis e Região Lagunar adjacente (269.684,3 ha); APA Upaon-Açú/Miritiba/ Alto Preguiça (1.535,31 ha) e o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (155.000 ha).

As principais rodovias federais e estaduais pavimentadas que possibilitam o acesso às áreas em análise são: BR- 135, BR- 222, BR-230 e a MA-402, além das inúmeras estradas não pavimentadas abertas pelo governo do estado e pelas prefeituras municipais (Figura 05). Especificamente, em relação ao acesso à Barreirinhas Portal do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, o mesmo pode ser realizado por transporte rodoviário (carro de passeio, vans e ônibus) em 3 a 4 horas de viagem pela BR -135 e MA-402, ou ainda, através de embarcações, com saída diária do porto de São Luís, em aproximadamente 12 horas de navegação. A forma de locomoção mais rápida, ou seja, transporte aéreo entre São Luís e Barreirinhas é feita por aeronaves mono e bimotor num tempo médio de 40 minutos.

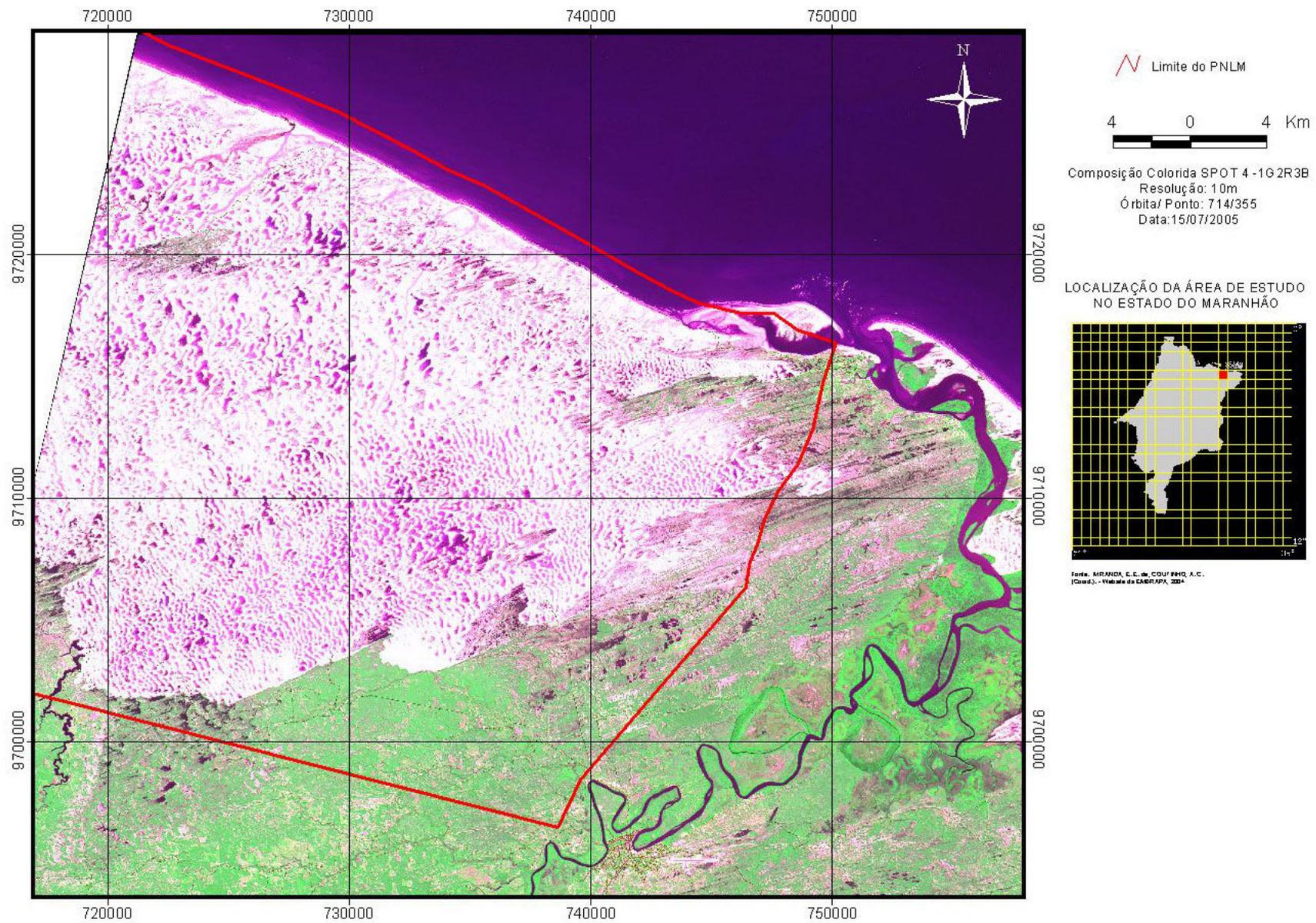


Figura 03 – Setor sudeste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses – Barreirinhas / MA – 2005.

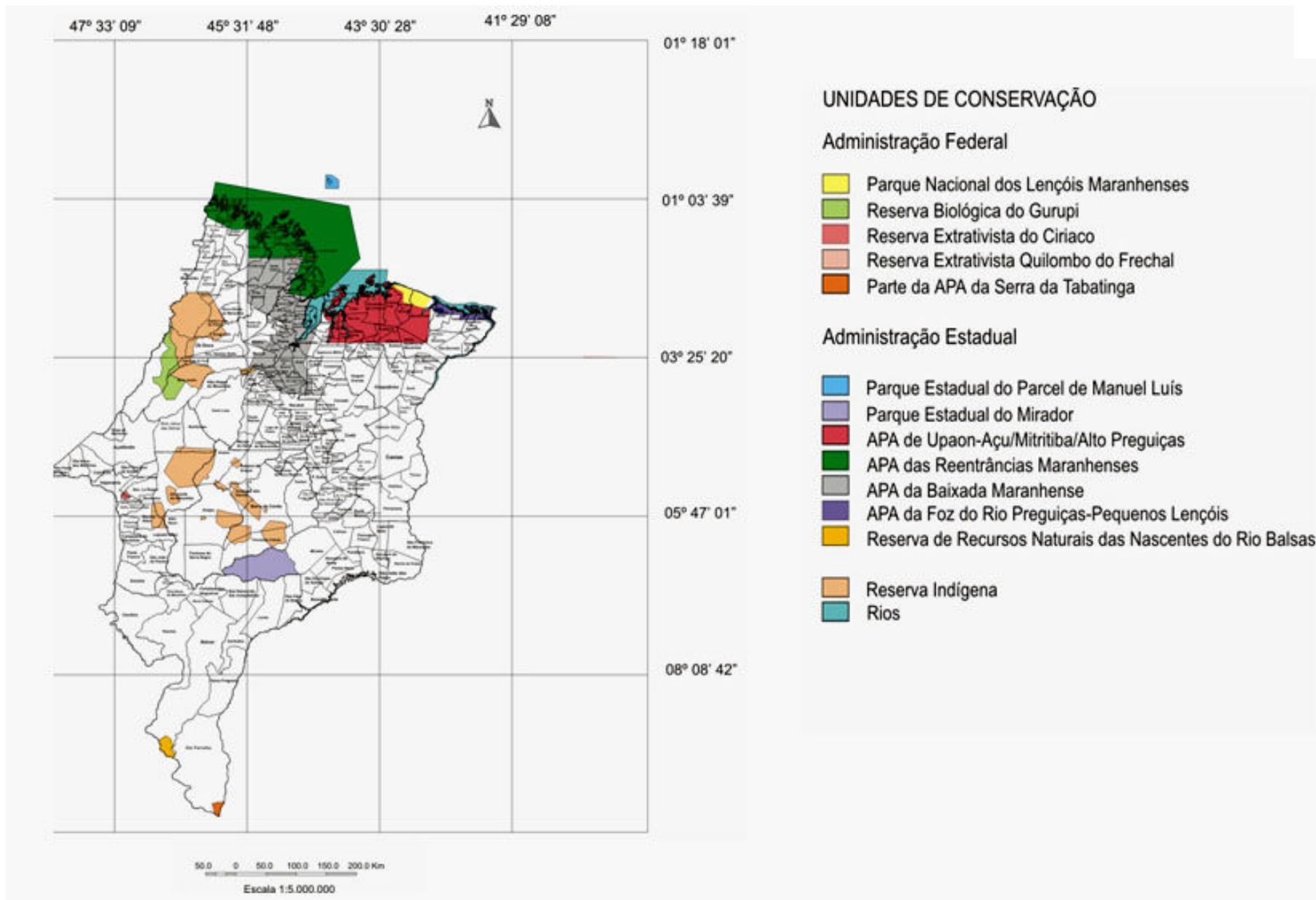
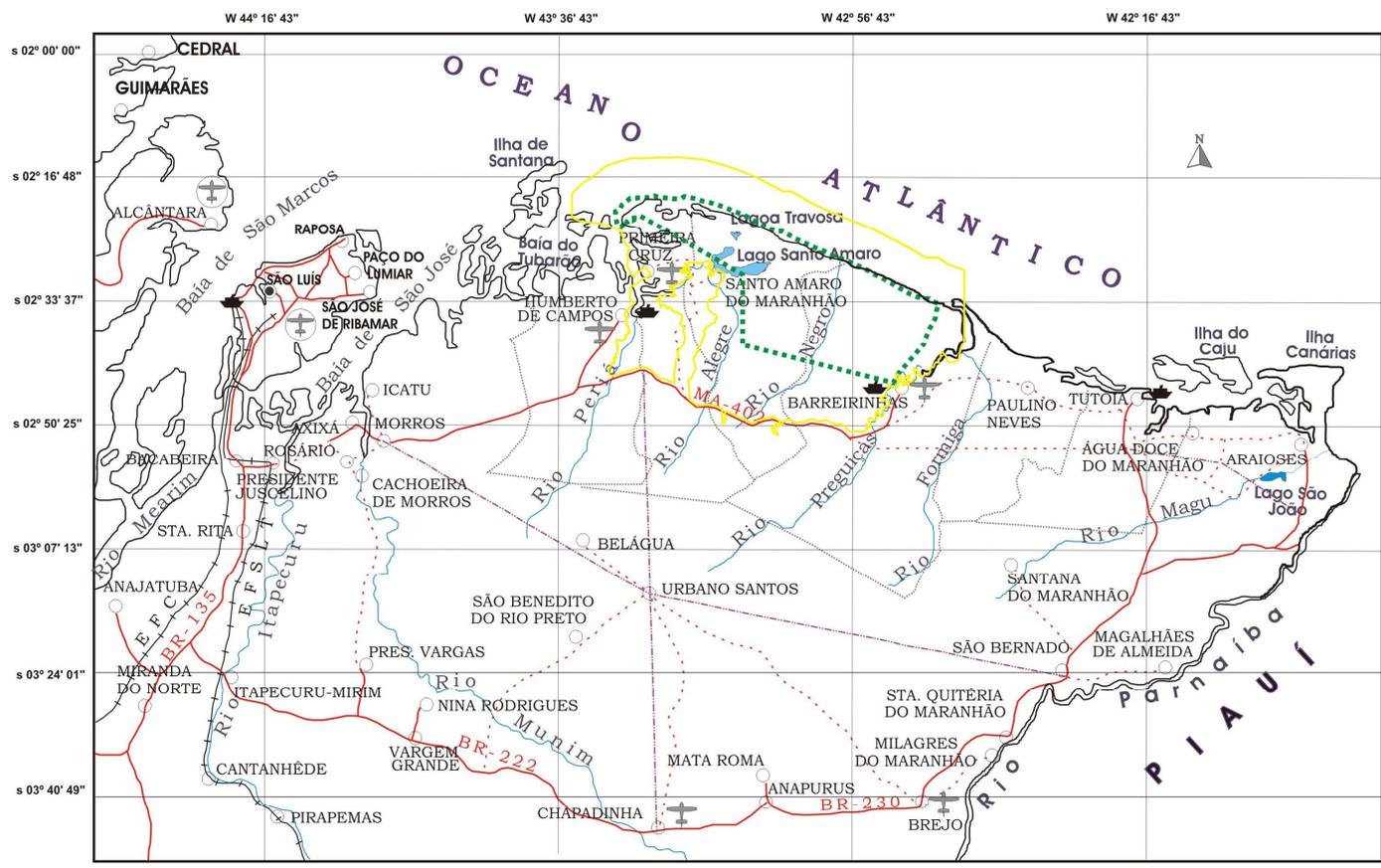


Figura 04 – Localização das Unidades de Conservação do Estado do Maranhão.

Fonte: MMA/IBAMA, 2003



FONTE: Mapa Rodoviário do Estado do Maranhão. DER- MA. 1998. escala 1:1700.000

LEGENDA TEMÁTICA

- - - Limite do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses
- Zona de Amortecimento do PNLM

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Capital
- Sede Municipal
- ✈ Aeroporto
- ✈ Campo de Pouso
- Lago (a)
- ⚓ Porto/atracadouro
- Curso d' Água
- Rodovia Pavimentada
- - - Rodovia Não Pavimentada
- - - Rodovia Planejada
- +— Ferrovia
- - - Limite Intermunicipal



Figura 05 – Mapa com as principais vias de acesso à região dos Lençóis Maranhenses e ao PNLM

Fonte: MMA/IBAMA, 2003.

2.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Geologicamente, os Lençóis Maranhenses situam-se na Bacia Cretácea de Barreirinhas, a qual genericamente localiza-se na porção nordeste do estado do Maranhão entre a baía de São José e o delta do Parnaíba (Figura 06).

Quanto aos limites a bacia sedimentar é limitada ao norte pelo Alto Atlântico; ao sul, por uma série de falhamentos normais e pelo Arco Estrutural Férrer-Urbano Santos; a leste, pela fossa do Piauí e a plataforma de Parnaíba e a oeste pelo graben de Ilha Nova (VEIGA JÚNIOR, 2000).



Arcabouço estrutural integrado baseado em sísmica, gravimetria, magnetometria, geologia de superfície, sensores remotos e poços (modificado de Góes *et al.*, 1993 e Aranha *et al.*, 1990).



Figura 06 – Arcabouço Estrutural da Bacia de Barreirinhas.

Fonte: VEIGA JÚNIOR, 2000.

O Arco Férrer-Urbano Santos constitui uma das principais estruturas tectônicas regionais da área emersa da bacia e de acordo com Gonçalves (1997) este corresponde a um alto estrutural do embasamento cristalino, limitando as bacias de Barreirinhas-São Luís e Barreirinhas-Maranhão, cuja origem deu-se após o vulcanismo fissural ocorrido a aproximadamente 120 milhões de anos.

As condições estruturais da área analisada são também apresentadas na figura 06. Tais condições complexas podem perturbar interpretações ambientais associadas a variações climato-eustáticas.

Especificamente, pode ser citada a identificação de altos estruturais possíveis condicionadores da ocorrência de remanescentes de campos de dunas subatuais e o posicionamento de um graben de grandes dimensões cruzando a trajetória de campos de dunas pretéritos e associado a baixos vales fluviais afogados. A investigação destes relacionamentos do arcabouço estrutural com feições ambientais de superfície pode ser de alto interesse, extrapolando, no entanto, o escopo desta tese.

A área emersa da referida bacia, de acordo com Pamplona (1969), foi calculada em 15.000 km² apresentando aproximadamente 250 km de comprimento por 60 km de largura. Ainda de acordo com o referido autor, a mesma é de idade cretácica (Albiano-Campaniano), com espessura máxima em torno de 7.000 m. Em termos geoestruturais, a bacia de Barreirinhas configurou-se na formação da margem equatorial no Cretáceo superior, quando do rifteamento que produziu o afastamento dos continentes (placas sul-americana e africana) e conseqüente surgimento do oceano Atlântico (VEIGA JUNIOR, 2000).

A montagem da coluna estratigráfica da citada bacia (Figura 07), foi confeccionada com dados oriundos dos levantamentos geofísicos e demais perfurações realizadas pela Petrobras. O embasamento cristalino é constituído por gnaisses, granitos e quartzo-micaxistos, de idade Pré-Cambriana. Sobreposto a estas rochas tem-se o pacote sedimentar Cretáceo (clásticos continentais terrígenos) do Grupo Canárias (FEIJÓ, 1994) de idade eoalbiano (REGALI et al., 1985). A seguir, o Grupo Caju representa uma seqüência transicional marinha caracterizada por clásticos e carbonatos de idade albo-cenomanianos (100 ma) representativo do início da sedimentação marinha na bacia. Estas seqüências estão limitadas por discordâncias causadas pelo rebaixamento do nível do mar. O Grupo Humberto de Campos é constituído de folhelhos, arenitos finos e carbonatos representando a fase passiva do processo tectônico da bacia (FEIJÓ, 1994).

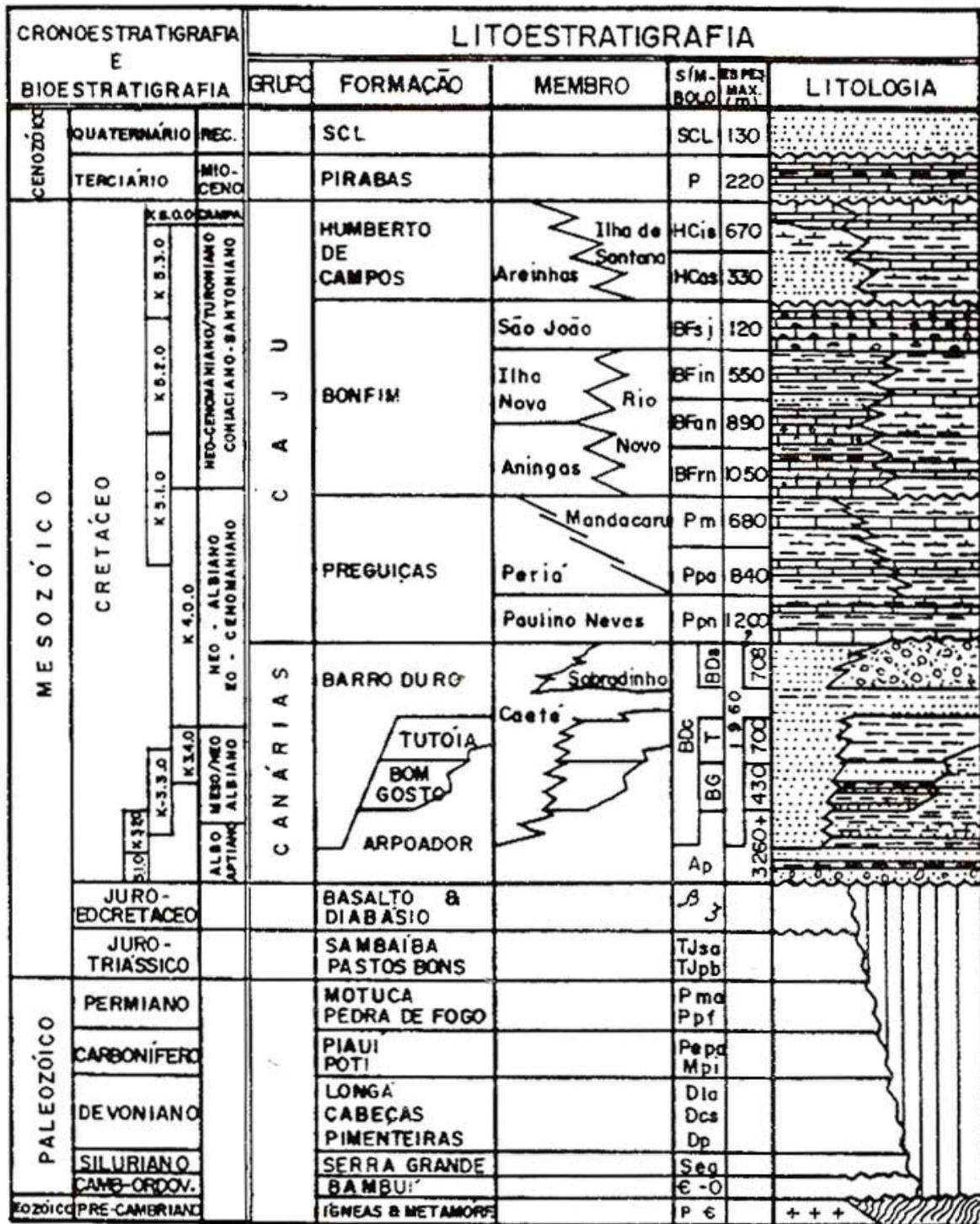


Figura 07 – Coluna litoestatigráfica da Bacia de Barreirinhas.

Fonte: Adaptado de BROWN et al. apud Gonçalves, 1997

A Formação Pirabas (Cretáceo Superior/Terciário) corresponde a um pacote de rochas, com 3500m de espessura, formado por conglomerados, arenito continental e marinho, folhelhos e calcários marinhos (BROWN et al. 1976 apud GONÇALVES, 1997), que se

desenvolve por toda a bacia, capeando os sedimentos Cretáceos (PAMPLONA, 1969). A referida Formação aflora em áreas restritas na bacia. Sobre o espesso pacote de rochas do Cretáceo ao Terciário assenta-se discordantemente, a seqüência quaternária formada por sedimentos depositados em ambiente fluvial, litorâneo e principalmente eólico.

Os sedimentos quaternários da Formação Açuí, constituídos pelas areias quartzosas, recobrem praticamente toda a bacia de Barreirinhas. Segundo Pamplona (1969), a espessura máxima dessa seqüência quaternária varia entre 15 a 50 m.

Até recentemente a coluna estratigráfica da bacia de Barreirinhas não continha a Formação ou Grupo Barreiras devido à construção da citada coluna ter sido baseada em dados dos testemunhos da plataforma continental onde, de acordo com Gonçalves (1997), não foi individualizada essa Unidade Litoestatigráfica do Plioceno. Corroborando com o citado autor, até o momento não foram, ainda, encontrados significativos afloramentos da Formação Barreiras na área objeto de estudo devido essa unidade estar quase que totalmente recoberta pelos depósitos sedimentar eólicos do Quaternário representados pelos campos de dunas fixas e móveis.

De acordo com estudos realizados por Veiga Júnior (2000) as coberturas quaternárias (1-pleistocênicas e 2- holocênicas) encontradas nos Lençóis Maranhenses são subdivididas em:

- 1- Depósitos de Cordões Litorâneos (QPcl) e Depósitos Eólicos Continentais (QPe);
- 2- Depósitos de Mangues (QHM); Depósitos Marinhos Litorâneos (QHml); Depósitos Eólicos Litorâneos (QHe); Depósitos Flúvio-Marinhos (QHfm) e Depósitos Aluvionares e Coluvionares (QHa).

No tocante a possibilidade da ocorrência de hidrocarbonetos, de acordo com o MMA/IBAMA (2003), a seqüência sedimentar da Bacia de Barreirinhas reúne as propriedades litológicas (porosidade e variação textural) e estruturais (falhas e fraturas) necessárias ao armazenamento e aprisionamento do óleo. Embora a ocorrência dos hidrocarbonetos já tenha sido confirmada pelas prospecções realizadas pela Petrobras, segundo Tibana e Toniatti (1968) conforme os trabalhos realizados o potencial gerador de hidrocarbonetos da citada bacia não parece, ainda, ser muito promissor.

2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A área de estudo, de acordo com a publicação do projeto Radam (BRASIL, 1973) e MARANHÃO (2003) encontra-se localizada na unidade geomorfológica dos Lençóis Maranhenses. A referida unidade compreende uma extensa área no litoral oriental maranhense caracterizada pela presença de significativos campos de dunas (fixas e móveis), restingas, lagoas, ilhas e algumas áreas de manguezal.

À retaguarda desta unidade tem-se a planície sublitorânea de Barreirinhas, denominada Superfície Maranhense com Testemunhos (MARANHÃO, 1984), que se apresenta como uma zona de transição entre os chapadões sedimentares (tabuleiros dissecados) e a planície costeira.

A gênese do campo de dunas livres e fixas, segundo o MMA (1996), Muehe (1998), MMA/IBAMA (2003) e Santos et al. (2005) está intimamente relacionada à seleção dos sedimentos devido à retrogradação dos depósitos sedimentares da Formação Barreiras e conseqüente alargamento da plataforma continental, devido às transgressões marinhas ocorridas desde o Pleistoceno associadas ao aporte de sedimentos fluviais oriundos dos principais rios, a exemplo do Parnaíba e Preguiças.

Uma explicação alternativa repousa no fato de que a deposição deltaica do Parnaíba se estendia por uma zona costeira emersa de grande extensão. Quando das transgressões, nesta área costeira, ficou disponível grande quantidade de areia a ser trabalhada pelos sistemas de vagas em ascensão, em busca da cota zero ou suas proximidades. A plataforma, assim tornada subaquática, foi o local onde foi feita a remoção, por dissolução, do teor arciano dos sedimentos da Formação Barreira erodidos na bacia do rio Parnaíba, juntamente com sedimentos de outras idades. Desta forma, os sedimentos quartzosos foram disponibilizados para as ondas rompentes (*Breaking waves*) na praia, juntamente com os sedimentos mais finos, ainda de talhe arenoso, os quais foram transportados pelos ventos alísios em direção ao continente, formando assim, os extensos campos de dunas dos Lençóis Maranhenses.

A dinâmica costeira atual está representada, segundo Gonçalves (1997), pelo encontro dos agentes dinâmicos: clima, deriva litorânea, regime de marés e correntes fluviais. Conforme Gonçalves et al. (2005) e Santos et al. (2005), a planície costeira em análise representa uma área receptora de sedimentos provenientes da deriva litorânea, carreados ao longo da costa nordeste com substancial incremento na foz do rio Parnaíba, da plataforma interna (recoberta com areias, com a ocorrência de dunas subaquáticas) pelas ondas e da carga

(arenosa) retrabalhada pelas drenagens locais. Assim, considerável parte destes sedimentos são depositados na praia (dissipativa com largura de até 500 m), a qual está submetida a um regime de mesomaré (2 a 4 m), ficando exposta diariamente à ação eólica durante dois ciclos a cada 12 horas. Em virtude dessas características a planície costeira oriental do Maranhão possibilita o desenvolvimento dos maiores campos de dunas costeiras do Brasil, como em nenhum outro estado brasileiro (GONÇALVES et al., 2005).

A planície costeira em que se insere o PNLN, e respectiva zona de entorno, caracteriza-se por apresentar um relevo suave a moderadamente ondulado, no qual são comuns extensos campos de dunas móveis, de diversas configurações, com altura média em torno de 30m. Na referida área destacam-se as seguintes entidades morfológicas: praias, lençóis de areia, pontais, cordões e terraços arenosos, planícies de deflação, inundação e maré, além das dunas barcanas, parabólicas, oblíquas e das cadeias de barcanas, parabólicas e transversais.

O campo de dunas móveis do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses apresenta algumas das feições típicas dos desertos clássicos: rios temporários (wadi²), lagoas intermitentes, lençóis de areias, dunas (transversais, barcanas, parabólicas, barcanóides, cadeias de parabólicas), pistas de deslocamentos de dunas (atuais e pretéritas), em alguns casos bem preservadas, delimitadas lateralmente por cômoros (rastros lineares). Além destas feições, as chamadas “baixas” a exemplo das localidades de Baixa Grande e Queimada dos Britos, situadas na parte central do campo de dunas, equivalem aos oásis clássicos (Figura 08).

2.4 ASPECTOS HIDROGRÁFICOS

A hidrografia da área é caracterizada pela presença de baías, rios, córregos, lagoas e lagunas, sendo as baías de São José, Tubarões e de Tutóia as que merecem maior destaque. Os principais rios existentes na área em análise são: Itapecuru, Munim, Peria, Grande, Negro, Preguiças, Cangatá, Barro Duro e o Parnaíba.

O rio Parnaíba, situado a leste da área de estudo, além de separar os estados do Maranhão e o Piauí, representa de acordo com vários autores (BRASIL, 1973, GONCALVES, 1997, SANTOS et al., 2005) uma das principais fontes de sedimentos para a região dos Lençóis Maranhenses.

² Os canais fluviais de “wadi” são quase sempre entrelaçados e recebem ao lado de sedimentos fluviais contribuições eólicas (SUGUIO, 2003b).

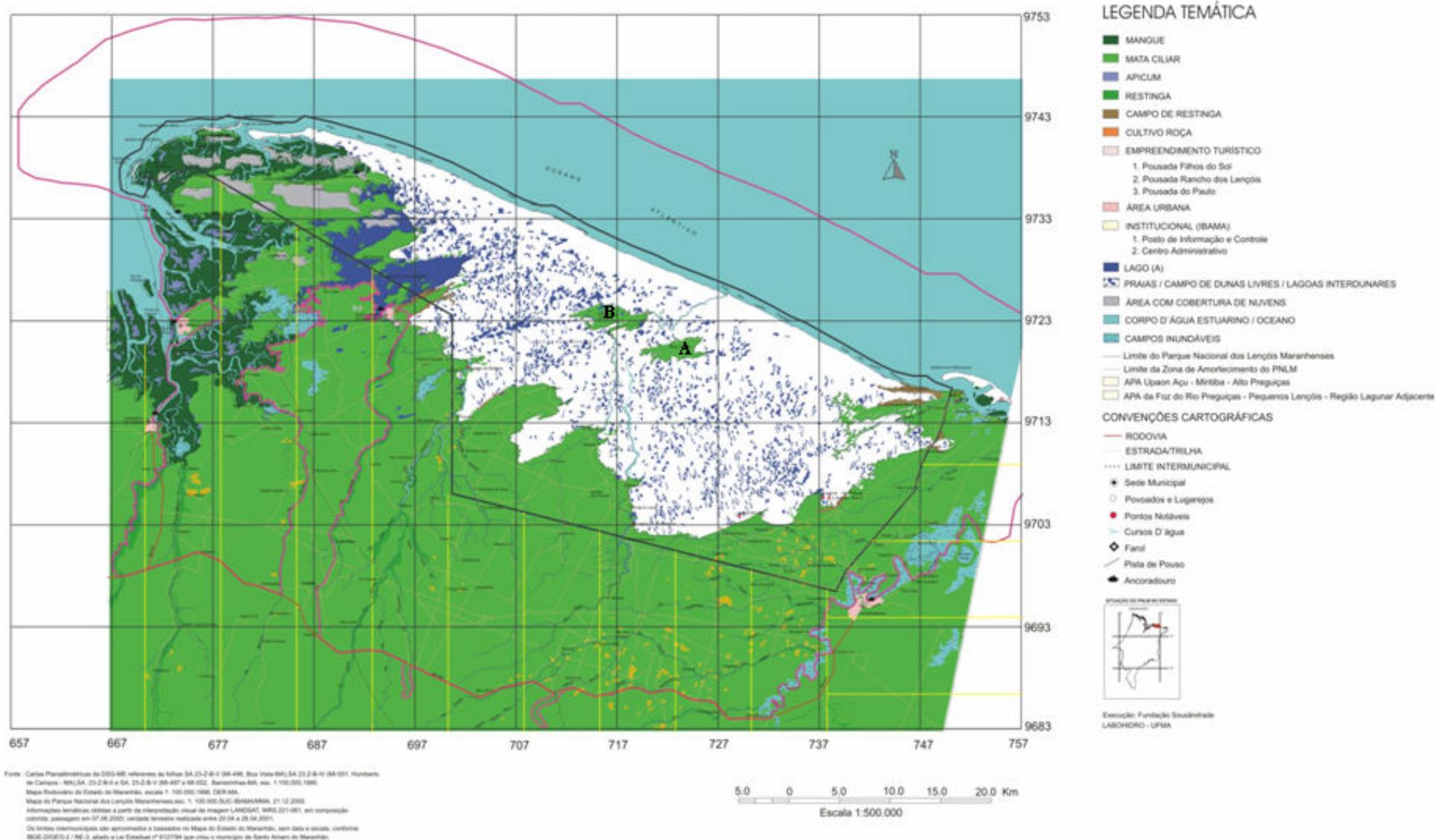


Figura 08 – Carta de uso e cobertura da terra com as localidades de Baixa Grande (A) e Queimada dos Britos (B) no interior do campo de dunas atuais do PNLM.

Fonte: MMA/IBAMA, 2003.

No extremo oeste da área de estudo, próximo à cidade de Rosário, tem-se o rio Itapecuru (Figura-05). Este é considerado um dos mais importantes do estado devido as suas características hidrológicas, pelo favorecimento no processo de ocupação da parte centro-leste do Maranhão e também por ser a principal fonte de abastecimento de água potável para a cidade de São Luís (capital do estado).

Na região dos Lençóis Maranhenses, especificamente no interior e na zona de entorno do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, destacam-se os seguintes rios:

1- Preguiças é o principal curso d'água do município de Barreirinhas. Navegável o ano todo, caracteriza-se como a principal via de ligação entre os povoados de Atins, Mandacaru, dentre outros, e a sede municipal (MMA/IBAMA, 2003).

É utilizado, também, como roteiro turístico, pois a viagem entre Barreirinhas e Atins proporciona belas paisagens, tais como: campos aluviais, mata ciliar, campos de dunas dos pequenos lençóis, manguezais com sua respectiva fauna, praias, ilhas fluviais e o pontal arenoso existente na desembocadura do referido rio. Além desses atrativos, tem-se também, no povoado de Mandacaru, um farol de 46m de altura (Foto 01), o qual permite uma vista panorâmica de parte da planície costeira do PNLN e adjacências.

Devido tanto aos processos naturais (soterramento pelas dunas móveis), quanto antrópicos (desmatamento da mata ciliar e aterros), o referido rio apresenta trechos, próximos à foz, com inúmeros bancos de areia que, principalmente no período de baixa-mar, terminam por dificultar a navegação.



Foto 01 - Vista do farol no povoado de Mandacaru - Barreirinhas / MA.

2- O rio Negro, situado na área central da unidade de conservação, determina o limite entre os municípios de Barreirinhas e Santo Amaro do Maranhão, sendo também o único que consegue transpor, de sul a norte, o extenso campo de dunas móveis do PNLN.

Ao longo do seu percurso, apresenta pequenos córregos como afluentes, responsáveis pela considerável vazão, bem como pelo padrão de drenagem do tipo dendrítico (MMA/IBAMA, 2003).

3- O rio Grande com uma extensão de aproximadamente 72 km deságua no lago de Santo Amaro, caracterizando assim uma bacia de drenagem do tipo endorréica. Ainda de acordo com os estudos realizados pelo MMA/IBAMA (2003), o referido rio apresenta trechos de canais ora meandantes, ora anastomosados, assim como na localidade denominada Ponta do Espigão (no limite do campo de dunas móveis) tem-se a lagoa da Betânia originada a partir das suas águas.

A rede de drenagem, a sudeste do campo de dunas móveis, apresenta rios perenes e efêmeros, alguns deles compondo uma drenagem radial centrífuga, indicadora de controle estrutural no seu desenvolvimento, controle este já mencionado (pagina 39).

Os rios e as lagoas interdunares situados nestas áreas têm uma importância fundamental no controle da movimentação eólica (Santos et al., 2005), ou seja, dificultam a migração das dunas sobre as paleodunas e sobre as planícies de deflação eólica subatuais, situadas contiguamente à frente das dunas móveis.

Nas depressões existentes no interior do campo de dunas ativas ocorrem inúmeras lagoas interdunares, temporárias e/ou permanentes, as quais são preenchidas pelas águas provenientes das precipitações pluviométricas e do afloramento do lençol freático, apresentando diferentes formas, tamanhos e profundidades (Figura 09) condicionadas pela presença limitante das dunas.

No período chuvoso as lagoas interdunares, no interior do campo de dunas móveis, se interligam formando pequenos canais de drenagens intermitentes com escoamento em direção às praias. No entorno do campo de dunas livres existem também lagoas permanentes, formadas pela contribuição de pequenos córregos (lagoa da Colher, Salgadinho e Taboa) ou pelo represamento de rios, a exemplo das lagoas da Esperança (Foto 02) e da Betânia.

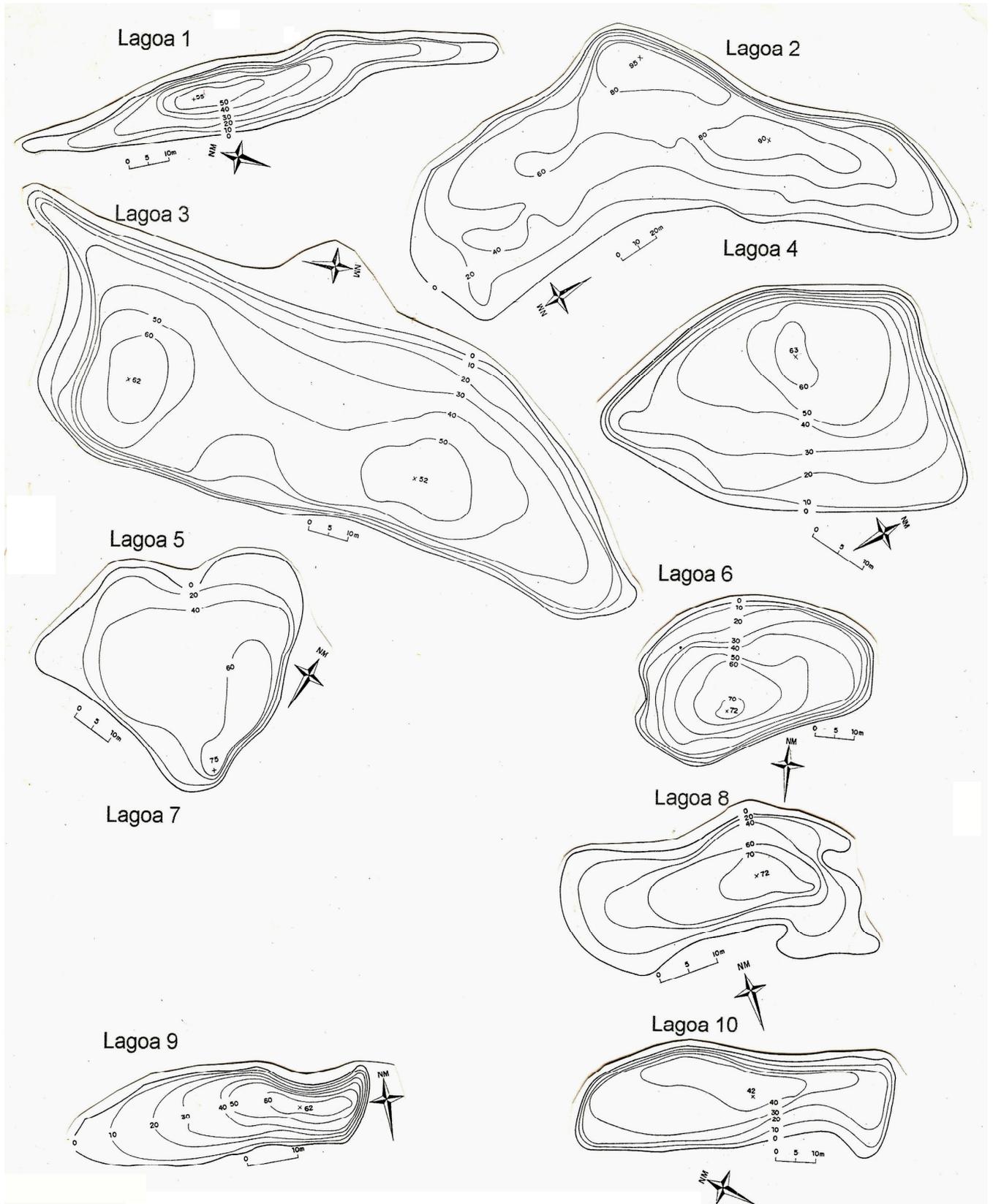


Figura 09 - Mapa batimétrico (isolíneas em cm) de 10 (dez) lagoas dos Lençóis Maranhenses.

Fonte: Pereira, 1999.



Foto 02 - Vista parcial da lagoa da Esperança, com presença de dunas móveis avançando sobre o ambiente lacustre, no limite interno do campo de dunas do PNLM.

Uma das mais conhecidas lagoas na região dos lençóis (fora do limite do PNLM) é a do Caçó, que dista cerca de 70 km da linha de costa, no rumo norte. Aparentemente é uma lagoa contida entre dois campos de dunas, o mais antigo a sudeste, mas que apresenta também uma coincidência com a direção estrutural dominante NE/SW. Caracteriza-se, conforme Gurgel (2002), como um corpo d'água estreito e alongado com cerca de 5 km de extensão, 200 a 500 m de largura e profundidade máxima entre 10 e 12m (Figura 10). De acordo com Cardoso (2004), a lagoa do Caçó caracteriza-se por ser um corpo d' água polimítico, oligotrófico, cuja bacia de drenagem tem aproximadamente 15km².

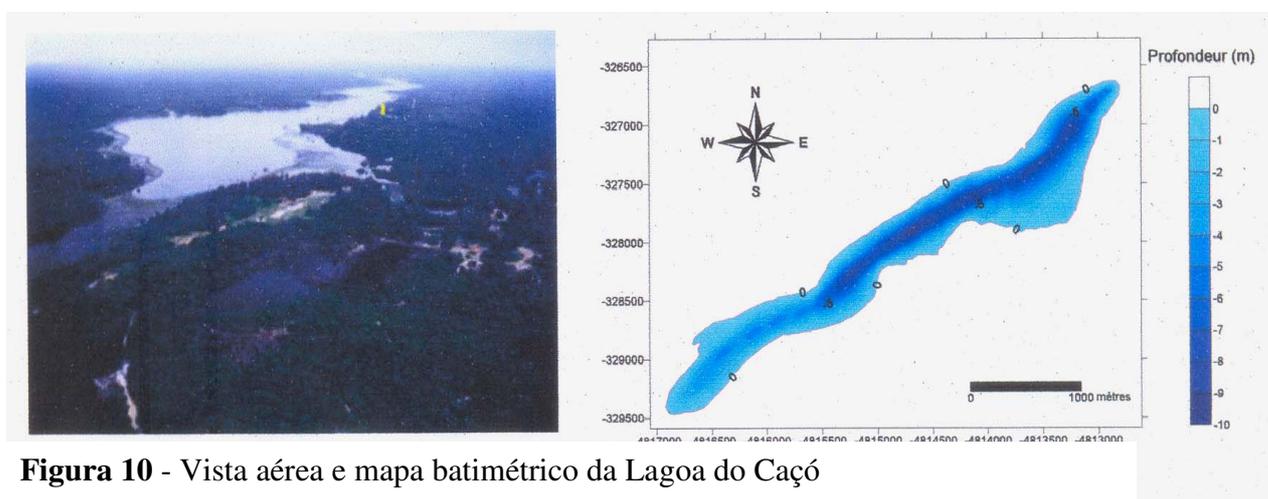


Figura 10 - Vista aérea e mapa batimétrico da Lagoa do Caçó

Fonte: Cardoso, 2004.

Contudo, o maior lago do parque, o de Santo Amaro, é formado pelas chuvas e pelo afloramento do aquífero, além da contribuição do rio Grande. Um fato que chama a atenção, quando se observa o mapa de uso e cobertura da terra do PNLM (Figura 08), é a significativa área do lago de Santo Amaro que se estende para fora dos limites do parque, sobre a sua zona de entorno, ficando assim mais suscetível à ocorrência de conflitos do uso do solo em suas proximidades.

A paisagem, propiciada pelas lagoas de águas verdes e azuis em contraste com as areias brancas das dunas (Foto 03), faz com que algumas destas lagoas - Azul (Foto 04), Bonita, do Peixe, da Lua e da Esperança, dentre outras - sejam utilizadas como pontos turísticos, quando dos passeios organizados pelos guias e/ou agências de turismo local e de São Luís.



Foto 03 – Lagoas interdunares no interior do campo de dunas móveis do PNLM (maio/2006).



Foto 04 – Vista panorâmica da lagoa Bonita e das cadeias barcanóides no interior do PNLM. (maio/2006).

Sobre a planície de deflação eólica, próximo ao litoral, do campo de dunas atuais do PNLM, têm-se a ocorrência de pequenos riachos (sangradouros) originados no interior do campo de dunas e que escoam em direção ao mar (Figura 11), além das depressões de pequena profundidade, originadas pela ação dos ventos (bacias de deflação), que são preenchidas pelas águas marinhas, quando das marés de sizígia, dando origem às lagoas (Foto 05). De acordo com o MMA/IBAMA (2003), devido à significativa dinâmica costeira na área, algumas dessas feições morfológicas são efêmeras, isto é, surgem e desaparecem em curto espaço de tempo.

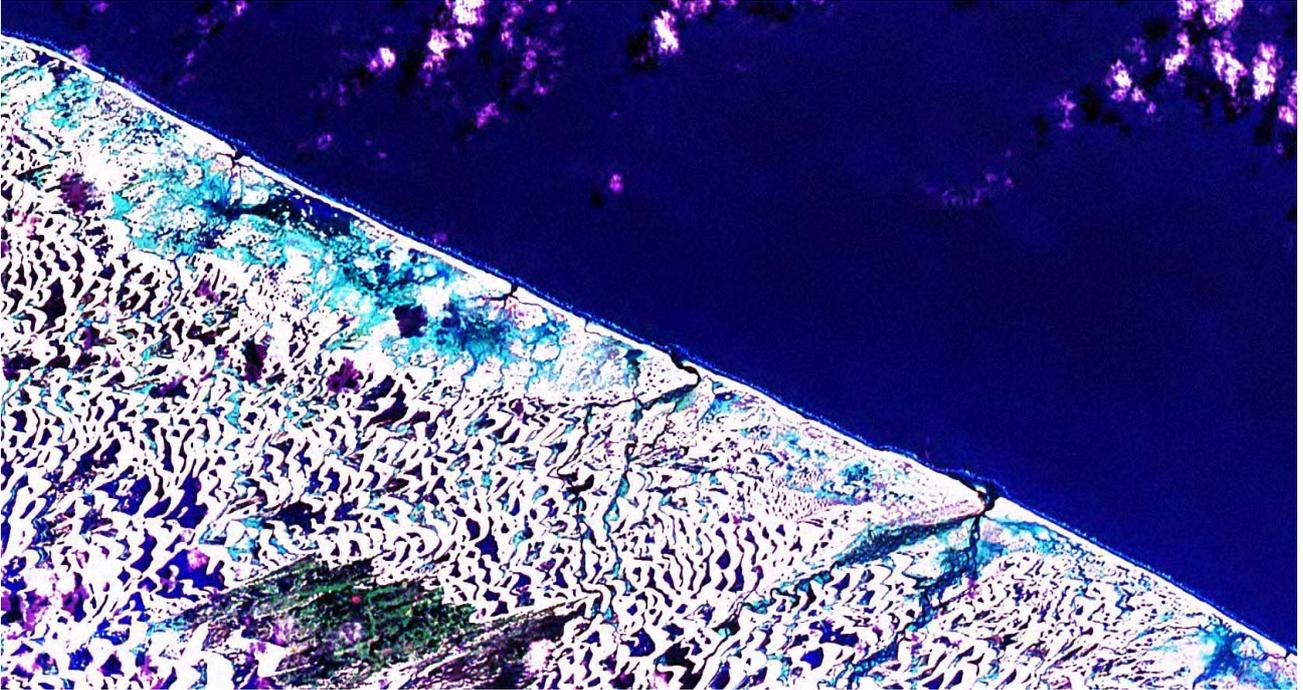


Figura 11– Vista parcial do litoral e da planície de deflação do PNLM com a presença da foz do rio Negro, sangradouros e lagunas.

Fonte: Imagem LANDSAT -7, 2000.



Foto 05 - Vista da praia do PNLM com presença de laguna (temporária) à esquerda e águas marinhas à direita.

2.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS

Nas zonas costeiras tropicais os processos climáticos apresentam uma dinâmica própria em função de sua localização geográfica (SANTOS, V. 2006). Dentre os diferentes agentes climáticos, a precipitação e o padrão dos ventos são considerados altamente importantes, devido à sua significativa interferência na modificação das paisagens existentes na franja costeira, principalmente nos ambientes sedimentares eólicos.

A região nordeste do Brasil, conforme Perez (2003), possui uma extraordinária variação climática do ponto de vista da pluviosidade, que não se observa em outras regiões do país. O referido autor destaca dois fatores importantes que influenciam na climatologia da região: o relevo constituído por amplas planícies e vales baixos situados entre planaltos e serras mais interiorizadas, bem como a conjugação de diferentes sistemas de circulação atmosférica que atuam na região.

De acordo com Aragão (2004), existem pelo menos seis sistemas atmosféricos que produzem precipitações significativas no nordeste brasileiro (NEB), sendo que três destes são considerados os mais atuantes (Figura 16). Dentre os três, os deslocamentos anuais da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o que realmente tem maior influência na determinação do período chuvoso na região e conseqüentemente sobre a zona costeira maranhense.

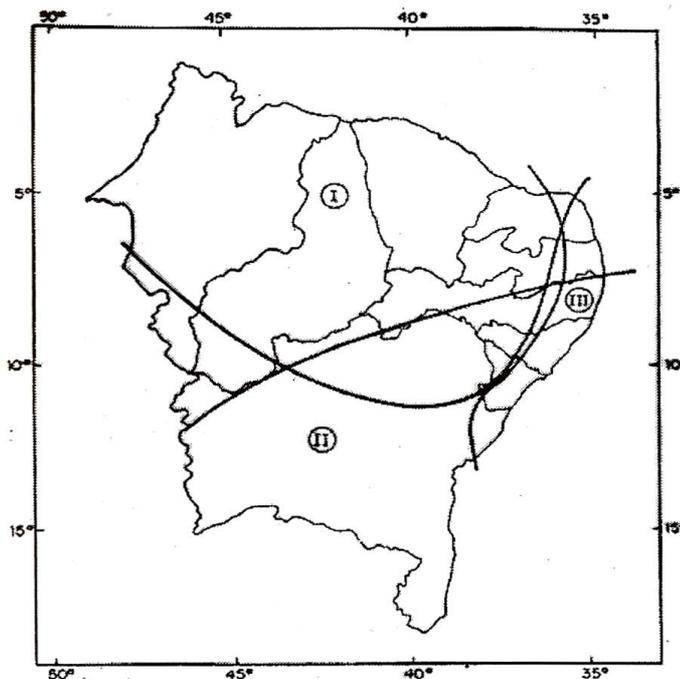


Figura 12 – Zonas de atuação média dos três principais sistemas meteorológicos que produzem a precipitação no NEB: I- ZCIT; II – frentes frias; III – perturbações e ondas de leste

Segundo a descrição feita por Gurgel (2002, p.29):

A ZCIT corresponde a uma faixa, aproximadamente paralela ao equador geográfico da terra, formada em consequência da circulação das células de Hadley, a qual ocorre nos dois hemisférios devido ao aquecimento diferencial da superfície terrestre. Assim, massas de ar inicialmente secas que partem de zonas de alta pressão atmosférica, em torno de 30° de latitude norte e sul, se deslocam em baixas altitudes rumo ao equador, adquirindo umidade neste caminho, e convergindo próximo ao equador, formando a ZCIT. Nesta convergência estas massas de ar, com grande umidade, ascendem à tropopausa formando nuvens e precipitação convectiva, as quais caracterizam o equador meteorológico.

Como constatado, esta zona influencia fortemente a temperatura e a precipitação, caracterizando as áreas tropicais com elevada pluviosidade e intensa nebulosidade.

A variabilidade interanual das precipitações sobre o Nordeste encontra-se associada, segundo Perez (2003), às variações nos padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da ZCIT sobre o oceano Atlântico, interferindo assim na pluviometria do setor norte do NEB.

Em estudo realizado por Aragão (2004), este constatou a partir da correlação entre a precipitação e a TSM, que fenômenos nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais são responsáveis por mais de 90% da variabilidade da precipitação no setor norte do NEB. Além destas variações, os fenômenos meteorológicos em escala global podem também acentuar ou inibir a intensidade e os deslocamentos da ZCIT.

A ZCIT atua no controle de um forte ciclo estacional com periodicidade anual associada às mudanças das estações climáticas. Esta zona se desloca mais para o norte durante o inverno austral (agosto a outubro) e mais para sul, durante o verão austral (março a abril). (CARVALHO, et al. 2006, p.45)

Desta maneira, o posicionamento da referida zona é de altíssima importância na definição da intensidade e frequência das temperaturas e chuvas no NEB.

No entender de Gurgel (2002), a influência da ZCIT é marcante principalmente em anos chuvosos, a exemplo dos anos de 1974 e 1994.

Entre as áreas nordestinas que mais recebem a influência da ZCIT tem-se: o norte e centro do Maranhão e Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e sertões da Paraíba e Pernambuco.

Nessas, a estação chuvosa geralmente ocorre de janeiro a julho com máximos pluviométricos no período de março a abril, quando a ZCIT atua de maneira mais intensa (MELLO apud SANTOS, 2007).

Em relação aos ventos, durante os meses de dezembro a abril, a ZCIT desloca-se no sentido meridional, quando se verifica a presença dos alísios de NE. No período de julho a novembro a referida zona desloca-se para o norte, afastando-se do Equador, quando os alísios de sudeste/este se tornam mais efetivos (CARVALHO et al., 2006).

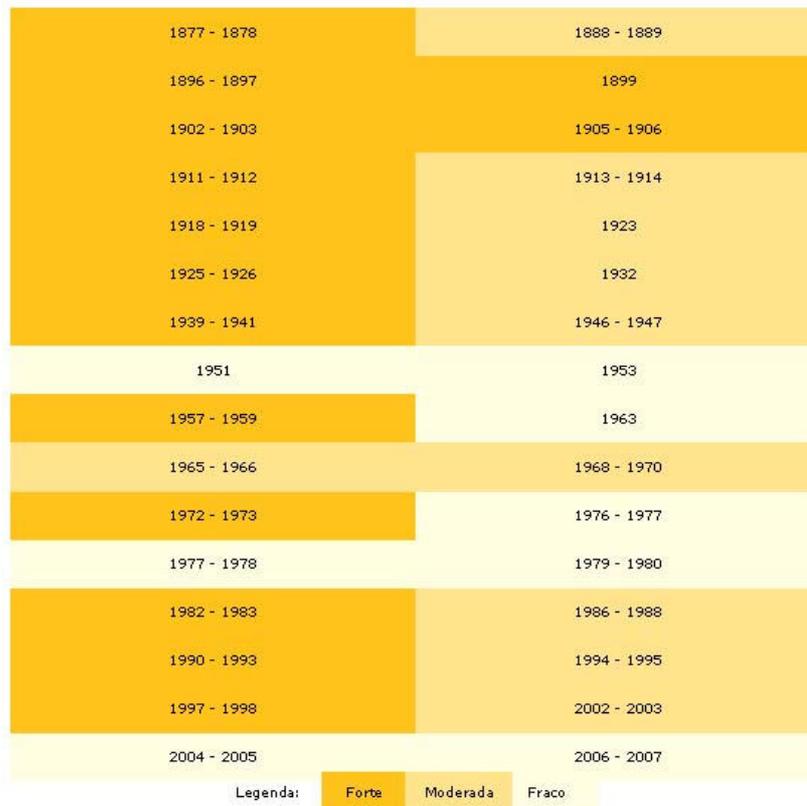
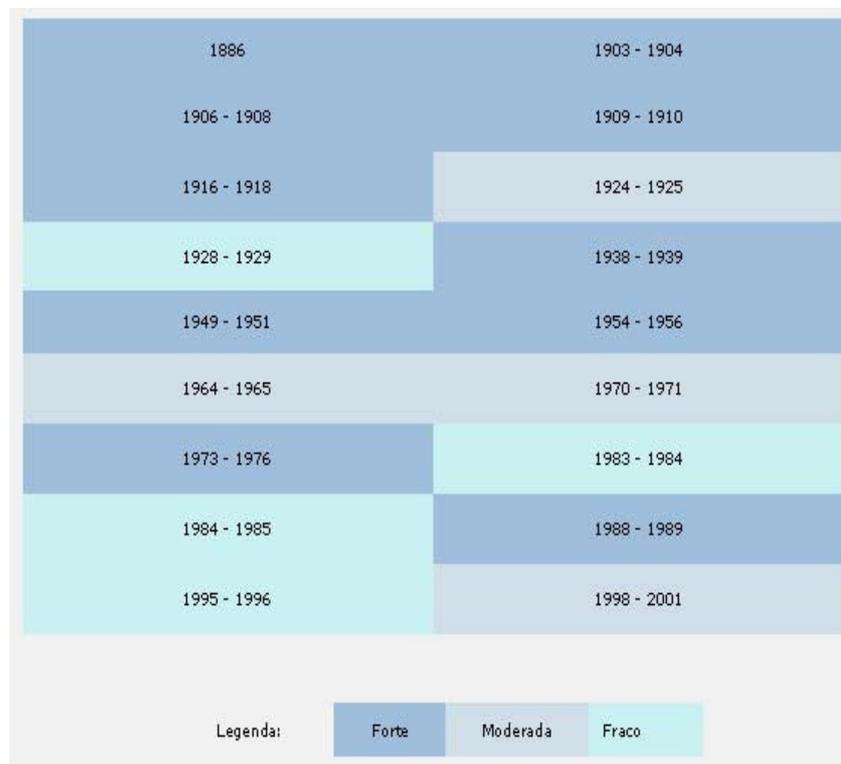
Além deste fenômeno meteorológico, o clima do NEB apresenta anos de estiagens severas e chuvas intensas devido também à ocorrência dos fenômenos El Niño e a La Niña.

De acordo com informação disponibilizada pelo CPTEC/INPE (2008), o El Niño é definido como:

Um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, e que pode afetar o clima regional e global mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

Quando ocorre o inverso, ou seja, o esfriamento das águas do oceano Pacífico Tropical tem-se então a La Niña.

Os episódios de El Niño e La Niña duram aproximadamente 9 a 12 meses, começando geralmente em julho-agosto, alcançando seu pico em dezembro-abril e decaindo em maio-julho do ano seguinte (SANTOS, 2006). Embora estes dois fenômenos (oceânico-atmosférico) tenham uma tendência a se alternar a cada 3 a 7 anos, pode ocorrer que de um evento ao seguinte o período de recorrência possa variar de 1 a 10 anos (Tabelas 01 e 02).

Tabela 01 – Anos de ocorrência dos eventos El Nino de 1877 a 2007.**Tabela 02** – Anos de ocorrência do evento La Niña de 1866 a 2001.

Fonte: CPTC/INPE, 2008.

A observação das tabelas 01 e 02 evidenciam que as intensidades destes eventos variam bastante, sendo que os mais intensos são considerados os ocorridos em 1982-83 e 1997-98.

Especificamente em relação ao NEB o padrão climático sazonal pode ser bastante influenciado pelo El Niño que, ao favorecer uma posição da ZCIT mais ao norte e por um maior intervalo de tempo, propicia o aumento da estiagem na região (CARVALHO et al., 2006).

O clima da área dos Lençóis Maranhenses é o tropical megatérmico, muito quente, úmido a sub-úmido, com índices pluviométricos distribuídos em dois períodos sazonais. De acordo com D'Antona (2002), a área dos Lençóis Maranhenses, situada no setor norte do NEB, apresenta duas estações do ano (verão e inverno), razoavelmente definidas a partir do início e fim do período chuvoso (Figura 13), diferentemente de outras regiões do país onde as quatro estações são melhor individualizadas.

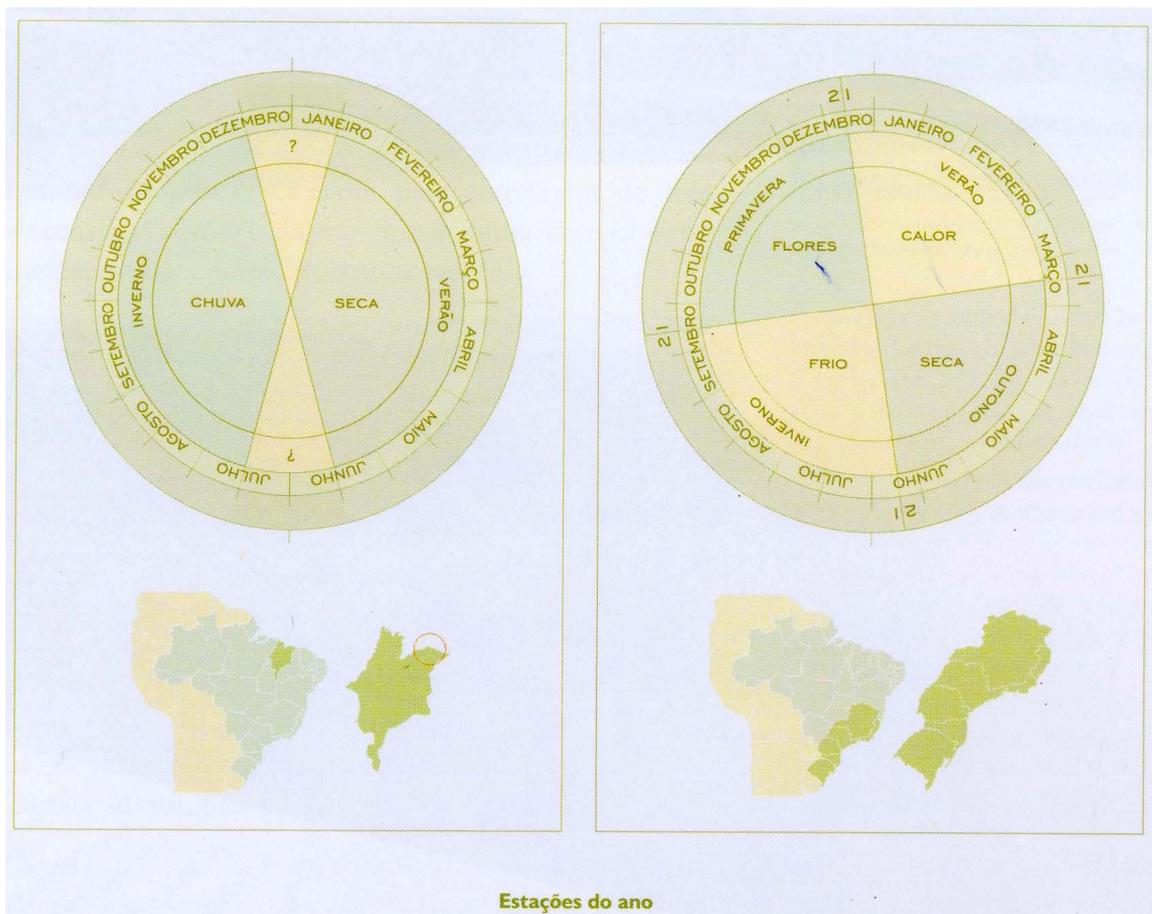


Figura 13 – As principais estações do ano nos Lençóis Maranhenses

Fonte: D'Antona, 2002.

A referida área encontra-se sujeita à massa de ar equatorial marítima e da convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, o que resulta num regime pluviométrico caracterizado por máximos no verão (janeiro a julho) e mínimos no inverno (agosto a dezembro). Nos meses de fevereiro a maio chove cerca de 90% do total anual (Figura 14). No período de estiagem, ou seja, de agosto a dezembro chove apenas 10% do total anual (MARANHÃO, 2003). Tal situação propicia uma diferenciação na paisagem do referido sistema sedimentar eólico, conforme observado na figura 15.

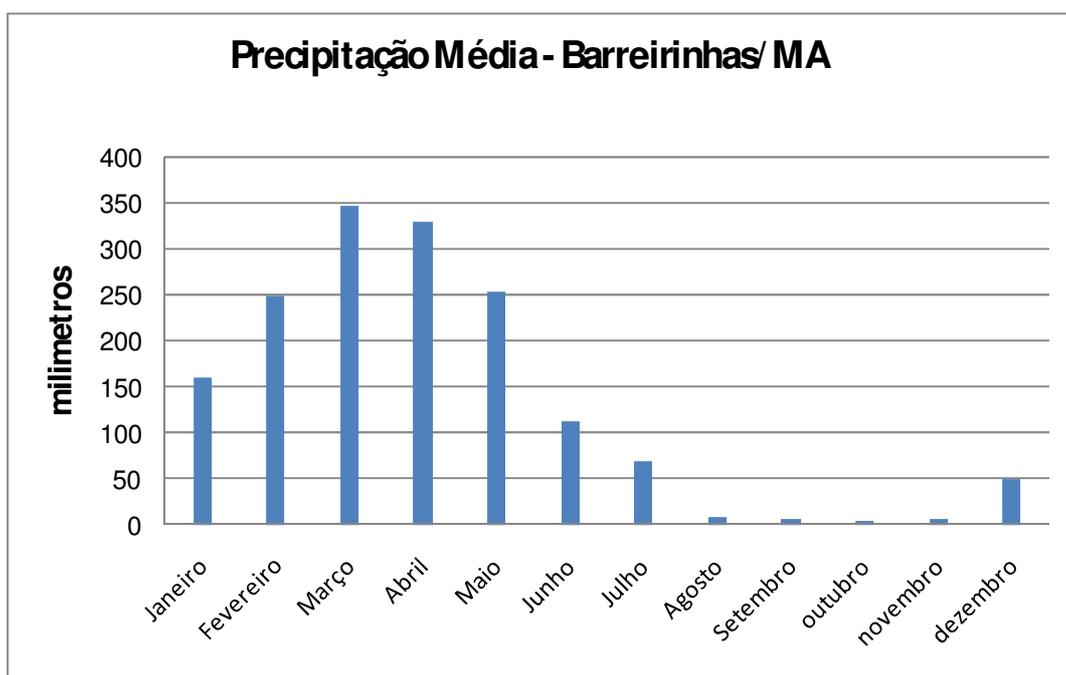
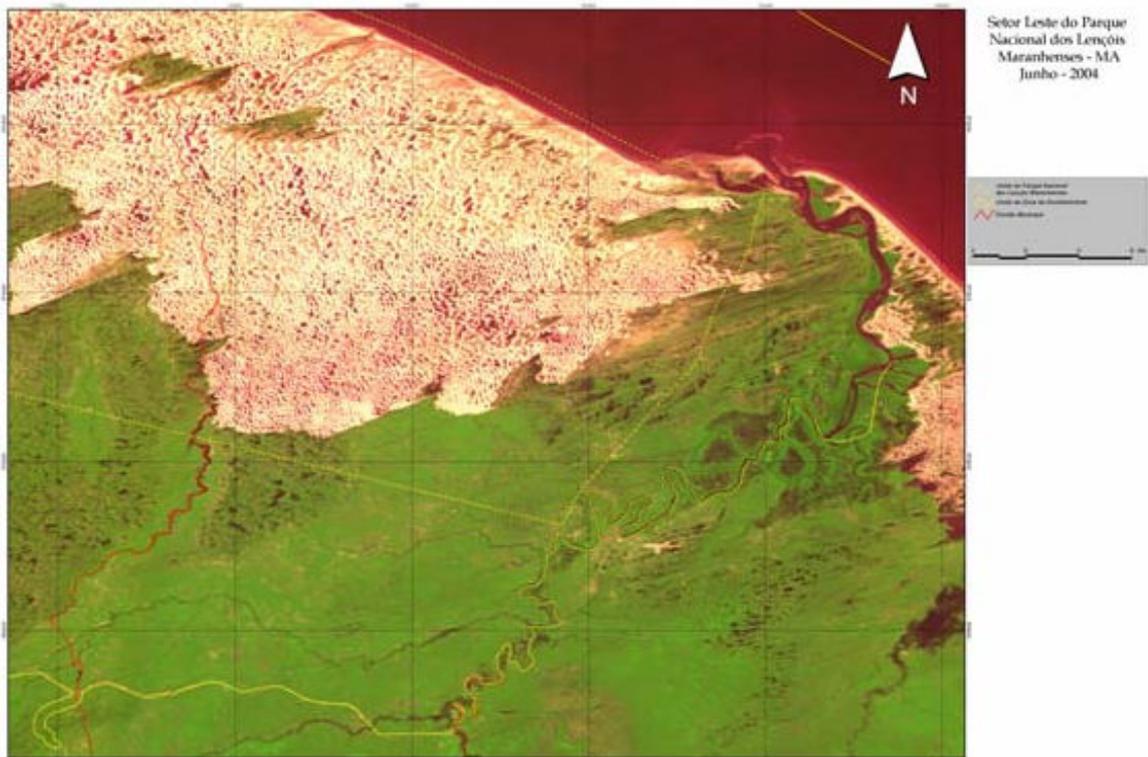


Figura 14 - Médias mensais da precipitação do município de Barreirinhas no período de 1967 a 1991.

As áreas próximas ao PNLM, de acordo com o MMA/IBAMA (2003), apresentam índices pluviométricos anuais de 1.623 mm (Barreirinhas), 1473 mm (Parnaíba), 1593 mm (Tutóia). Todavia, a dinâmica da circulação atmosférica em toda a zona costeira maranhense, sujeita às interferências da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), faz com que a pluviometria local seja marcada pela irregularidade. Tal fato pode ser exemplificado pelos índices pluviométricos observados em Barreirinhas, que em 1974 atingiu 3.118 mm e em 1983 choveu apenas 623,3 mm (Quadro 01), caracterizando assim, uma diferença de 2.494,7 mm entre os 2 (dois) anos em questão.

Setor Leste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses – MA /2004



Setor Leste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses - MA/2005

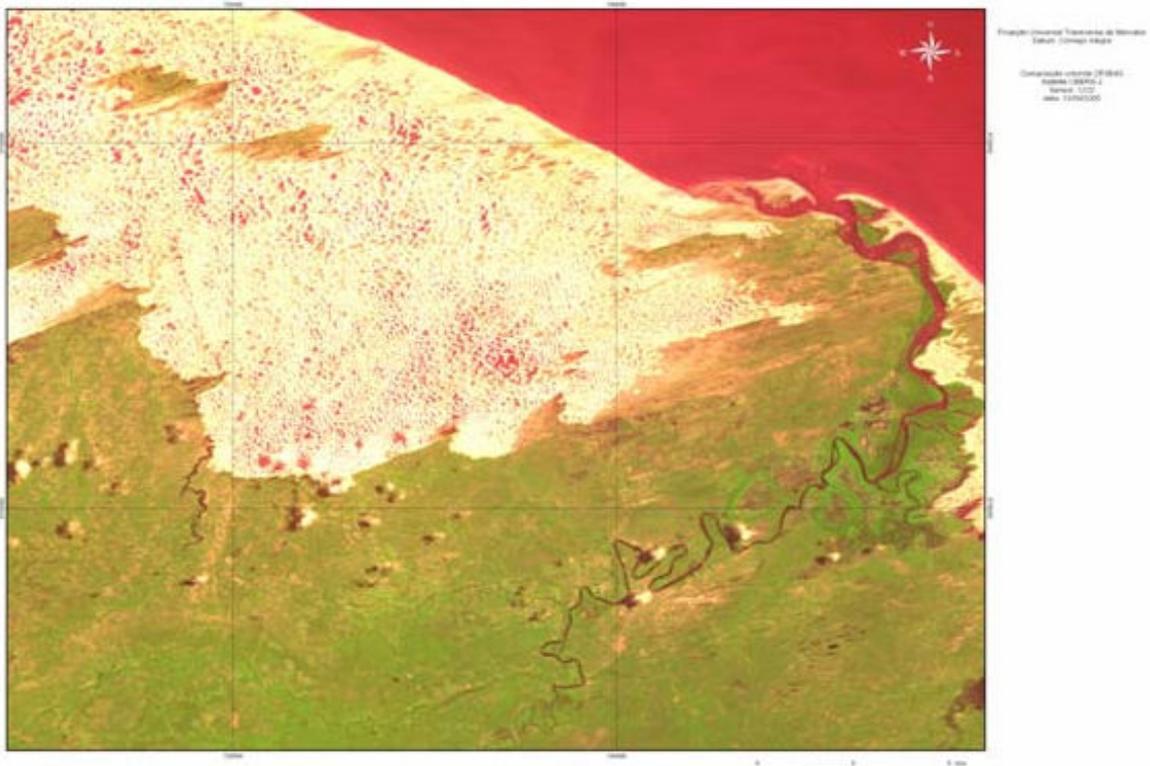


Figura 15 – Imagem do período chuvoso (junho/04) com presença de áreas inundadas e de estiagem (setembro/05) caracterizando as diferentes paisagens em função das precipitações.

Fonte: Imagens CBERS, 2004/2005 -INPE

Quadro 01 – Distribuição pluviométrica de Barreirinhas-MA (período de 1967 a 1991).

MUNICÍPIO		LAT.(S)			LONG. (W)			SUB-BACIA			RIO		
Barreirinhas		02°45'			42° 50'			Rio Preguiças			Rio Preguiças		
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
1967	97,5	292	351,6	241,2	448,6	80,8	61	0	0	0	0	5	1578
1968	163,5	139,1	299,6	196,4	424,9	178,6	9,6	2	0	0	37,2	75,3	1526
1969	254,8	154,5	279,2	427,3	303,8	183,8	80,8	9,2	3	0	0	0	1696
1970	28,2	238,3	304,1	345,1	64,4	160,1	211,8	0	5,2	0	46,1	4,9	1408
1971	98,2	230,2	201,2	322,8	313,7	179,4	92,6	7,2	24,2	0	0,6	18,7	1489
1972	113,6	160,9	162,4	356,1	323,2	91,5	35,2	8,6	0	0,8	0,3	131,6	1384
1973	172,8	275,4	399,8	256,8	295,8	150,2	94,6	29,2	8,6	7,6	0	40,6	1731
1974	289,8	457,8	413,2	714,6	597,6	399,4	61	6,8	26,9	1,2	2	147,3	3118
1975	115,1	329	314,7	385,4	311,6	103,4	336,6	0,4	5	0	1	22,8	1925
1976	161	319	462,8	354,2	68,8	12,8	0	0,3	4,3	25,9	0,5	10	1420
1977	236,3	305,6	310,2	387	163,4	162,2	30,6	4,6	2,4	0	0	49,7	1652
1978	218,2	142,4	277,8	313,8	287,6	42,6	98,2	1,6	0,6	0,6	16,6	62,8	1463
1979	92	261,2	306	207,6	323,2	37,6	0	6,8	25,6	6	11,2	2,8	1280
1980	86	688,8	284,2	202,8	16,2	44,4	14,2	5	1,6	0	12	5,2	1360
1981	92,4	150,4	523,2	150,2	326,2	28,8	2,2	5	0	0	0	39,2	1318
1982	307,6	252,4	297,4	339,2	54,8	79		0	0	0	0	4	1334
1983	16,4	143,8	134,5	160	59,2	1,8	0	4,4	0	0	0	103,2	623,3
1984	151,2	213,2	431,8	463,6	568,8	81,2		42,8	3	14	19,4	48	2037
1985	410,8	334	557	589,5	321	122,6	132,4	1,2	0,2	0	7	196,2	2672
1986	117,2	269	466,6	464,2	116	83,2	94,8	5	33	17,5	2,5	6	1675
1987	52,6	205,8	478,2	151,2	105	166	0	0	0	0	0	0	1159
1988	206,4	343,5	245	348	382,6	175,2	57,2	66,6	0		0		1825
1989	117,2	54,8	430,8	441,6	207	175,6	108,4	32,6	7	16	12,2	205,4	1809
1990	37,8	132,4	147,7	156,2	37,8	13,6	79,8	0	0	0	0	25	630,3
1991	343,4	101,8	565,6	214,6	188	67,2	2,4	0	0	10,8	0	0	1494
MÉDIA	159,2	247,8	345,8	327,6	252,4	112,8	69,7	9,57	6,02	4,18	6,74	50,1	1584

Fonte: MARANHÃO, 2003

De uma maneira genérica, a pluviosidade anual da área, entre os municípios de Rosário e Araióses (Figura 16), varia de 1.900 mm a 1.500 mm respectivamente.

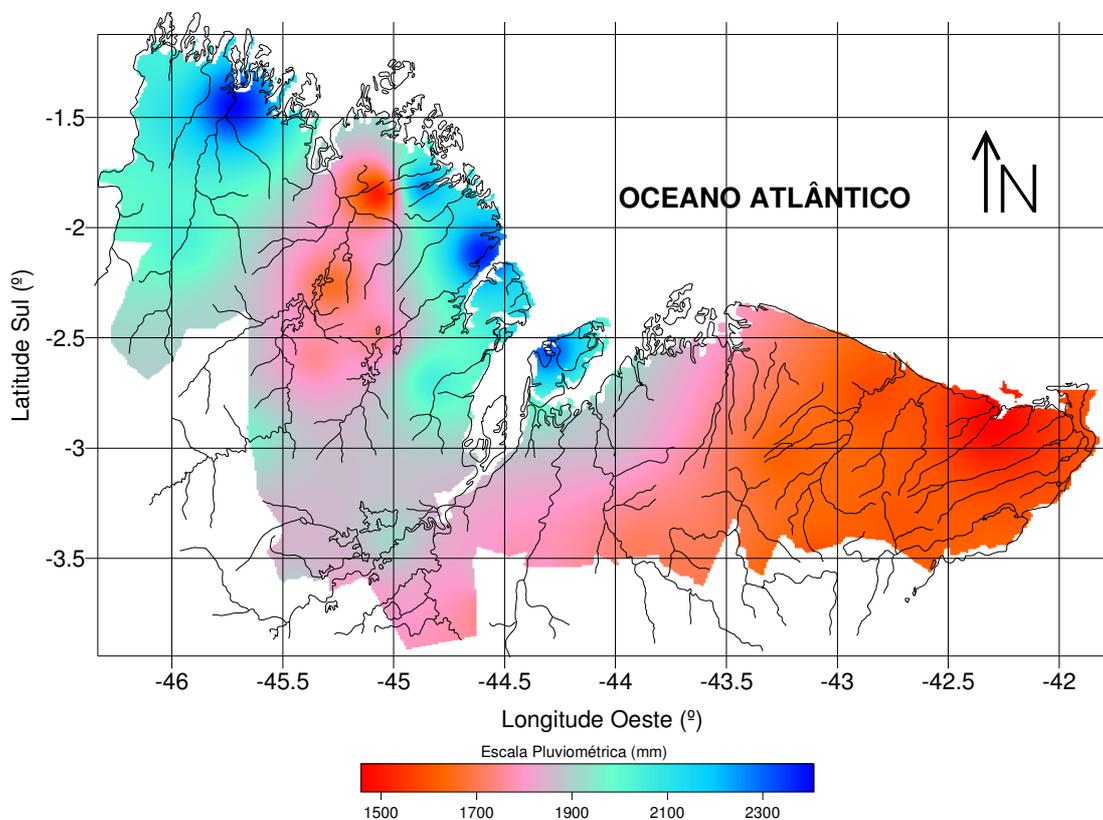


Figura 16 - Caracterização pluviométrica da área abrangida pelos estudos para o Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão.

Fonte: Maranhão, 2003

A região em análise, por se localizar a 2° sul, próxima ao Equador, é submetida à intensa radiação solar ao longo do ano, sendo o período entre setembro e novembro os de maior insolação. Logo, a temperatura média anual é relativamente alta, atingindo 26,3° e 27,7°C (Figura 17), enquanto a média das temperaturas máximas mensais situam-se entre 31° e 33°C (MARANHÃO, 2002).

Os meses mais úmidos na zona costeira em tela correspondem aos mais chuvosos (fevereiro a maio) com valores de umidade relativa podendo superar os 80%. Nos meses de setembro a novembro, considerados os menos úmidos, tal índice fica em aproximadamente 65% (MARANHÃO, 2003).

O balanço hidroclimático realizado durante a realização do zoneamento estadual, acima citado, demonstrou que entre junho e julho ocorre a redução das águas, com a deficiência ocorrendo de agosto a novembro em toda a franja costeira, enquanto que nos

meses de dezembro a janeiro começa a reposição das águas com o início das chuvas, atingindo o seu excesso entre os meses de fevereiro a maio.

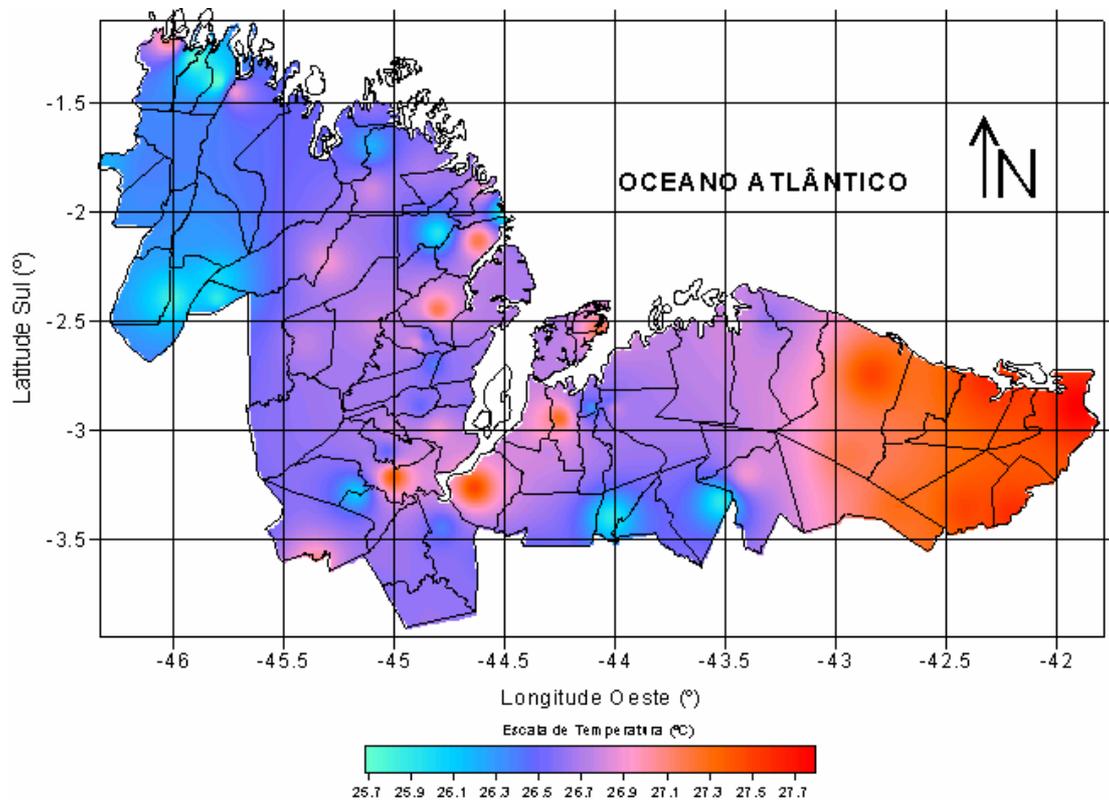


Figura 17 - Variação da temperatura média do ar ao longo da região costeira do estado do Maranhão, bem como nos municípios abrangidos pelos estudos para o Zoneamento Costeiro.

Fonte: Maranhão, 2003.

Os ventos nas áreas costeiras além de produzirem as ondas, conforme Silva et al. (2004) é também um importante agente na dinâmica sedimentar das praias, sendo o principal responsável pela troca de areias entre as praias e as dunas. Nos Lençóis Maranhenses os mesmos são influenciados pela ZCIT e pelas altas pressões estacionárias do Atlântico Sul (MMA/IBAMA, 2003).

Em análise dos dados de ventos da estação meteorológica de São Luís, devido à inexistência da referida estação no perímetro do PNLM, Gonçalves (1997) constatou a presença dos ventos com direção NE, E, SE e N em ordem decrescente de frequência. O referido autor, após a tabulação dos dados no período de 1978 a 1989, destacou o domínio dos ventos de NE, E e N como os responsáveis pelo efetivo transporte de areia na construção dos campos de dunas transversais.

De acordo com os dados constantes da rosa dos ventos da estação do aeroporto de São Luís (Figura 18), nota-se a significativa presença dos ventos oriundos do quadrante nordeste na capital do Maranhão.

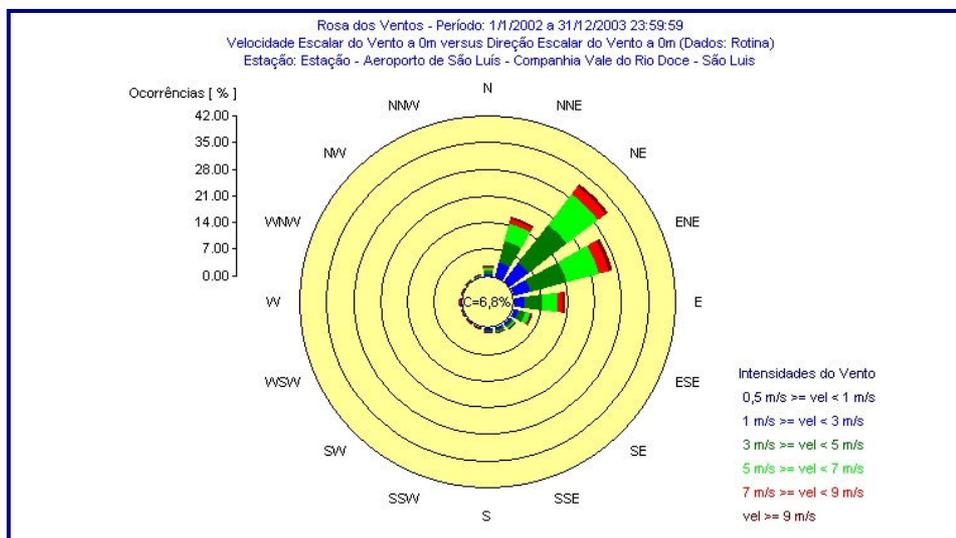


Figura 18 – Rosa dos ventos, estação aeroporto de São Luís

Fonte: ECOSOFT, 2004 apud ECOLOGUS, 2006.

A figura sobre as direções dos ventos, constante do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro publicado pelo Ministério das Minas e Energia em 2001, confirmam as direções NE, ENE, E e N como as preferenciais na área de estudo, sendo dos mais fortes registrado no país no trimestre setembro e novembro (Figura 19).

A velocidade média dos ventos, obtidas com anemômetro portátil durante os trabalhos (em 2001) de elaboração do Plano de Manejo do parque, no período de estiagem, atingiu uma média de 8,3m/s e no período chuvoso de 6,1 m/s. Contudo, no período de estiagem as velocidades dos ventos (durante as rajadas), podem alcançar valores iguais ou superiores a 14,1 m/s, ou seja, 50,8 km/h (MMA/IBAMA, 2003). Desta forma, constata-se que no período seco existe uma significativa dinâmica eólica na citada planície costeira, em função da redução no teor de umidade dos sedimentos arenosos, ausência das chuvas e ao rebaixamento do lençol freático, aliado também a uma maior velocidade dos ventos.

Genericamente, as dunas na área em análise obedecem a um padrão variável conforme as estações do ano; no período de estiagem o transporte eólico é intensificado e, durante a estação chuvosa, a migração das dunas é bastante reduzida.

Contudo, o processo de migração dunar não chega a ser interrompido, devido aos intervalos de dias sem chuva e a significativa competência dos ventos incidentes no PNLM, similarmemente ao observado por Castro e Gonçalves (2003) e Castro e Ramos (2006), nos campos de dunas do estado do Ceará.

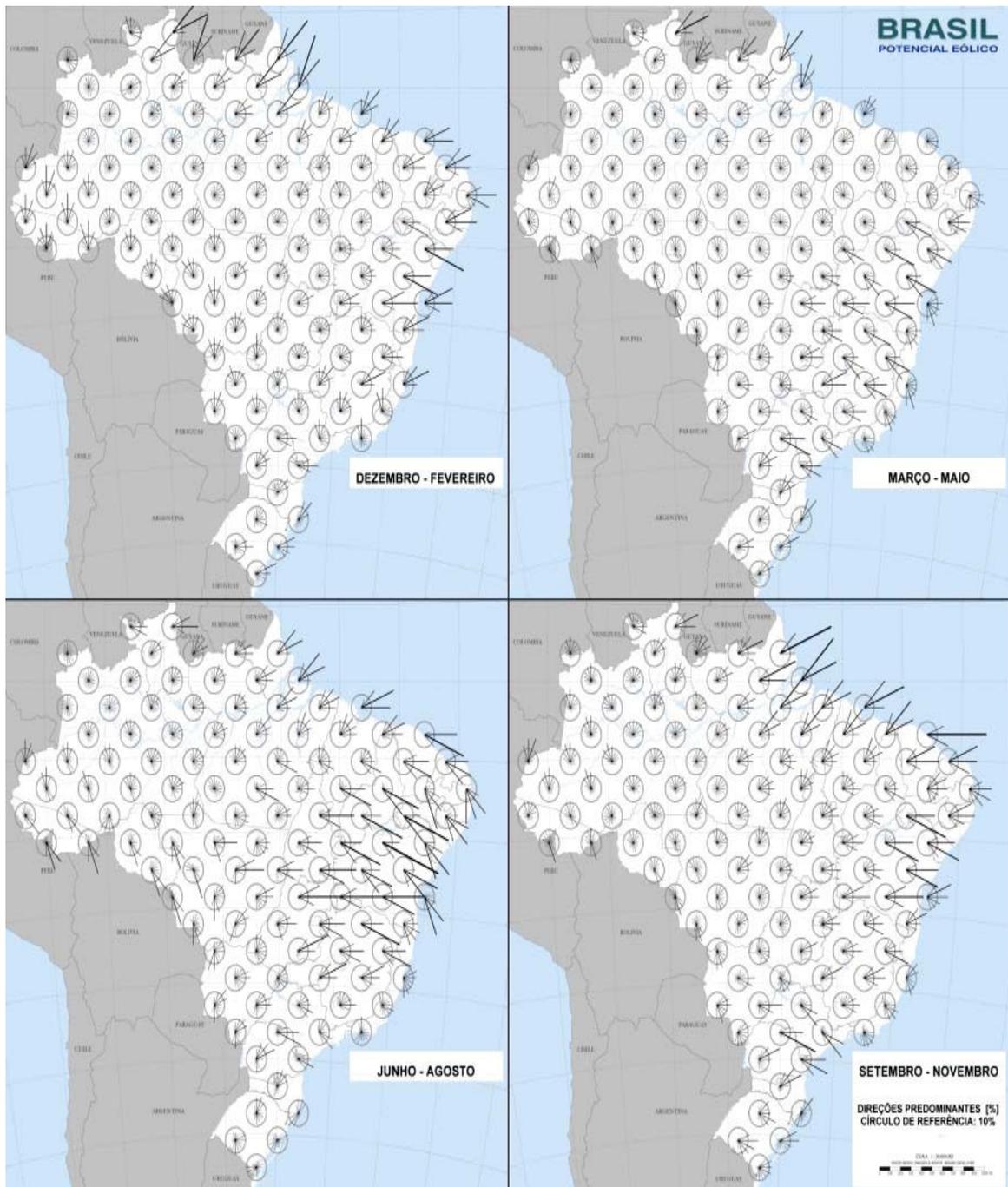


Figura 19 - Direções predominantes dos ventos do Brasil e especificamente do estado do Maranhão.

Fonte: MME, 2001.

2.6 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

De acordo com os dados da Divisão de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN) e da Previsão Oceânica disponibilizados pela CPTEC (www.cptec.inpe.br/ondas/tabuas_mares/), a região compreendida entre a foz do rio Parnaíba até aproximadamente à baía dos Tubarões (Primeira Cruz-MA), apresenta um regime de mesomarés (2-4 m) do tipo semi-diurno que aumenta em direção a cidade de São Luís (situada na ilha do Maranhão), a qual se encontra submetida a um regime de macromarés (amplitude > 4 m). Em virtude destas variações de maré, bem como da pequena declividade da face praial (1° a 2°), observa-se uma exposição do estirâncio que varia de 100 a 500m (defronte ao PNLN) e de 200 a 1.000 m (em São Luís/MA) quando da baixa-mar de sizígia.

De acordo com Bittencourt et al. (2003), a direção da frente de ondas, predominante no segmento entre a foz do rio Parnaíba e a ilha de Santana, é de N90 e N45 com altura entre 0,5 e 1, m. Ainda, de acordo com o referido autor a citada região costeira apresenta uma deriva litorânea efetiva de sedimentos (sentido no qual a maioria do material sedimentar se move durante um longo período de tempo), de leste para oeste.

2.7 VEGETAÇÃO

A paisagem vegetal natural característica da região dos Lençóis Maranhenses é composta por vegetações com influência marinha (restinga), flúvio-marinha (mangue), fluvial (comunidades aluviais) e pela presença do cerrado e campo cerrado (MMA/IBAMA, 2003).

De acordo com o Sistema Fitogeográfico estabelecido pelo IBGE (1992), a vegetação da área do PNLN é caracterizada como Sistema Primário (natural), enquadrada na Classificação das Áreas das Formações Pioneiras e que, em uma escala regional, compõe-se de comunidades pioneiras.

No Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses o ecossistema restinga (Foto 06) tem uma distribuição espacial por quase toda área (ao entorno do campo de dunas atuais), apresentando-se com uma variedade de paisagens expressando padrões que refletem as condições ambientais locais. Ainda de acordo com os estudos realizados durante a elaboração do plano de manejo do referido parque, foi constatado que em comparação com outros ambientes de restinga ao longo do litoral brasileiro a riqueza de espécies da restinga do PNLN é considerada baixa (133 espécies).



Foto 06 - Vegetação de restinga ao entorno do campo de dunas atuais do PNLM.

Fonte: Santos, 2007

Entre as espécies de ampla ocorrência no parque e em sua área de entorno tem-se: mirim, *Humiria balsamifera*; murici, *Byrsonima sp*; jatobá, *Hymenaea parvifolia*; guajiru, *Chrysobalanus Icaco*; cajuí *Anacardium microcarpum*, L; caju, *Anacardium occidentale*, L; puçá, *Mouriri cearensis*; janaúba, *Himathantus articulatus*, azeitona, *Ouratea spruceana*; maçaranduba, *Manilkara sp*; dentre outras (MMA/IBAMA, 2003).

Na área central do campo de dunas móveis existem duas ilhas de vegetação denominadas: Baixa Grande e Queimada dos Britos.

Esta última tem uma mata de restinga muito antiga, fato evidenciado pela exuberância das árvores, pela camada de serrapilheira e pelos solos mais profundos. A ocorrência de espécies endêmicas **Polygala adenophora** e **Hybantus solccolaris**, sugere que esta área tenha sido uma zona de refúgio em períodos glaciais do Quaternário (MMA/IBAMA, 2003) É possível, no entanto, que tal posição de refúgio esteja associada a oscilações climato-botânicos subatuais. Tal hipótese é corroborada pelo presente estudo que define idades mais recentes, que o último período glacial, para o conjunto de dunas móveis circundantes a estas hipotéticas áreas de refúgio.

Na localidade Queimada dos Britos tem-se maior variedade de hábitos onde ocorrem ervas, lianas, epífitas, bromélias, macrófitas e formações arbustivo-arbóreas, conferindo-lhe uma flora mais rica se comparado com outras áreas do parque.

No litoral oriental maranhense, onde se encontra a área de estudo, o manguezal é caracterizado pela presença de espécies arbustivas arbóreas (Foto 07). Dentre as principais espécies de mangues existentes sobre a planície flúvio-marinha do delta do Parnaíba (divisa MA/PI), estuário do rio Itapecuru, baías de São José, Tubarão, Tutóia, Melancieira, Caju e das desembocaduras dos grandes e pequenos rios tem-se: o mangue vermelho, *Rhizophora mangle* L.; *Rhizophora racemosa* G.F.W. Meyer; mangue siriba, *Avicennia germinans* (L) Stearn e o mangue branco, *Laguncularia racemosa* (L). Embora a área de ocorrência de manguezais no litoral oriental maranhense seja bastante inferior se comparada ao litoral ocidental, este ecossistema, por apresentar as condições ideais para o desenvolvimento de inúmeros organismos (peixes, camarões, caranguejos, dentre outros) propicia uma importante fonte de renda e alimento às populações locais.

As comunidades de vegetação aluviais existentes na área ocorrem ao longo dos rios e lagos mais interiorizados e das várzeas. Entre as espécies de palmáceos mais encontrados, de acordo com o MMA/IBAMA (2003) e Santos (2007), destacam-se: o buriti *Mauritia flexuosa* Mart.; carnaúba, *Copernicia cerifera* Mart. e juçara, *Euterpe oleracea* Mart.



Foto 07 – Vegetação de mangue na foz do rio Preguiças-Povoado de Mandacaru.

Fonte: Santos, 2007

A fitofisionomia do cerrado situa-se ao sul do PNLM nas áreas mais interiorizadas onde podem ser encontradas as seguintes espécies: pequi, *Caryocar cf. coriaceum* Wittm.; graviola, *Annona muricata* L.; ameiju, *Duguetia echinophora* R. E.Fr.; mangaba, *Hancornia speciosa* Muelle. Arg.

Os Lençóis Maranhenses apresentam componentes de outras formações vegetais como **Protium heptaphyllum**, **Humiria balsamifera**, **Abarena cochelata**, **Parinari campestris** e a **Byrsonima amaena**, típicas da Amazônia, o **Cereus pernambucensis**, **Cochlospermum sp**, **Jatropha gossypifolia**, **Copaífera sp**, **Hymenae parvifolia**, **Senna georgica**, **Pakira sp**, **Styphnodendron barbatiman** e **Passiflora sp.**, citadas para a caatinga.

Desta maneira, de acordo com o MMA/IBAMA (2003), esta heterogeneidade com representantes de formações vegetais diferenciadas como floresta pluvial, cerrado, caatinga, e propriamente de restinga, indica ser a região uma zona de transição entre as formações amazônicas e nordestinas.

Convém destacar, que a cobertura vegetal na área do parque tem juntamente com a hidrografia, uma importância fundamental, no tocante a redução da taxa de migração das dunas móveis, em determinados setores do parque, bem como na manutenção da biodiversidade local.

2.8 FAUNA

De uma maneira geral a fauna do PNLM é caracterizada por uma baixa diversidade na composição das espécies se comparada a outras áreas do estado (MMA/IBAMA, 2003). Todavia, a região dos Lençóis Maranhenses encontra-se na rota migratória de aves provenientes da América do Norte (maçaricos e batuíras). Entre as principais aves costeiras, comumente avistadas, tem-se: gaivotas, sabiás-da-praia, lavadeiras, caburés, dentre outras.

Dentre as espécies ictiológicas comumente encontradas na região dos Lençóis Maranhenses destacam-se a: piaba, pataca e tilápia (ambiente fluvial), acará, tilápia, piaba, piaú, Curimatá e piranha (ambiente lacustre), bagre, uritinga, tainha, corvina uçu e pescada amarela e branca (ambiente marinho).

Existem, na referida UC, quatro espécies consideradas ameaçadas de extinção: **Eudocinus ruber** (guará), **Lontra longicaudis** (lontra), **Leopardus tigrinus** (gato do mato/pintadinho) e **Trichechus manatus** (peixe boi marinho).

Ainda de acordo com o MMA/IBAMA (2003), na área do parque ocorrem relatos da presença de raposas brancas (albinas) **Cerdocyon thous** o que poderia ser resultado, tanto de um isolamento genético, quanto de um processo adaptativo para a vida nas áreas de dunas. Merece destaque também a ocorrência da tartaruga-pininga (**Trachemys adiutrix**), considerada endêmica nos Lençóis Maranhenses.

2.9 ASPECTOS HUMANOS, SOCIAIS E ECONÔMICOS

O recente crescimento populacional pelo qual esta passando a região dos Lençóis Maranhenses, em especial o município de Barreirinhas, poderá, caso não haja um planejamento adequado à realidade local, ocasionar o aumento da ocupação desordenada responsável pelo surgimento de variados problemas (ambiental, estético, socioeconômico ou urbano).

A título de exemplo, no último censo realizado pelo IBGE para o ano de 2000, a população total do município de Barreirinhas ficou em 39.669 habitantes (Quadro 02). Destes, 26.460 hab. referiam-se à população rural, enquanto que para a população urbana, foram registrados 13.209 hab. De acordo com as informações contidas no site do IBGE (www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php), a população da referida cidade foi estimada em outubro de 2007 em 47.728 habitantes, o que significa um incremento de 8.059 hab. (20.32%) em apenas 7 (sete) anos.

Quadro 02 - Evolução da população do município de Barreirinhas (1960 a 2005).

ANO	POP. URBANA	POP. RURAL	TOTAL
1940	1.290	11.968	13.258
1950	1.567	14.765	16.332
1960	2.172	17.968	20.140
1970	3.467	21.711	25.178
1980	5.014	21.599	26.613
1991	7.399	22.083	29.482
2000	13.209	26.460	39.669
2007	-	-	47.728

Fonte: Plano Diretor de Barreirinhas (2007), adaptado pelo autor.

Na zona rural dos municípios onde está inserido o PNLM, a ocupação humana ocorre de forma descontínua (nas proximidades dos rios e das trilhas de acesso), em pequenas propriedades, predominando aquelas com área inferior a 10 ha. e /ou em pequenos povoados, caracterizados por sua rusticidade.

Nas sedes municipais, situadas fora da zona de amortecimento da unidade de conservação, encontra-se o maior adensamento da população e, conseqüentemente, o aumento dos serviços públicos oferecidos, embora em alguns setores possam apresentar significativas deficiências.

Os principais indicadores, disponíveis no site do IBGE, demonstram baixos níveis de qualidade de vida, evidenciado pela carência e/ou inexistência de componentes de infraestrutura e serviços necessários ao atendimento das demandas sociais mínimas da comunidade, principalmente aos residentes nos povoados dispersos por toda a área municipal.

A economia dos municípios relaciona-se: à agricultura, à pesca artesanal, ao artesanato e, mais recentemente, ao turismo. Na agricultura, entre os principais produtos cultivados destacam-se: mandioca, castanha-de-caju, laranja, coco-da-baía, banana, milho, feijão, melancia, arroz. (MMA/IBAMA, 2003). A utilização dos métodos de cultivo tradicionais induz a uma baixa produtividade e a remoção da cobertura vegetal, ocasionando significativas alterações nos habitats naturais (MMA/IBAMA, 2003). No que se refere às atividades pecuárias, destacam-se a criação de ovinos, aves, suínos, muares, caprinos, asininos, bubalinos e eqüinos embora estas sejam praticadas de forma extensiva, com a utilização de técnicas primárias. A pesca artesanal é desenvolvida na zona costeira (pequenas embarcações), nos rios e nas lagoas, com a utilização de redes de emalhar, puçá, tarrafas e vara de pescar. Contudo, durante o verão, conforme D'Antona (2002), os pescadores evitam longas jornadas no mar devido aos fortes ventos.

Nos manguezais situados ao longo do litoral tem-se a atividade extrativista da coleta de mariscos e crustáceos, com ênfase especial na extração do caranguejo.

A atividade turística nos últimos 5 anos sofreu uma dinamização expressiva com a melhoria das vias de acesso e, conseqüentemente, implantação de inúmeras pousadas e agências de turismo para o atendimento do número crescente de visitantes (inclusive estrangeiros), atraídos pelas excepcionais belezas naturais do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses em ampla divulgação.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CONCEITUAÇÕES BÁSICAS

Segundo Muehe (1994), o avanço da urbanização sobre áreas costeiras a serem preservadas e os constantes problemas resultantes de interferência, direta e indireta, no balanço de sedimentos costeiros, mostram que ainda é longo o caminho entre intenção e realização do planejamento racional de nossas áreas costeiras.

Todavia, no 1º Simpósio sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira Nordeste do Brasil, realizado em Recife (1995), e mais recentemente no X e XI Congresso da ABEQUA (2005 e 2007), pôde-se constatar tanto a diversidade dos problemas existentes nas áreas costeiras como também a preocupação crescente por parte de pesquisadores na busca de conhecimentos sobre a dinâmica e os principais problemas incidentes no referido ambiente, visando à apresentação de medidas mitigadoras no tocante aos principais impactos ambientais. Embora se reconheça a importância das planícies costeiras do ponto de vista estratégico, ecológico e socioeconômico (SUGUIO, 2003a), existem poucos estudos sobre as variabilidades ambientais vigentes nas mesmas, notadamente, no litoral do estado do Maranhão.

As ações irresponsáveis do homem sobre o meio têm levado a uma maior necessidade de se mapear e monitorar, para melhor gerir, os recursos naturais renováveis ou não renováveis. Desta forma, como a realização dos diferentes planejamentos demanda uma quantidade elevada de dados ambientais, com maior precisão, agilidade e capacidade de uma constante atualização das informações, faz-se necessário o emprego de tecnologias modernas e robustas para sistematizar os resultados a serem obtidos. Nos últimos anos, segundo Mendes (2004), a tecnologia de Sistemas Geográficos de Informações (SGIs), muito tem contribuído e evoluído, no tocante à geração das informações necessárias a tomada de decisões.

Assim, visando um maior entendimento sobre o ambiente costeiro no qual se pretende realizar uma análise territorial, serão discutidas algumas das principais definições, componentes, assim como algumas potencialidades do geoprocessamento, bem como as principais características e respectivas classificações dos campos de dunas costeiras.

3.1.1 Geoprocessamento: algumas definições

Em revisão à literatura especializada, constata-se que vários são os autores que definem o geoprocessamento.

Rodrigues (1990) define geoprocessamento como sendo o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento e uso de sistemas que as utiliza.

Xavier-da-Silva (1992) ressalta que o geoprocessamento “destina-se a tratar os problemas ambientais levando em conta a localização, a extensão e as relações espaciais dos fenômenos analisados, visando contribuir para a sua presente explicação e para o acompanhamento de sua evolução passada e futura”. Ressalta ainda, que para alcançar tais resultados são utilizadas técnicas computacionais modernas, que permitem tratar eficientemente os numerosos e diversificados dados ambientais disponíveis.

Câmara e Medeiros (1998) conceituam geoprocessamento como “uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas”.

Todavia, uma das definições mais abrangentes que, além dos aspectos referentes ao espaço, a matemática e a informática, destaca, também, os processos, as entidades e os recursos humanos envolvidos, é apresentada por Rocha (2000, p. 210), o qual define geoprocessamento como:

Uma tecnologia transdisciplinar, que através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.

Desta forma, o desenvolvimento das tecnologias de geoprocessamento representa, de acordo com Santos (2001), um avanço em vários sentidos, principalmente ao possibilitar a armazenagem de um grande número de dados e permitir a alteração de cenários, além de aceitar a combinação e recombinação de elementos espaciais.

3.1.2 Principais tecnologias envolvidas no geoprocessamento

3.1.2.1 A cartografia digital

É definida como sendo a cartografia tratada e assistida por processos computacionais, através de hardware e software apropriados ou adaptados (Menezes, 2000). É responsável pelo fornecimento da base cartográfica indispensável à investigação da realidade geo-ambiental por técnicas de geoprocessamento. Deste modo, a finalidade principal da cartografia automatizada refere-se à produção de representações digitais da realidade que sejam precisas e atualizáveis, pois o geoprocessamento necessita contar com uma base cartográfica digital confiável, sobre a qual coligirá seus dados para posteriores análises.

3.1.2.2 O sensoriamento remoto

É definido por Novo (1992) como sendo a tecnologia que permite a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos, através do uso de sensores, sem que haja contato direto entre os mesmos. Entre os diferentes sensores orbitais existentes e utilizados no estudo dos recursos naturais em nosso país, merecem destaque os satélites LANDSAT, SPOT e recentemente o IKONOS e o RADARSAT.

Atualmente, a evolução do sensoriamento remoto, através de sensores mais potentes, proporcionando resoluções espectral, espacial, radiométrica e temporal cada vez melhores, associadas às técnicas de extração de informação, oriundas do processamento de imagens, segundo Florenzano (2002), ampliou consideravelmente a sua aplicabilidade a diversas áreas do conhecimento, especialmente na Geografia, (LUCHIARI et al., 2005).

Tal fato propiciou a aquisição de dados e informações atualizadas, possibilitando a identificação das entidades e eventos recentes, integrantes da realidade ambiental de uma determinada área, a baixo custo, a exemplo das imagens disponibilizadas pelo programa “Google Earth”. De uma maneira genérica, a principal vantagem do sensoriamento remoto realizado a partir das plataformas orbitais reside no fato de permitir uma visão sinóptica (de conjunto), obedecendo a uma determinada frequência de geração, o que possibilita tanto a aquisição de considerável quantidade de dados e/ou informações em curto espaço de tempo, quanto o monitoramento de extensas áreas da superfície terrestre, com forte resolução espacial.

3.1.2.3 Modelo Digital do Terreno (MDT) ou Modelo Digital de Elevação (MDE)

Consiste na descrição matemática do terreno através de uma função de interpolação (ROCHA, 2000). As informações obtidas pelos MDE's podem ser de caráter qualitativo ou quantitativo, englobando assim cálculos de áreas, volumes, curvas de isovalores, cartas de declividade, altimetria do terreno, determinação da textura e dos padrões de drenagens, fatiamento de classes, geração de perfis, geração de vistas perspectivas, dentre outras aplicações. Cruz e Pina (2000), Rocha (2000). Assim, de acordo com Mello Filho (2003), os referidos modelos tornaram-se ferramentas importantes quando da representação da paisagem, por possibilitar a recuperação da sua tridimensionalidade. A maior parte dos MDEs, de acordo com Barros e Cruz (2007), utilizados são oriundos de restituição aerofotogramétrica, sendo que novos produtos estão contribuindo para alterar esta situação, como por exemplo a disponibilização dos MDEs SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Ainda de acordo com estes autores diversos trabalhos tem sido desenvolvidos para avaliar a qualidade do MDE SRTM e que estes tem demonstrado bom desempenho quando da suas aplicações, facilitando assim o acesso a dados tridimensionais do terreno.

3.1.2.4 Os Sistemas de Posicionamento Global (Global Positioning System- GPS),

Foram desenvolvidos para a navegação com propósitos militares. Posteriormente com a sua disponibilização para a sociedade civil, o mesmo vem sendo bastante utilizado nas pesquisas científicas, devido à sua eficiência no tocante à localização de pontos ou áreas amostrais no espaço terrestre, podendo chegar em alguns casos a precisão submétrica (centímetros), a exemplo dos GPS cadastral, topográfico ou geodésico.

Um fato importante que merece ser destacado, diz respeito à deficiência altimétrica presente nos produtos de sensoriamento remoto. Em conseqüência, os MDT's e os GPS são bastante utilizados no processo de ortorretificação da imagem, ou seja, correção da imagem pixel-a-pixel com relação à distorção topográfica.

3.1.2.5 Os Geographic Information System - GIS

São considerados por diversos autores, dentre os quais se destacam Aronoff (1991), Menezes (2000), Câmara e Medeiros (1998), Xavier-da-Silva (2001), dentre outros pesquisadores, como a mais poderosa ferramenta do geoprocessamento. Os GIS podem ser

vistos como o elemento que permite a aglutinação dos conhecimentos e técnicas produzidas nas demais tecnologias, sem, entretanto, dispensar ou eliminar as especificidades delas oriundas. Devido à importância destes sistemas nas análises ambientais em geral, serão apresentadas a seguir algumas definições, bem como as principais características desta geotecnologia.

3.2 DEFINIÇÕES E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS GIS

Os primeiros GIS, baseados na utilização de computadores e técnicas de georreferenciamento das informações em bases territoriais, surgiram na década de 60, no Canadá, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais.

Nas décadas seguintes, tem-se a dinamização da utilização do geoprocessamento, a nível internacional, sendo a década de 80, de acordo com Goodchild (1991), o momento em que a tecnologia do GIS inicia um acelerado crescimento.

Desde o surgimento dos SGIs ou SIG's até os dias de hoje, várias definições têm sido elaboradas por diversos pesquisadores, na tentativa de expressar de forma clara e objetiva o significado desta nova tecnologia, responsável por inovações tanto no que diz respeito aos aspectos metodológicos quanto conceituais relativos à realidade ambiental, tais como:

- Marble (1984) define os GIS como “sistemas voltados à aquisição, análise, armazenamento, manipulação e apresentação de informações referenciadas espacialmente”;

- Para Burroughs (1990), o GIS é definido como “poderosa ferramenta para coletar, armazenar, atualizar, recuperar e exibir dados espaciais do mundo real”;

- Aronoff (1991) conceitua o GIS como “sistemas com base em computador que são utilizados para armazenar e manipular informação geográfica”;

- Para Xavier-da-Silva (1999) um SGI pode ser entendido como: “um sistema capaz de operar sobre seus dados, que são apenas registros de ocorrência de fenômenos identificados, reestruturando-os para ganhar conhecimento sobre posições, extensões e relacionamentos taxonômicos e espaciais em suas bases de dados”.

- Para Rocha (2000), o SIG é um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais

georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados convencional (BDC).

Nestas duas últimas definições, a estrutura topológica citada refere-se aos relacionamentos espaciais entre as entidades, a exemplo da contigüidade, conectividade e vizinhança, aspectos estes bem detalhados no estudo realizado por Menezes (2000). Assim, a análise dessas relações topológicas é que dão identidade aos SIG's diferenciando-os das demais geotecnologias, atualmente disponíveis.

Além das relações topológicas, outras características que auxiliam compreender os Sistemas Geográficos de Informação referem-se à criação do banco de dados, o georreferenciamento, que é a utilização de diferentes planos de informações e as estruturas de representação dos dados geográficos.

Independentemente da geotecnologia escolhida, para se trabalhar com geoprocessamento, faz-se imprescindível o georreferenciamento dos dados. Logo, a base de dados ambientais terá que estar referenciada a um sistema cartográfico, pois sem esse requisito os dados não poderão ter sua geotopologia (XAVIER-DA-SILVA e ZAIDAN, 2004) analisada. Segundo Mello Filho (2003), são três as principais formas de se criar uma base de dados espaciais: adquirir dados de instituição fornecedora, digitalizar (escanear) os dados em formato analógico ou gerar seu próprio banco de dados a partir dos trabalhos de campo.

Ressalta-se que a entrada de dados constitui uma das tarefas que mais tempo consome em um Sistema de Informação Geográfico, pois compreende operações de codificação e armazenamento em uma base de dados.

Outra característica dos SIG's é que a citada base de dados geográficos pode ser composta por planos de informação (overlay, níveis ou layers) os quais podem ser sobrepostos uns aos outros, constituindo, dessa forma, um modelo digital do ambiente (XAVIER-da-SILVA, 1982).

Neste modelo, cada plano de informação (PI) estará relacionado a um conjunto de dados espacializáveis e localizados, configurando-se como cartas temáticas digitais.

Nesta estrutura, o usuário de um SIG pode armazenar diferentes PI's e a eles associar bancos de dados convenientemente, para serem manipulados visando atender os mais diferentes objetivos.

No tocante aos formatos de representação dos dados geográficos em meio digital, de acordo com Aronoff (1991) e Rocha (2000), duas são as estruturas utilizadas: a estrutura vetorial (poligonal) e a estrutura matricial (raster). Na presente tese, foi utilizada a estrutura matricial para geração das cartas digitais apresentadas.

3.2.1 Potencialidades

A excepcional capacidade de extração das informações espaciais (de forma ágil e eficiente), contidas na base de dados georreferenciada, bem como a possibilidade da criação de novos mapeamentos a partir do cruzamento de diferentes cartas digitais, gerados e sobrepostos nos SIG's, confere ao geoprocessamento, no entender de Aronoff (1991), Burrough, (1990), Xavier-da-Silva (1992; 2007), Cruz (2000), uma considerável importância no estudo das questões ambientais.

Nos dias atuais, a aplicação das geotecnologias vem ocorrendo nos mais diferentes campos do saber, atendendo aos mais variados objetivos, acadêmicos ou econômicos. Dentre os principais procedimentos associados a estes estudos, responsáveis pelo reconhecimento da elevada potencialidade dos SIG's, tem-se:

- cômputo de distâncias entre entidades de interesse, assim como a medidas de áreas e volumes (planimetrias);
- delimitação e quantificação de zonas de influência em torno de pontos, polígonos e linhas. Este procedimento possibilita a definição das áreas de proximidades (buffers) de uma determinada entidade cuja abrangência pode ser determinada tanto pelo usuário como por uma legislação específica, a exemplo das faixas de Preservação Permanente da Vegetação (Código Florestal-Lei nº 7.803, de 18.07.1989), com uma precisão superior as técnicas convencionais de mapeamento;
- consulta à base de dados sobre quais características ambientais conjuntas (sobre “n” mapas sobrepostos) se localizam na área demarcada (assinatura ambiental), pois, conforme Xavier-da-Silva (2001) os referidos sistemas permitem o trânsito entre localizações e atributos, em outras palavras, a recuperação da localização a partir de uma informação e vice-versa;
- monitorias através do levantamento das alterações ambientais ocorridas em uma determinada área em épocas distintas.

A partir da monitoria podem-se realizar previsões, pois as mesmas fornecem o sentido e a velocidade de propagação das alterações ambientais, decorrentes, por exemplo, de desmatamentos ou da ocupação urbana desordenada. No que se refere ao fator tempo (considerada a quarta dimensão), Aronoff (1991) entende que este é um componente

fundamental para uma informação georreferenciada, uma vez que este tipo de informação descreve a ocorrência de um fenômeno localizado espacial e temporalmente, a época de sucessivas coletas de dados.

Segundo Xavier-da-Silva e Carvalho Filho (1993), a possibilidade de se definir os locais em que uma determinada característica ambiental não sofreu alteração, onde passou a existir, onde deixou de existir ou em que a citada característica não existia na primeira ocasião e continuam sem existir nas demais ocasiões, constituem resultados importantes.

Contudo, a obtenção de informações sobre o destino dado à área que sofreu alteração ou em que características ambientais veio a incidir uma determinada expansão territorial permitem, de acordo com Xavier-da-Silva e Carvalho Filho (1993), inferências de maior envergadura quanto a espacialidade e temporalidade inerentes aos fenômenos ambientais, as quais são de suma importância para a tomada de decisões.

Entre outras aplicações do geoprocessamento, de maior complexidade e fora do escopo da presente tese, merecem menção:

- simulações a partir da introdução de características fictícias, para posterior análise da referida simulação sobre o ambiente.

- zoneamentos, a fragmentação controlada e ordenada de uma área, segundo critérios reproduzíveis e defensáveis é otimizada pelo emprego dos SIG's (XAVIER-da-SILVA; CARVALHO FILHO, 1993) O mesmo pode ser realizado atendendo a diferentes finalidades, bem como se empregando diferentes metodologias, conforme pode ser observado no trabalho de Rocha (2000).

Além destes procedimentos, os SIG's permitem as mais diferentes conjugações de características ambientais, que estejam armazenadas na base de dados e sejam de interesse para uma ou várias finalidades específicas, conforme pode ser consultado em Xavier-da-Silva e Carvalho Filho (1993), Becker e Egler (1997), Costa (2002), Gama (2002), Medeiros e Câmara (2003), Moura (2003), Xavier-da-Silva e Zaidan (2004), Xavier-da-Silva (2007).

Em síntese, o uso da tecnologia de SGI's é vasto, podendo esta envolver diferentes aplicações, desde o extenso campo do planejamento territorial, como um todo, até os trabalhos em microescala, com destaque para os estudos de caso sobre definição de áreas de riscos (inundação, desmatamentos, migração e/ou soterramento das dunas sobre as planícies costeiras), potenciais, limitações (restrições), variabilidades e impactos ambientais, simulações, monitoramentos, zoneamentos entre outras aplicações de altíssimo interesse à tomada de decisões, conforme Xavier-da-Silva e Carvalho Filho (1993), Góes (1994), Xavier-da-Silva e Zaidan (2004) e Ribeiro (2005).

3.3 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS FEIÇÕES EÓLICAS DO AMBIENTE COSTEIRO

A zona costeira, de acordo com Komar (1998), pode ser definida como a zona de confluência marítimo-terrestre em que se incluem as praias, falésias, campos de dunas, estuários ou marismas, ou seja, todos os ambientes ligados geneticamente com o meio costeiro. Dentre esses ambientes as dunas costeiras representam um dos elementos da paisagem costeira, as quais possuem caráter dinâmico. De acordo com Ribeiro (2000), as mesmas funcionam como forma de proteção natural da linha de costa contra a atuação dos agentes oceanográficos extremos, além de serem importantes áreas de recarga de aquíferos nas zonas costeiras.

No que se refere à proteção da franja costeira, Silva et al. (2004, p. 217), destaca que:

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.

Além destas características, os campos de dunas são também excelentes áreas de exploração turística (SANTOS, 1996; BAUER e SHERMAN, 1999), assim como indicadores da localização de parques de geração de energia eólica e de exploração de recursos minerais (areias, placers e minerais pesados).

Desta forma, os estudos destas feições morfológicas, vêm despertando o interesse de diversos pesquisadores, não somente pela pura e simples caracterização geológica e geomorfológica, mas também devido aos aspectos econômicos e estratégicos que esses depósitos eólicos, representam a sociedade moderna.

Quanto à localização, as dunas encontram-se presentes sobre os mais diversos domínios morfoclimáticos, desde regiões de clima semi-árido até as zonas de clima úmido e temperado (GOLDSMITH, 1985). Todavia, os extensos campos de dunas costeiras, a nível global de acordo com Pye (1983), situam-se a sotavento de praias expostas a fortes ventos, com grande disponibilidade de areia junto às costas, passíveis de serem mobilizadas pelo processo eólico.

Corroborando com estas idéias, Muehe (1994) afirma que as dunas costeiras se formam em locais em que a velocidade do vento e a disponibilidade de areias finas são

adequadas para o transporte eólico. Ainda de acordo com Muehe, estas condições são freqüentemente encontradas em praias do tipo dissipativo a intermediário, de gradiente suave, a exemplo do que ocorre em parte do litoral do Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e em muitos locais do litoral do Maranhão, Piauí e Ceará. Nestes últimos, tais condições são favorecidas pela presença de ventos constantes, bem como pela maior amplitude de maré existente no litoral maranhense.

Objetivando um maior entendimento sobre as principais entidades (agentes) e características responsáveis pela gênese e dinâmica dos depósitos eólicos quaternários (dunas), serão apresentados neste capítulo algumas definições sobre dunas, os principais mecanismos de erosão, transporte e deposição nos ambientes eólicos, as principais forças responsáveis pela sua origem e distribuição, uma classificação de dunas costeiras, bem como exemplos de classificações destas feições morfológicas ao longo do litoral brasileiro.

3.3.1 Definições de dunas

Bagnold (1941) define duna como uma acumulação de areia móvel cuja existência independe tanto da forma do terreno como de obstáculos fixos.

Segundo Ottman (1965), as dunas litorâneas são acumulações de areia marinha depositadas pelos ventos e que recobrem certa parte do litoral. Ainda no entender do citado autor, as dunas apresentam-se também sob formas de cordões de areia, mais ou menos paralelos entre si e alongados no sentido do litoral, geralmente, perpendicular aos ventos dominantes.

Na resolução do CONAMA nº 303/2002, as dunas são definidas como unidade geomorfológica de constituição predominantemente arenosa, com aparência de câmoros ou colina, produzida pela ação dos ventos, situada no litoral ou no interior do continente, podendo estar recoberta, ou não, por vegetação. Quando recobertas por vegetação são classificadas como dunas fixas.

Embora existam várias definições sobre as dunas costeiras, estas, de acordo com Santos (1996), caracterizam ambientes construcionais, resultantes, principalmente, da conjugação dos agentes oceanográficos e climáticos, a qual pode ocorrer na franja costeira destituída ou não de vegetação.

3.3.2 Mecanismos de erosão, transporte e deposição pelo vento

Nos ambientes eólicos (desertos e áreas costeiras) o vento constitui um dos agentes geológicos mais efetivos nos processos de erosão, transporte e sedimentação.

Tais processos encontram-se bem detalhados nos trabalhos de Bagnold (1941), McKee (1979), Tomazelli (1990), Gonçalves (1997) e Castro (2001). Todavia, serão apresentadas de forma resumida as principais formas de ocorrência dos citados processos.

❖ Os principais registros erosivos causados pelo vento

I - Deflação: em que a remoção de areia e poeira pelo vento da superfície terrestre pode gerar bacias de deflação (as quais podem vir a originar os oásis e/ou as lagoas temporárias) e os pavimentos desérticos.

II - Abrasão eólica: onde o vento, transportando areia e poeira, exerce papel erosivo. A abrasão produzida pelo vento assemelha-se ao processo de jateamento e polimento com areia usada na indústria.

❖ Os Processos de transporte de sedimentos pelo vento

O início do transporte de areia da praia para o interior do continente se produz devido à força de fricção ou cisalhamento gerada quando o vento sopra sobre a superfície arenosa seca (GONÇALVES, 1997).

Ainda, segundo o referido autor, quando esta força ultrapassa um determinado valor (velocidade crítica), dependente, entre outros fatores, de forças coesivas intergranulares e do diâmetro médio da areia são detonados os deslocamentos dos grãos.

Desta forma, dependendo da força do vento e das características dos sedimentos, o transporte dos grãos de areia pode ser realizado por saltação, suspensão ou arraste superficial (tração).

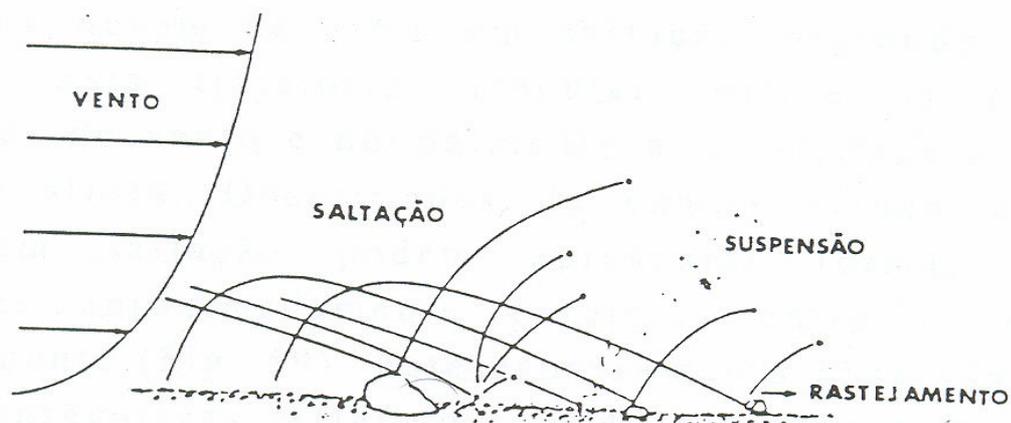


Figura 20 - Os principais mecanismos de transporte eólico.

Fonte: Greenley e Iversen, 1986 (apud GONÇALVES, 1997).

❖ O processo de sedimentação (registros deposicionais)

A carga arenosa transportada pelo vento é depositada a partir do momento em que ocorrer uma queda na velocidade do vento, que perde assim a competência necessária para manter a continuidade do processo de transporte (GONÇALVES, 1997).

A queda na referida velocidade do vento (diminuição da competência) pode ter sua origem na presença de fatores intervenientes e/ou obstáculos ao transporte eólico, ocasionando, assim, a deposição dos grãos de areia.

Os mecanismos básicos de deposição eólica, propostos por Fryberger e Schenk (apud GONÇALVES, 1997), foram denominados de:

I- deposição por queda livre de grãos: ocorre quando os grãos de areia em saltação penetram em zonas de separação de fluxo de ar (na face frontal das dunas ou após um obstáculo qualquer) fazendo com que o referido fluxo tenha um decréscimo acentuado de sua competência. Logo, nestes locais tem-se os sítios de deposição por queda livre;

II- deposição por avalanche: consiste em um processo de fluxo gravitacional desenvolvido na superfície de sotavento das dunas. Tal processo está associado ao ângulo de inclinação das faces frontais das dunas, que ao ultrapassar um limiar crítico de acumulação, faz com que a areia comece a fluir em forma de avalanches encosta abaixo;

III- deposição por migração e cavalgamento de marcas onduladas: ocorre a partir do transporte por saltação, rolamento e arraste superficial dos grãos de areia sobre superfícies deposicionais de interdunas e faces de barlavento e sotavento das dunas.

Existem vários tipos de depósitos de areias eólicas, sendo os mais importantes, em ambientes desérticos e, nas zonas costeiras, os lençóis de areia e as dunas. (Figura 21).

As dunas constituem as feições mais importantes entre os depósitos arenosos de um ambiente eólico (Suguio, 2003b), podendo constituir mares de areia³ (sand seas) ou campo de dunas⁴ (dune field).

³ Mares de areia ou “ergs” são extensas áreas de acumulação de areias eólicas, em superfícies mais ou menos planas, que se estendem por 10³ a 10⁶ km² (LANCASTER apud SUGUIO, 2003b).

⁴ Campo de dunas são áreas com acumulação de areias por atividade eólica com menor extensão, chegando no máximo a centenas de quilômetros quadrados (GLENNIE apud BARRETO, 1996).

3.3.3 Origem das dunas

A gênese dos depósitos eólicos (dunas) é interpretada como sendo controlada por um conjunto de fatores (forçantes), com áreas de abrangência e tempos diferentes, entre os quais se destacam:

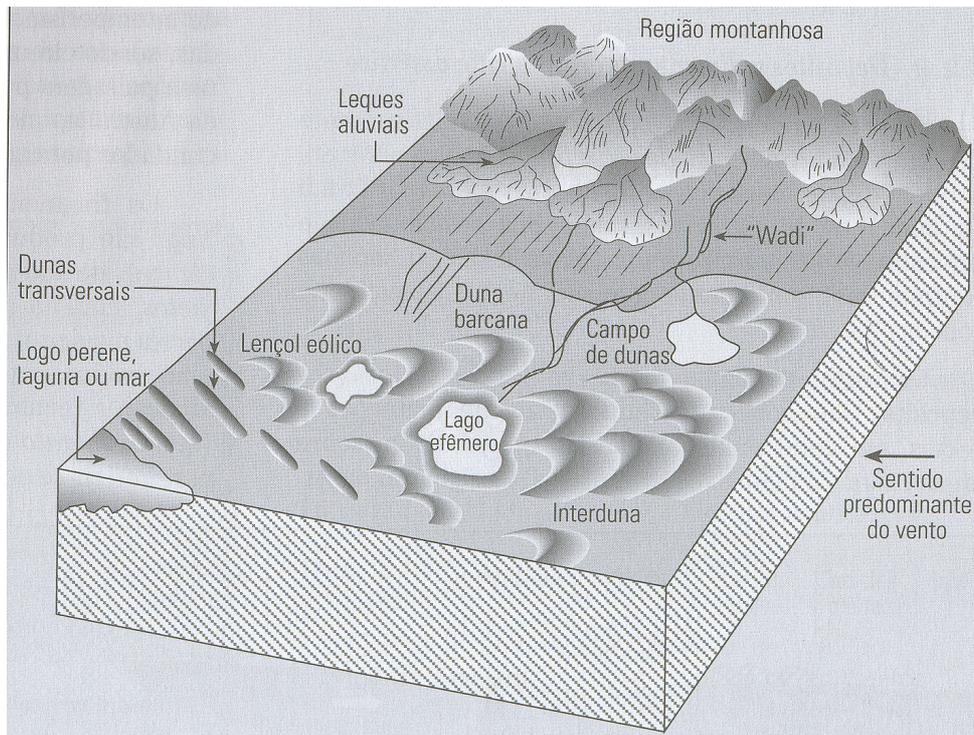


Figura 21 - Modelo deposicional hipotético de ambiente desértico, mostrando a distribuição espacial de vários subambientes, onde se percebe a dominação de processos eólicos (dunas e lençóis arenosos).

Fonte: Sneider et al. (1981), modificado. In: Suguio (2003b).

3.3.3.1 Arcabouço estrutural

Alguns fenômenos de magnitude planetária exercem influências sobre a morfologia das áreas costeiras. Dentre estes, tem-se os movimentos tectônico/ isostáticos e eustáticos. Assim, os movimentos entre as placas continentais e oceânicas determinam, inicialmente, o tipo geral de costa e a sua orientação quanto à exposição às ondas e correntes (VILLWOCK ; TOMAZELLI, 1995).

De acordo com Ruellan, (apud MUEHE, 1998, p. 275), os lineamentos estruturais (falhas e fraturas) resultantes das diversas fases de dobramento de fundo e atividade tectônica, não apenas condicionaram a fragmentação do bloco gondwânico, resultando na formação do

oceano Atlântico Sul, mas se mantiveram impressos no relevo pelo condicionamento da disposição da rede de drenagem e da direção da linha de costa.

Embora tenham ocorrido diferenças regionais no tocante a intensidade dos processos de evolução tectônica, a calma tectônica característica da margem brasileira (tipo passiva) possibilitou o aplainamento do embasamento e, conseqüentemente, o desenvolvimento de uma ampla planície costeira (VILLWOCK ; TOMAZELLI, 1995.).

Sobre a referida planície, ocorrem diversas formas de deposição de sedimentos, onde se destacam as dunas que em alguns casos podem ter a sua origem favorecida pelo direcionamento da franja costeira, transversalmente posicionada quanto à direção de ventos e ondas, propiciando, desta maneira, a retenção dos sedimentos necessários à alimentação dos campos de dunas. De acordo com Kocurek et al. (apud BARBOSA, 1997, p.128), o desenvolvimento de dunas costeiras é mais substancial quando os ventos incidem normais ou perpendiculares à orientação da linha de costa. Em estudo realizado na desembocadura do rio São Francisco, Barbosa (1997) constatou a diferenciação no tocante ao desenvolvimento das formas eólicas, devido as diferentes orientações da linha de costa em relação à incidência dos ventos de NE,E,SE e S. Ainda nesta linha de raciocínio, os trabalhos desenvolvidos por Gonçalves (1997) e Gonçalves et al. (2005) destacam a importância da orientação da linha de costa existente nos Lençóis Maranhenses como mais uma variável responsável pela ocorrência do maior campo de dunas transgressivas do país.

3.3.3.2 Oscilação do nível do mar, condições paleoclimáticas e disponibilidade de sedimentos

As variações paleoclimáticas e as mudanças do nível relativo do mar (NRM) também desempenharam um papel importantíssimo na evolução das áreas costeiras (Suguio et al, 1985; Suguio, 2003).

Assim, no decorrer dos últimos dois milhões de anos ocorreram alternâncias cíclicas de períodos frios e quentes, os quais deram origem aos estágios glaciais e interglaciais. Durante esses períodos, tanto a formação quanto a expansão e o derretimento das geleiras foram responsáveis por movimentos isostáticos (positivos ou negativos) dos blocos continentais, os quais também causaram oscilações do nível relativo do mar.

No que se refere às variações do NRM ao longo do litoral brasileiro, Suguio (2001) apresenta uma minuciosa discussão sobre estas variações, dando ênfase ao ocorrido durante o Quaternário Superior (nos últimos 7.000 anos), abordando suas conseqüências na sedimentação costeira. Em síntese, independentemente das causas, o referido autor conclui

que a maior parte do litoral brasileiro esteve submetida a um processo progressivo de submersão até aproximadamente 5.100 anos AP, após o que o litoral foi submetido a um processo de emersão que perdura até os nossos dias, com um abaixamento médio do nível relativo do mar de até 5 metros.

Desta maneira, esta fase regressiva é a responsável pelo surgimento da maior parte das planícies costeiras holocênicas existentes ao longo da margem continental brasileira.

Nas planícies costeiras os depósitos eólicos representam parcela significativa do registro estratigráfico. Entretanto, quando da explicação da sua gênese, muito destaque tem sido dado apenas às variáveis climáticas. Contudo, nas últimas décadas, alguns autores vêm associando o desenvolvimento destes sistemas eólicos quaternários tanto à queda do NRM, quanto à sua ascensão (SAWAKUCHI et al., 2003). Ainda no entender dos referidos autores, na primeira situação, os sistemas eólicos seriam originados pelo retrabalhamento dos sedimentos da plataforma continental interna, expostos durante a regressão. Contudo, nestas condições a permanência dos sistemas eólicos por longo tempo é considerada improvável, pois a exposição dos sedimentos acima do nível da maré alta possibilitaria sua estabilização por cimentação precoce, pedogênese ou pela vegetação.

A formação dos sistemas eólicos com o NRM em ascensão, conforme Pye e Bowkuchi et al. (2003), Giannini e Santos (1994), também citados por Sawakuchi et al. (2003), induziria a erosão costeira para restabelecer o perfil de equilíbrio da superfície deposicional. Assim, sob regime de ventos e velocidade limiar de transporte dos grãos inferior à velocidade dos ventos incidentes, os sedimentos em desequilíbrio sobre a praia seriam deslocados em direção ao continente, possibilitando o surgimento dos campos de dunas.

Durante a fase de desaceleração da subida do NRM, tem-se o acúmulo de sedimentos nas porções marginais da plataforma, os quais podem alimentar o campo de dunas costeiras (SAWAKUCHI et al., 2003). Embora ocorram explicações diferenciadas, no que diz respeito ao surgimento e a manutenção dos campos de dunas e no tocante a subida e/ou descida do NRM, o desenvolvimento destes sistemas eólicos costeiros, para vários autores, dentre os quais Gonçalves (1997), Castro (2001), Sawakuchi et al. (2003), depende tanto dos aspectos climáticos, para o transporte eólico, quanto do nível do mar, considerado um dos principais condicionantes da disponibilidade de sedimentos para o referido transporte.

Em síntese, a disponibilidade de sedimentos na plataforma continental está associada tanto a climas pretéritos e atuais (com a ocorrência de períodos em que se teria uma intensificação dos processos erosivos e o conseqüente carreamento dos sedimentos, em direção à plataforma interna rasa, pela drenagem continental), quanto pelas sucessivas

transgressões e regressões ocorridas, responsáveis pela erosão, em especial, da Formação Barreiras ao longo do litoral brasileiro.

3.3.3.3 Ação das ondas e correntes longitudinais

A principal variável indutora dos processos costeiros de curto e médio prazo, segundo Muehe (1998), diz respeito ao clima de ondas, responsável tanto pelo transporte de sedimentos no sentido longitudinal, quanto transversal à linha de costa.

Na zona litorânea o transporte de sedimentos é quase sempre dominado pelo transporte em suspensão, em função dos altos níveis de turbulência causados pela arrebentação das ondas (CASTRO, 2001).

A direção, velocidade e volume de transporte de sedimentos paralelamente à praia (deriva litorânea), dependem da obliquidade de incidência das ondas. De acordo com Muehe (1998), com ângulos superiores a 5° a velocidade da corrente longitudinal torna-se bastante eficiente. Esta corrente, associada ao movimento em zigue-zague das areias (swash transport) formado pelo espraiamento e refluxo das ondas, de acordo com a direção de mergulho da face da praia, constitui o principal agente responsável pelo transporte de sedimentos. Assim, estas areias serão transportadas até encontrarem armadilhas ou obstáculos (desembocadura fluvial, espigões artificiais) ao longo da costa que interromperão ou diminuirão a capacidade de transporte do sistema de correntes longitudinais.

Em consequência, da interrupção da deriva litorânea, as linhas costeiras a barlar dos obstáculos serão submetidas à rápida progradação, enquanto a sotamar serão erodidas, causando acelerada retrogradação.

Em síntese, as flutuações do nível relativo do mar e o transporte longitudinal das areias, associados com as mudanças paleoclimáticas, controlaram a construção da planície costeira brasileira, de acordo com o modelo evolutivo mais completo estabelecido para costa do estado da Bahia (DOMINGUEZ et al., 1981 apud SUGUIO, 1999), válido também, com algumas adaptações, para outros trechos do litoral do nosso país.

3.3.3.4 As variações de amplitudes das marés

O regime de marés constitui-se num outro fator determinante da geomorfologia das áreas costeiras (HAYES, 1975).

No tocante às marés astronômicas, as correntes que se estabelecem entre os períodos de baixa-mar e preamar somente são significativas em termos de transporte de

sedimentos em costas baixas e com marés de elevadas amplitudes (VILLWOCK, 1994). Além do significativo transporte de sedimentos pelas correntes de marés em áreas macrotidais (amplitude de maré > 4m) outro aspecto importante diz respeito à exposição do estirâncio (praia) aos agentes climáticos (temperatura e vento). Nestas áreas, durante a baixa-mar, a arrebentação das ondas ocorre a uma distância de várias centenas de metros da linha de costa. Nesta situação, os litorais apresentam uma praia mais larga, o que aumenta a pista (“fetch”) submetida à deflação. Segundo Castro (2001), isto possibilita um significativo carreamento de sedimentos na direção perpendicular à praia e, conseqüentemente, na possibilidade do desenvolvimento dos depósitos eólicos. Assim, constata-se que quanto mais larga for a praia, maior disponibilidade de sedimentos encontrar-se-á para atuação dos ventos.

3.3.3.5 Ventos

Os ventos são os grandes responsáveis pela dinâmica costeira, sejam dando origem às ondas e, conseqüentemente, às correntes litorâneas, assim como mobilizando os sedimentos arenosos disponíveis no litoral em direção a interior dando origem aos campos de dunas (WILLWOCK et al. 2005).

Dessa maneira, a origem e evolução dos depósitos eólicos costeiros, segundo Castro (2001), dependem dos processos básicos (erosão, transporte e deposição) pelos quais o vento, soprando sobre a praia (na baixa-mar), consegue remover a areia de sua superfície transportando-a em direção ao continente, formando assim as dunas. Quanto ao mecanismo de transporte pelo vento, este pode ser realizado por fluxo turbulento ou laminar (PARTELI, 2007). No entanto, a atividade geológica mais comum dos ventos resulta quase sempre do fluxo turbulento, como explicitado por Sigolo (2000). Esse movimento na interpretação de Ottmann (1965) é muito importante para as dunas, pois são eles que transportarão em suspensão as areias de uma crista para a outra.

A manutenção de um fluxo de sedimentos eólicos constantes o suficiente para a formação de campos de dunas, no entender de Sawakuchi et al. (2003), depende da interação das seguintes variáveis: dos sedimentos disponíveis encontrarem-se incoesos, de que a velocidade do vento atuante seja maior que a velocidade limiar de transporte dos grãos, que a distribuição granulométrica apresente quantidade significativa de grãos com diâmetros semelhantes, presença de baixa umidade dos grãos e manutenção do transporte eólico por certo período de tempo (ventos constantes). Tais requisitos são considerados também

importantíssimos nos trabalhos de Bagnold (1941), Ottmann (1965), Reineck e Singh, (1980) e Castro (2001).

3.3.3.6 Variação do lençol freático

O afloramento do lençol freático ocasiona uma maior umidade dos sedimentos arenosos fazendo com que o transporte dos mesmos seja diminuído, ou até mesmo interrompido, durante determinado período ao longo do ano.

Em virtude das significativas precipitações com a conseqüente elevação do nível do lençol freático é comum, ao longo dos campos de dunas do litoral brasileiro, a presença de lagoas, inclusive lagoas interdunares. A presença destas lagoas, assim como a proliferação das gramíneas e a umidificação da planície de deflação (lençóis de areias), reduzem significativamente tanto a alimentação de sedimentos, quanto a migração e a morfologia das dunas costeiras.

3.3.3.7 Tipo de praia

A formação dos depósitos eólicos depende do transporte dos sedimentos existentes na praia, os quais são transportados em direção ao continente. Logo, o tipo de praia, de acordo com o esquema morfodinâmico de classificação praias proposto por Wright e Short (1984), em estados dissipativo, refletivo e intermediário indica ser o estado dissipativo caracterizado pela larga zona de “surf”, baixo gradiente topográfico e elevado estoque de areia. Tais condições se apresentam como as melhores no tocante à formação dos campos de dunas, a exemplo do que ocorre, em vários locais, no litoral brasileiro. Além destas variáveis, a vegetação também pode interferir significativamente na dinâmica dos campos de dunas. Tal atuação se traduz, basicamente, no estabelecimento de condições propícias à deposição de parte da carga arenosa transportada pelo vento proveniente da praia adjacente (Tomazelli, 1994). A vegetação contribui para a origem e desenvolvimento das dunas quando a nuvem dos grãos de areia em saltação, oriunda da praia, encontra algum obstáculo (latas, garrafas, núcleo de vegetação, etc.), ocorrendo, a sotavento destes, as condições adequadas ao acúmulo de uma parte dos sedimentos carregados pelo vento, ocasionando a formação de formas alongadas, identificadas como dunas de sombra (shadow dunes).

Outra situação diz respeito a existência de uma altura, convencionalmente designada de Zo, abaixo da qual o ar se mantém parado, independentemente da velocidade do vento, devido à rugosidade do terreno (TOMAZELLI, 1990).

Assim, quando a cobertura vegetal aumenta a rugosidade aerodinâmica, mesmo os ventos de maior velocidade não conseguem iniciar o processo de transporte dos grãos de areia que se encontram nas áreas vegetadas, a exemplo do que ocorre nas planícies de deflação eólicas com presença de gramíneas.

3.4 CLASSIFICAÇÕES DE DUNAS COSTEIRAS

Os depósitos eólicos característicos de ambientes desérticos e costeiros apresentam uma série de morfologias comuns e específicas. Várias são as propostas de classificação existentes cujos critérios baseiam-se tanto em aspectos genéticos quanto descritivos. Tal fato tem ocasionado algumas confusões no emprego da vasta nomenclatura, como observado no “First Brazilian Symposium on Dunes Systems/ International Symposium on Coastal Dunes”, realizado em agosto de 2005, na cidade de Fortaleza-CE.

Tal situação vem suscitando, desde a década de 40, a tentativa de uma padronização, ou seja, a classificação das feições e formas mais comuns em ambientes costeiros e desérticos. Entre as classificações dos diferentes depósitos eólicos mais conhecidas (especialmente dunas), têm-se as de Bagnold (1941), Wilson (1972), Mabbut (1977), Goldsmith (1977), McKee (1979), Tinley (1985), Pye e Tsoar (1990), Hesp (2000). Dentre estas, uma das classificações mais aceitas e adotadas pela comunidade científica, a qual se fundamenta nos aspectos morfológicos e na organização interna dos corpos de areia, é a de McKee (1979), conforme demonstrado no Anexo A.

3.4.1 Principais tipos de depósitos eólicos

Apesar das diferentes classificações (relacionadas às dunas ativas, semi-fixas, fixas e demais depósitos eólicos) apresentarem grande variedade de terminologias, tem-se atualmente uma concordância na aceitação de tipos básicos tais como: lençóis de areia, dunas barcanas, barcanóides, longitudinais, transversais, blowouts, dunas nebkhas, de sombra, parabólicas, cadeias de parabólicas e frontais, (comuns ao longo do litoral brasileiro), as quais serão descritas a seguir.

❖ Lençóis de areia (sand sheet)

Os lençóis de areia, segundo Gonçalves (1997), correspondem a feições eólicas mantiformes definidas pela forma caracteristicamente planar em quase toda sua extensão, orientadas segundo o sentido dos ventos dominantes. Essas feições podem ser descritas como uma superfície arenosa com relevo negligenciável, avançando em manto para o interior do campo de dunas (BARBOSA, 1997), sem apresentar face de deslizamento (McKEE, 1979), as quais podem apresentar montículos vegetados (nebkhas) e/ou dunas de sombra. Devido à sua elevada dinâmica, estes lençóis constituem depósitos de caráter efêmero, em termos de tempo de residência da areia, podendo assim ser considerados como uma zona de alimentação ou principalmente de passagem das areias (FRYBERGER et al. apud GONÇALVES et al. 2003). Quanto à localização, os mantos de areia podem se desenvolver em qualquer parte do campo eólico; entretanto, sua ocorrência mais comum é próxima às praias (TOMAZELLI, 1994). De acordo com Giannini et al (2005), os lençóis de areia constituem uma importante feição eólica que permite ao campo de dunas livres continuar recebendo suprimento de areia nova oriunda da fonte, a praia. Essa feição, conforme os citados autores, evita ou retardam o desaparecimento gradativo do campo de dunas móveis, que inevitavelmente passa a ocorrer quando a fonte de alimentação é cancelada.

3.4.2 Dunas ativas

As dunas ativas, denominadas de móveis ou livres, são as que apresentam a maior mobilidade nas áreas desérticas e costeiras. As mesmas apresentam um número significativo de formas em decorrência, dentre outros fatores, da disponibilidade de sedimentos incoesos, da competência (velocidade) e direção dos ventos incidentes.

Dentre as principais formas encontradas em diferentes sistemas eólicos, ao nível global, tem-se:

❖ Dunas barcanas

As dunas barcanas (Figura 22) apresentam-se em forma de lua crescente, com o lado convexo dirigido para o vento (Suguió, 1992), onde a face de barlavento (convexa) inclina-se suavemente, enquanto a face de sotavento (côncava) apresenta-se íngreme (declive

abrupto). Nesta face íngreme de deslizamento ocorrem avalanches de areia que mantêm a estabilidade da forma e a mobilidade da duna (PARTELI et al., 2005).

De acordo com McKee (1979), as barcanas são formas crescentes sob ação dos ventos unidirecionais. Apresentam apenas uma face de deslizamento (slipface).

No entanto, estudos realizados por Tsoar (1984, apud CASTRO, 2001) apresentam outra idéia, afirmando que as dunas barcanas são variavelmente afetadas pelos ventos secundários ou oblíquos.

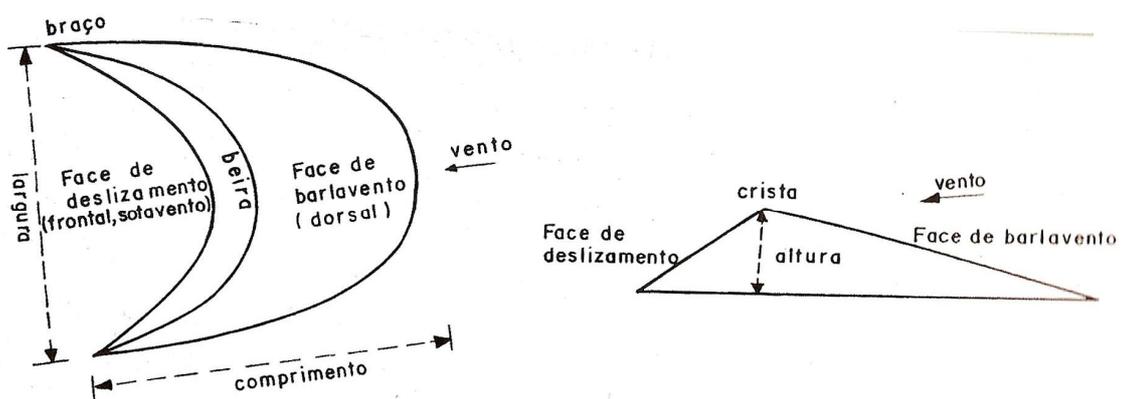


Figura 22 - Duna barcana embrionária e seus elementos geométricos

Fonte: Gonçalves, 1997.

Por ser considerada com uma forma geométrica quase perfeita, estudos sobre as relações morfológicas entre altura e largura, realizados por Hesp e Hastings (1998) no deserto

da Namíbia, revelaram que a altura de uma barcana é de aproximadamente 1/10 de sua largura.

Tal informação, de acordo com Dias (2005), torna bem mais prática as atividades de campo, uma vez que a obtenção de uma medida possibilita a obtenção do valor aproximado da outra, podendo esse valor ser utilizado quando dos cálculos para se estimar as taxas de transporte de sedimentos em uma determinada área.

❖ Cadeias barcanóides

O desenvolvimento destas formas (Figura 23) é resultante da união lateral de dunas barcanas. Quando há um maior fornecimento de areia, o espaçamento lateral entre as barcanas decresce, e estas podem se juntar formando seqüências de cadeias onduladas alinhadas perpendicularmente à direção do vento. Conforme Mckee (1979), as dunas barcanóides desenvolvem-se sob as mesmas condições de vento unidirecional das barcanas e que de acordo com a quantidade de sedimentos existente podem assumir variadas dimensões.

Em estudos realizados por Gonçalves (1997) e Castro (2001), ambos constataram que as dunas barcanóides vão crescendo à medida que se afastam da zona próxima à praia em direção ao interior do continente. Paralelamente ao seu crescimento, sua velocidade de migração diminui significativamente, fenômeno que pode promover a superposição de cadeias barcanóides simples originando as cadeias barcanóides complexas (GONÇALVES et al., 2003).

❖ Dunas longitudinais (Linear)

Este tipo de duna ocorre quando ventos mais fortes, de uma só direção movem areia fina e grossa paralelamente ao curso do vento (LANCASTER, 1981 apud CASTRO, 2001). Em muitos casos, esse tipo de duna produz feições morfológicas similares a “cordões de areias” (SÍGOLO, 2000).

De acordo com McKEE (1979), as dunas longitudinais se caracterizam pela forma de cordões simétricos e que apresentam duas faces de deslizamento. Ainda segundo o autor esta feição longitudinal pode ser subdividida em formas: **simples** as quais são parcialmente cobertas por vegetação e pelas formas **compostas e complexas** que são na maioria dos casos megacordões destituídos de vegetação.

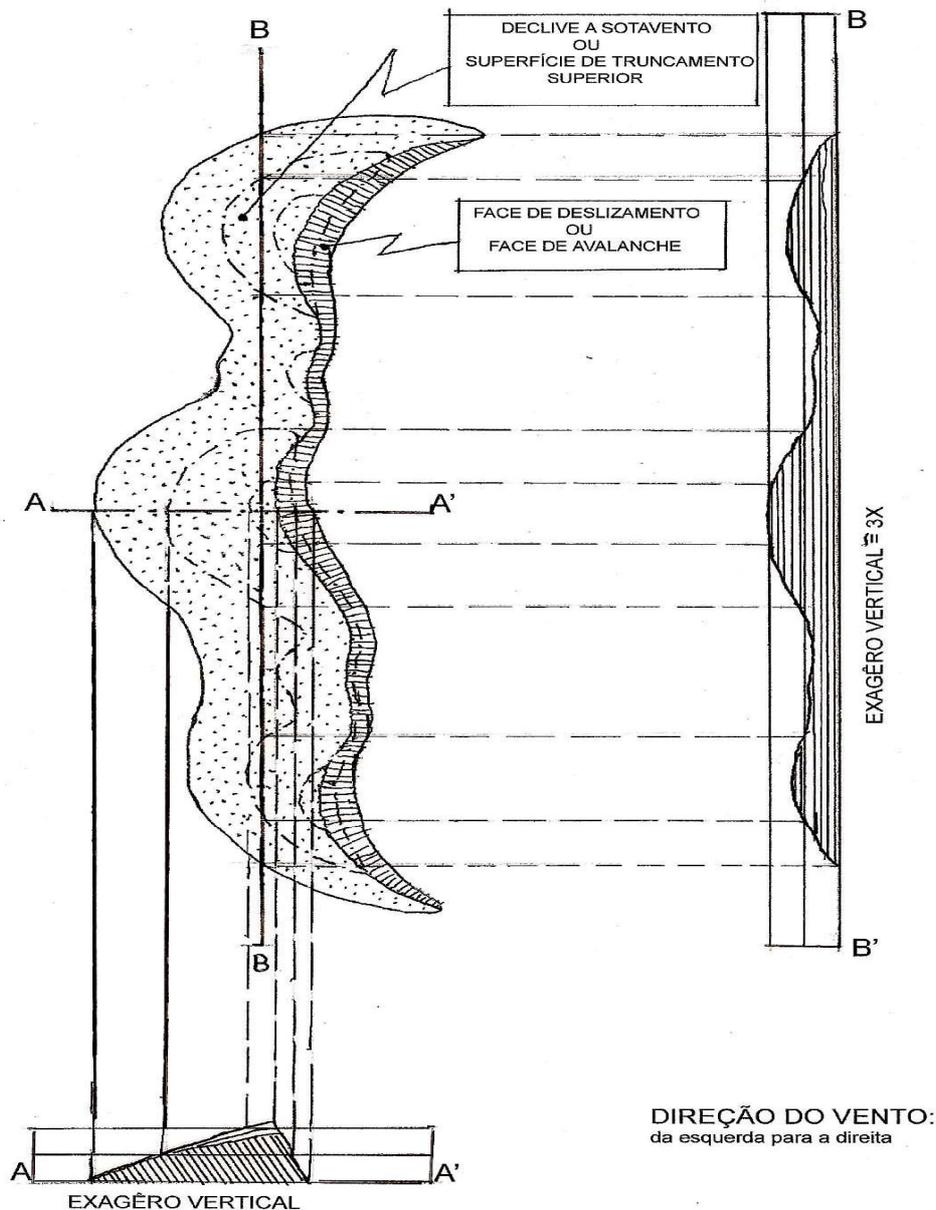


Figura 23 – Duna barcanóide e respectivas faces de deslizamento

Fonte: Medeiros et al., 1971.

❖ Dunas transversais

São representadas por corpos arenosos de cristas retas ou ligeiramente curvas, alinhadas perpendicularmente à direção dos ventos dominantes (BRANCO et al., 2003).

Ainda de acordo com os autores supracitados, as referidas dunas correspondem a um estágio evolutivo dos sistemas barcanóides, com uma redução no número de cristas. As regiões litorâneas constituem ambiente propício para a formação das dunas transversais, devido à velocidade constante dos ventos associada à abundância dos grãos de areia. As

referidas dunas, segundo MCKEE (1979), apresentam-se como cordões assimétricos com apenas uma face de deslizamento.

❖ Blowouts

Carter (1990) explica que o termo “blowout” geralmente é utilizado para designar uma cavidade, depressão, buraco ou baixada no interior de um campo de dunas. Os blowouts correspondem a feições de deflações presentes nas superfícies das dunas ativas, caracterizadas por verdadeiros “corredores de erosão” (BRANCO et al., 2003). A deflação ocasionada pelo aumento da velocidade dos ventos pode formar depressões nas planícies de deflação dando origem a pequenas lagoas, como também depressões nas dunas móveis.

Além destes tipos, têm-se, também de acordo com McKEE (1979), as dunas reversas, em que a atuação dos ventos ocorre em sentido contrário, dando origem a um cordão assimétrico com duas faces de deslizamento.

As dunas estrela, não são conhecidas na América do Sul e sua formação está relacionada à presença de areia abundante e a ventos constantes, porém com variações de direção (pelo menos três direções), conforme Sigolo (2000). Estas dunas caracterizam-se pela presença de três ou mais faces de deslizamento, a partir de um ponto central, aparentando assim a forma de uma estrela.

3.4.3 Dunas semi-fixas

As dunas semi-fixas apresentam uma pequena mobilidade, se comparadas às dunas livres. Encontram-se quase sempre associadas à vegetação de estrato herbáceo, apresentando pequenas dimensões. São geralmente bastante recentes e encontram-se próximas às praias (pós-praia) e/ou desembocaduras dos rios.

❖ Dunas nebkhas

Correspondem a pequenos montículos de areia formados por deposição eólica em meio à vegetação. São desenvolvidas devido à presença de pequenos tufos de vegetação do tipo juncal e/ou gramíneas sobre a superfície arenosa sobre a qual o vento incide (GONÇALVES, 1997).

❖ Dunas de sombra (shadow dunes)

Essas dunas, assim como os nebkhas, também são formadas pela presença de tufos de vegetação. Todavia, o que as diferencia da anterior é a presença da cauda afunilada (alongada) no sentido do vento dominante (GIANNINI et al., 2005).

O vento, ao deparar-se com um obstáculo (núcleo de vegetação), é alvo de acentuada modificação de seu padrão de fluxo original, formando fluxos secundários que contornam o obstáculo e após se reunindo novamente (HESP, 1981 apud GONÇALVES et al., 2003). Finalmente, segundo o citado autor o encontro dos fluxos constitui uma região de grande deposição de areia, originando assim as dunas de sombra.

3.4.4 Dunas fixas

As dunas fixas ou inativas encontram-se geralmente recobertas por vegetação de porte arbustivo e/ou arbóreo. São normalmente mais antigas e localizam-se em posições mais interiorizadas, a sotavento das dunas móveis.

❖ Dunas parabólicas

Estas dunas apresentam-se com forma semelhante a uma parábola, com o lado côncavo dirigido para o vento (Suguió, 1992). Sua forma característica pode variar de “U” ou “V”. De acordo com McKee (1979), estas dunas podem apresentar uma ou mais faces de deslizamento e são aparentemente controladas mais pela presença de vegetação e umidade (nível freático) do que pela força e direção do vento. A origem dessas dunas está ligada ao aprisionamento dos braços das barcanas pela vegetação ou umidade (período chuvoso). Após este aprisionamento o lado convexo da barcana se inverte, transformando-se no lado côncavo da parabólica (GONÇALVES et al, 2003).

Conforme Pye (1993), Barreto (1997) e Gianinni et al. (2005), as dunas parabólicas podem ter geometria simples ou composta. As simples correspondem às dunas isoladas em forma de “U” conhecida na literatura como “hairpin” (grampo de cabelo). As compostas nidiformes são dunas conjugadas ou amalgamadas que, segundo Barbosa (1997), apresentam-se como um “U” aberto, sendo que entre os braços aninham-se dunas parabólicas menores que, por vezes, mostram cavalgamento sobre o braço da forma maior. As compostas em forma de ancinho são formas em “U” aberto, seguidas por vários braços secundários (Figura 24).

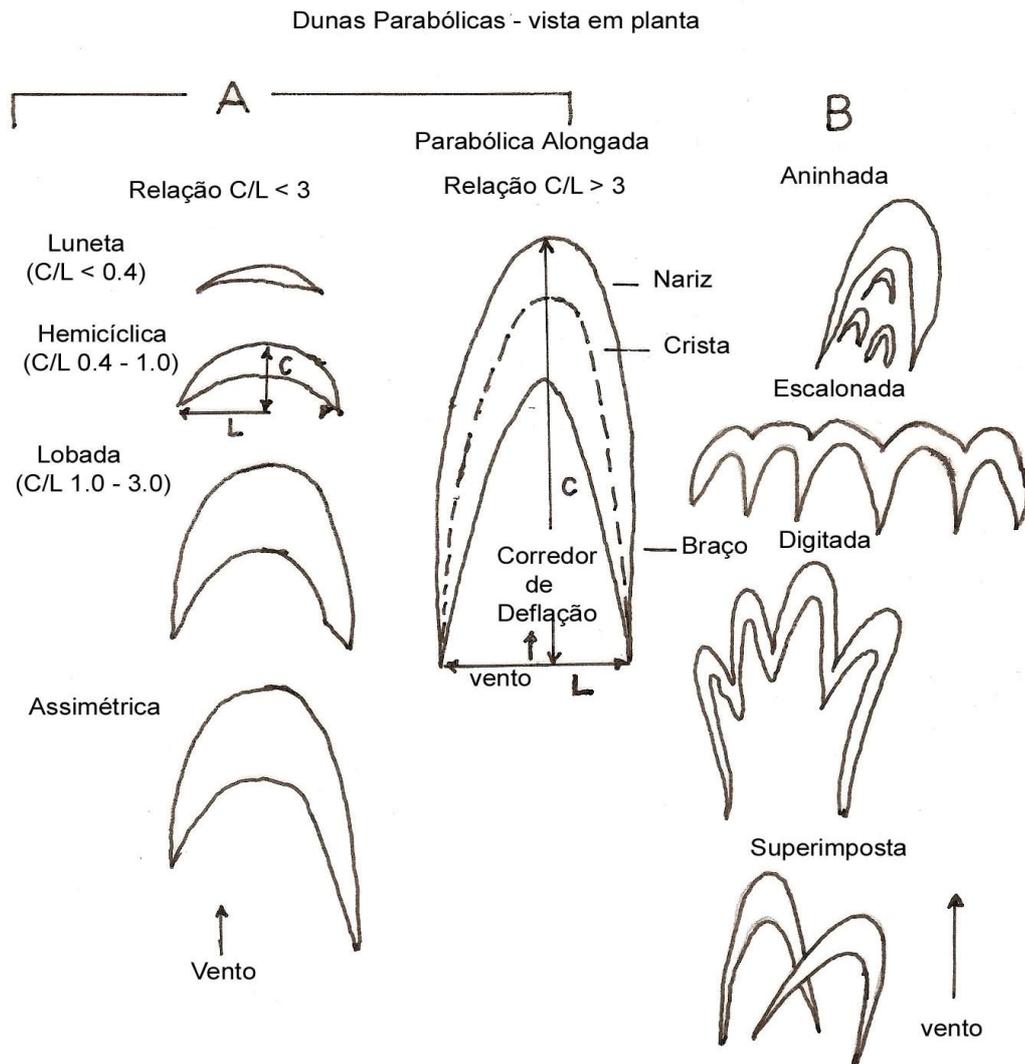


Figura 24 – Variações na morfologia de dunas parabólicas (A) Dunas simples (B) Dunas compostas.

Fonte: Modificado de Pye (1993) por Barreto (1996).

❖ Dunas frontais

As dunas frontais são descritas na bibliografia nacional e internacional sob diversas designações: dunas barreira, dunas-cordão, dunas bordejantes e foredune, termo introduzido por Bigarella na década de 70 (apud GIANNINI et al., 2005), e traduzido para o português como anteduna, dunas embrionárias, cristas de retenção, cristas de praia, cordões de dunas paralelas e dunas transversais (HESP, 2002).

Estas dunas constituem um cordão arenoso que se desenvolve paralelo à linha de praia (na zona de pós-praia) e apresenta uma relação geométrica característica em que as dimensões (comprimento e altura) são pequenas em relação a sua largura (BRANCO et al., 2003). A densidade da cobertura vegetal varia conforme as condições climáticas locais.

Quanto à localização, as dunas frontais podem ser encontradas ao longo da zona costeira, mais especificamente na zona de pós-praia (praias em mar aberto), embora também ocorram no interior de baías semi-fechadas, estuários, lagos, lagoas e lagoas (ZENKOVICH; GOLDSMITH; NORDSTROM apud HESP, 2002).

3.4.5 Estudos sobre dunas costeiras no Brasil

Os depósitos eólicos brasileiros são classificados como campos de dunas livres e/ou dunas vegetadas. Os campos de dunas costeiras (livres ou móveis), também, conhecidos como transgressivos (Figura 25), são encontrados em quatro áreas principais: I) dos Lençóis Maranhenses ao extremo sul do Rio Grande do Norte; II) nas proximidades da desembocadura do rio São Francisco; III) na região de Cabo Frio; e IV) entre a Ilha de Santa Catarina e o extremo sul do Rio Grande do Sul (GIANNINI et al. 2005). Os campos de dunas fixas ou inativas têm sido descritas em associação com a maioria dos campos de dunas transgressivos em nosso país.

As pesquisas sobre as dunas ao longo da planície costeira brasileira são relativamente recentes, de acordo com levantamentos efetuados por Barbosa (1997) e Castro (2001). De acordo com estes autores, a maioria dos estudos foi desenvolvido nas regiões nordeste, sudeste e sul. As publicações de Bigarella (1971), Bigarella (1972), McKee e Bigarella (1972) e Bigarella (1979) referentes aos campos de dunas da região sul, enfocando a morfometria e a descrição da geometria interna das dunas, objetivando a comparação com sistemas eólicos antigos é, de acordo com Barbosa (1997) uma importante contribuição sobre a referida temática.

A partir da década de 90 vários trabalhos começam a ser publicados, a exemplo das teses de doutorado de Tomazelli (1990), Barreto (1996), Barbosa (1997), Feitosa (1997), Maia (1998), Castro (2001) e as dissertações de Ribeiro (2000), Silva (2002), Carvalho (2003), Dias (2005) sobre a dinâmica e evolução dos sistemas eólicos em diferentes setores da planície costeira de nosso país.

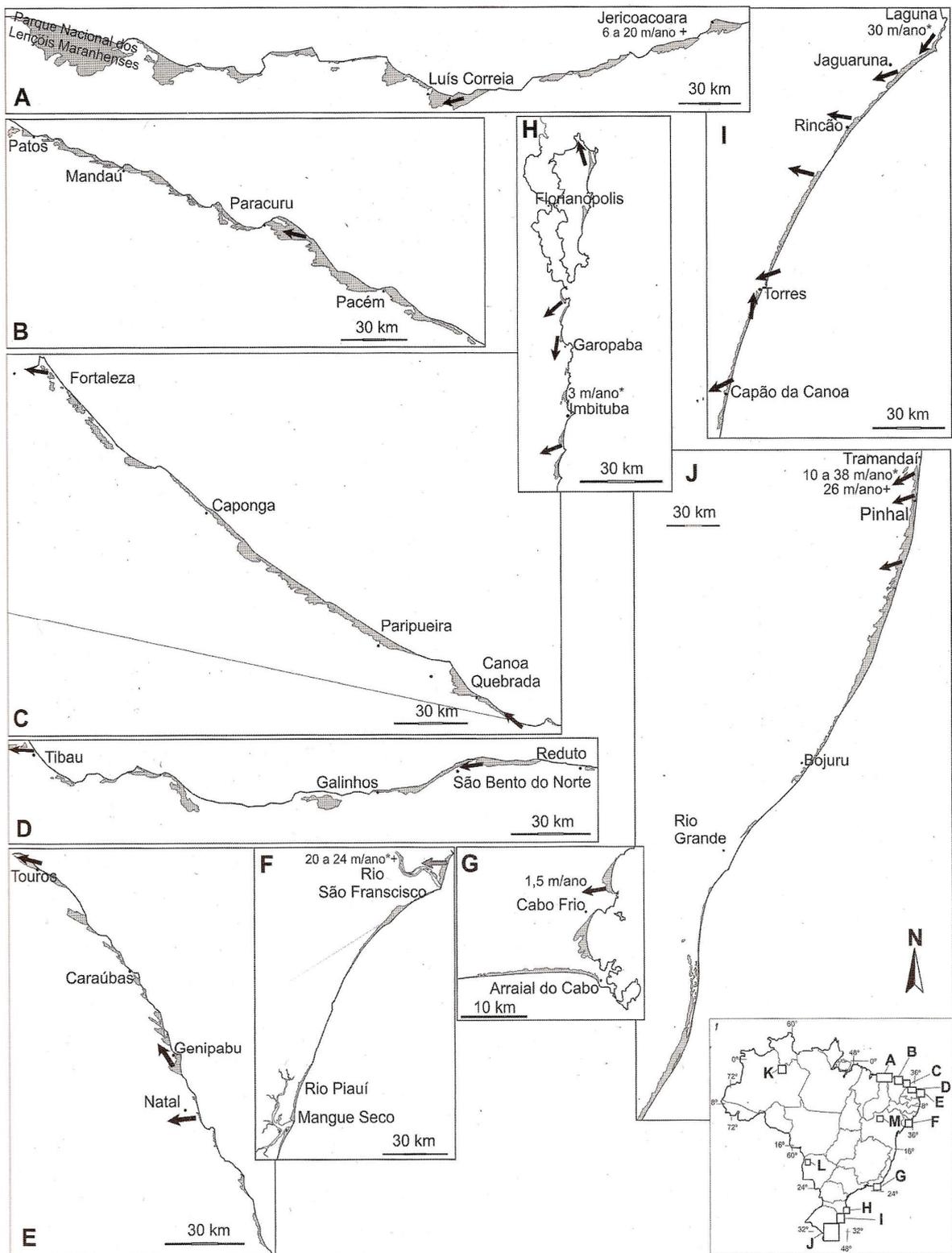


Figura 25 – Distribuição dos principais campos de dunas transgressivos ativos (em cinza) e campos de dunas interiores estabilizados (áreas K, L, e M) do Brasil.

Fonte: Giannini et al., 2005

Resultados de estudos com diferentes enfoques sobre os campos de dunas, ativos e inativos do Brasil têm sido periodicamente publicados em diferentes revistas técnicas e anais de eventos científicos a exemplo dos anais do Simpósio Brasileiro de Geomorfologia e Geografia Física Aplicada e dos Congressos Brasileiros de Geologia e da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, conforme alguns exemplos destacados nos Quadros 03 e 04.

Especificamente em relação à determinação das taxas de migração de dunas, alguns pesquisadores têm utilizado diferentes formas de mensuração desse processo.

Nesta perspectiva, segundo Carvalho et al. (2006, p. 45)

As metodologias utilizadas envolvem medidas indiretas, através de técnicas de sensoriamento remoto, medições diretas, realizadas em campo, usando como referência as marcas produzidas pelo deslocamento de dunas, além do monitoramento da movimentação de dunas a partir de pontos de amarração, sejam naturais ou implantados em campo.

Dessa maneira, vários estudos vêm sendo realizados ao longo da área costeira brasileira com a utilização de imagens suborbitais e mais recentemente as orbitais de alta resolução. As medidas indiretas obtidas a partir da utilização de fotografias aéreas verticais, de diferentes anos, são reconhecidamente úteis na determinação da taxa de migração e/ou retração das dunas, como observado nos trabalhos de McKee e Douglas (1971) e Tomazelli (1993), tendo sido empregadas com significativo sucesso nas pesquisas desenvolvidas por Tomazelli (1990), Fortes (1992), Santos (1996), Gonçalves (1997), Rodrigues et al. (1999), Castro (2001; 2004), Garcia et al. (2001), Dias (2005), Rangel (2005), Santos (2006), Dias et al. (2007), Bispo et al. (2007), dentre outros.

As medições diretas, através da utilização de estacas e levantamentos topográficos das formas eólicas também são bastante utilizadas em vários estudos a exemplo de Tomazelli (1993), Barbosa (1997), Rodrigues e Meireles et al. (apud CARVALHO, 2006), Bispo et al. (2007). Vale destacar que devido à existência de fotografias aéreas em instituições federais, estaduais e municipais, de diferentes épocas e com alta resolução, associadas a boa precisão e aos baixos custos da implantação dos marcos em campo, até os dias de hoje (Quadro 05) essas duas técnicas de análise são bastante utilizadas.

Quadro 03 – Exemplos de pesquisas realizadas em ambiente sedimentar eólico na zona costeira brasileira (período: 1999-2003).

Título do trabalho	Autor / Ano	Objetivos	Resultados alcançados
*Dunas costeiras da região de Parajuru, município de Beberibe, Ceará.	GOMES, D. F. et al. (1999)	Identificar e delimitar diferentes formas de dunas da região de Parajuru, município de Beberibe, Ceará.	Foram identificadas diferentes formas de dunas (barconóides, barcanas, transversais e as dunas de sombras). O estudo dos depósitos dunares revelou a presença de duas gerações de dunas, uma mais antiga caracterizada pela cobertura vegetal e, por vezes, com desenvolvimento de solo, recobrando os sedimentos da Formação Barreiras, nas formas barcana e transversal, e outra de dunas atuais caracterizada pela mobilidade dos sedimentos estendendo-se ao longo da linha de costa.
*Taxa de migração e transporte eólico nas dunas da região do Cauípe- Costa oeste do estado do Ceará.	RODRIGUES, A. C. B. et al. (1999)	Estudar os depósitos eólicos, uma vez que a região apresenta um significativo campo de dunas ativas que migra para o interior provocando diversos impactos ambientais.	Foi determinada a taxa de migração das dunas na região através de duas técnicas de medidas: uso de fotografias aéreas multitemporais de 1958 e 1987, constatando que a taxa média de migração das dunas foi em torno de 5 a 11m/ano, em 29 anos; a outra técnica empregada foi a realização de medidas através de um ponto de controle (bench mark), que mostrou um avanço das dunas entre 0,7 a 1,2 m, no período de três meses, produzindo uma taxa de transporte anual entre 13 a 23 m ³ /m.
* Campo de dunas inativas do médio rio São Francisco, BA: marcante registro de ambiente desértico do Quaternário brasileiro.	BARRETO, A. M. F. et al. (2002)	Caracterizar cinco domínios geomorfológicos de distintas gerações de dunas eólicas.	Através de estudos geomorfológicos e sedimentológicos foram reconhecidos 5 domínios geomorfológicos (fluvial, lençóis de areia, dunas dissipadas, dunas com morfologia nítida e com morfologia tênue nítida) resultantes da época de sedimentação e das modificações pós-deposicionais que pode abranger mais de uma fase de geração de dunas.
* O Sistema de dunas eólicas transgressivas do litoral do Rio Grande do Sul: situação atual e definição de áreas prioritárias à preservação.	TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G. e ESTRIM, J. (2003)	Identificar cinco campos eólicos residuais, sugerindo uma ordem prioritária de preservação em função das características próprias de cada campo.	A análise do sistema eólico costeiro da área estudada permitiu reconhecer 5 principais campos de dunas transgressivas. Apesar de sua importância ecológica, cultural, paisagística e científica todos esses campos residuais deveriam ser preservados sendo possível de se estabelecer entre eles uma escala de prioridade de preservação, que foi baseada na avaliação de parâmetros, tais como: alimentação ativa ou cancelada, previsão de durabilidade, área de cobertura, morfologia interna e importância paisagística.
* Modelo evolutivo do campo de dunas do Peró (município de Cabo Frio- RJ) e cálculo de transporte eólico.	RAMOS, R. R.C; CASSAR, J. C. M. e GUSMÃO, L. A. de B. (2003)	Estudar a evolução morfológica e sedimentar do campo de dunas do Peró através da análise de imagens, fotos aéreas convencionais e de observações de campo e tendo como base teórica os estudos de Castro, com a definição de 4 sub-sistemas eólicos resultantes de processos morfológicos e sedimentares específicos.	Foram identificados 4 sub-sistemas eólicos (zona de alimentação. De entrada, de retenção e de saída) e sua respectiva caracterização geomorfológica e sedimentológica. Foram também calculadas as taxas de transporte eólico do arco de praia para o campo de dunas, para cada direção e mês do ano, concluindo-se que a maior taxa de transporte de areia provem da direção NE, com média anual em torno de 612m ³ /mês/km.
* Instrumento de gestão do sistema dunar – uma das estratégias da educação ambiental aplicada.	FRACASSO, P.; DIEHL, F. L.; KLEIN, A. H. F. e DIEHL, F. P. (2003)	Sensibilizar a comunidade local e turística usuária da zona costeira sobre a formação e a importância do ecossistema dunar, em todos seus aspectos, através de cartilha educativa.	A elaboração e distribuição da cartilha educativa tendo como tema os sistemas de dunas litorâneas apresentaram-se como uma estratégia de gestão dentro de um dos ramos da E.A. As cartilhas pretenderam inserir um conteúdo científico e didático, que fizeram parte do projeto Gerenciamento e Segurança nas Praias, durante as temporadas de verão no litoral de Santa Catarina.

Quadro 04 – Exemplos de pesquisa realizadas em ambiente sedimentar eólico na zona costeira brasileira (período: 2004-2007)

Titulo do trabalho	Autor / Ano	Objetivos	Resultados alcançados
* Morfologia e atividade no campo de dunas costeiras da Reserva Biológica de Santa Izabel, Sergipe, Brasil.	BISPO, S. C. ; BARBOSA, L. M. E DOMINGUEZ, J. M. L. (2005)	Identificar a morfologia e a morfometria de um trecho do campo de dunas ativo situado a SW da foz do rio São Francisco na Reserva Biológica de Santa Izabel, visando a compreensão da variabilidade ambiental e a definição dos fatores controladores no seu desenvolvimento.	O aumento da cobertura vegetal provocou alterações na morfologia das dunas, favorecendo a formação de dunas parabólicas. No campo de dunas da Reserva, resultou em maior controle e restrição de uso dessa área, o que pode ter se constituído como um fator preponderante nas alterações morfológicas. As amostras de sedimentos coletadas no campo eram constituídas por areia fina muito bem selecionada.
* Impactos dos episódios El Niño e La Niña sobre dunas do litoral Setentrional do Nordeste Brasileiro.	CASTRO, J. W. A. (2004)	Estudar as relações ambientais entre os fenômenos El Niño e La Niña com o desenvolvimento de formas específicas de dunas no litoral.	Os resultados obtidos através da análise de fotografias aéreas de diferentes datas de vôo, comparadas com episódios registrados entre 1913 a 1990, sugerem que o aumento da quantidade de dunas parabólicas durante as chuvas está relacionado aos fenômenos El Niño e La Niña, respectivamente.
* Zoneamento do campo de dunas de Cidreira, considerando a sua dinâmica eólica.	SOUZA, R. R e GRUBER, N. L. S. (2005)	Zonear o campo tendo como base nos parâmetros de dinâmica eólica; elaborar cenários de representações das tendências de migração em 10, 30 e 50 anos; mapear áreas onde a atividade eólica não tenha obstáculos, considerando sua posição em relação.	Foi constatado que a alimentação do campo de dunas ocorreu através da faixa de alimentação. O zoneamento com base na direção do campo em relação ao vento e a fonte de areia permitiram identificar áreas alimentadas ou não pelo sistema praiar.
*Caracterização do processo de migração das dunas de Flexeiras, Baleia, Paracuru e Jericoacoara, Costa Noroeste do Ceará.	CARVALHO, A. M. de.; MAIA,L.P.e DOMINGUES, J. M. L (2006)	Avaliar o processo de migração de dunas, considerando suas características morfológicas, dimensões e volumes, além de buscar qualificar a influência da pluviometria sobre sua dinâmica.	O confronto dos dados referentes às dimensões e volume das dunas e respectiva pluviometria do período de sua formação com as taxas de migração revelar haver uma boa correlação inversa entre o volume e as principais dimensões das dunas com sua respectiva velocidade de migração, sendo também configurado um expressivo controle climático no desenvolvimento e movimentação das dunas eólicas na região.
Idades das dunas móveis transversais no segmento entre Macau e Jericoacoara – litoral setentrional do Nordeste brasileiro.	CASTRO, J. W. A e RAMOS, R.R.C. (2006)	Determinar a idade das dunas móveis transversais do litoral setentrional do NE brasileiro usando datações em eolianitos, dados de ventos (pretérito e atual) e monitoramento de campo.	Foi constatado que existe uma relação entre a morfologia das dunas e o tipo de vento dominante. Concluiu-se através do posicionamento espacial das dunas e pelas datações realizadas que o regime de ventos na área não sofreu mudanças significativas desde o início do processo deposicional das dunas. Admite-se que o campo de dunas móveis entre Macau-RN e Jericoacoara-CE, tenha menos de 1.320 ± 50 AP, estimado como muito recente.
*Problemas de soterramentos decorrentes da movimentação de dunas no litoral de Cabo Frio- Estado do Rio de Janeiro.	DIAS, F. F.; CASTRO, J.W.A. e SEOANE, J.C.S. (2007)	Estudar o processo de movimentação de dunas visando quantificar as taxas de movimentação sobre as áreas submetidas a soterramento.	Os resultados obtidos por geoprocessamento demonstraram que ocorreu uma expansão do campo de dunas entre 1965 e 1988. Através da interpretação da imagem Landsat (2000), verificou-se que o segmento oeste das dunas apresentou uma significativa redução, devido a ocupação urbana sobre os lençóis de areia, bem como, a ação antrópica através do pisoteamento das dunas, exercendo grande influencia na movimentação destas.
*Transporte eólico versus migração de dunas na região costeira do Ceará.	MAIA, L. P. et al. (2007)	Analisar o transporte eólico ao longo da costa do Ceará, sob dois pontos de vista: medidas detalhadas do transporte eólico de sedimentos e evolução dos campos de dunas.	As medidas de campo do transporte eólico obtidas através de armadilhas foram empregadas para calibrar/ obter uma fórmula de transporte de sedimentos capaz de estimar com precisão o transporte para as condições climáticas regionais. Foi monitorada a migração de vários campos de dunas por meio de medidas diretas, utilizando fotografias aéreas multitemporais, sendo definidas as taxas de migração dos diversos tipos de dunas e utilizadas na conversão e definição da taxa agregada de transporte eólico.

Quadro 05 – Exemplos de taxas de migrações de dunas costeiras em diferentes locais no Brasil

Autor	Taxa	Método de Medida	Localização
Fortes (1992)	17 m/a	Imagens de épocas diferentes em comparação com as taxas de insolação	Lençóis Maranhenses (MA, Brasil)
Meireles et al. (1992)	8,6 m/a	Imagens de épocas diferentes e medidas de campo.	Paracuru (CE, Brasil)
Tomazelli (1993)	10 a 38 m/a com média de 26 m/ano	Fotos aéreas e medidas de campo	Rio Grande do Sul (RS, Brasil)
Rodrigues et al. (1999)	5 a 11 m/a	Fotografias aéreas e medições em campo	Caucaia (CE-Brasil)
Gonçalves (1997)	15 m/ano	Fotografias aéreas e medições em campo	Lençóis Maranhenses (MA, Brasil)
Barbosa (1997)	11 a 28 m/a com media de 20 m/a (setor I); 16 a 36m/a com média de 24m/a (setor II)	Fotografias e medições em campo	Desembocadura do rio São Francisco (SE/AL, Brasil)
Castro (2001; 2004)	1,02 a 19,30 m/a	Fotografias aéreas e trabalhos de campo.	Paracuru (CE, Brasil)
Rangel (2005)	3 a 5,65 m/a e 13 a 16 m/a	Fotografias aéreas e medições em campo.	Praia do Perú - Cabo Frio (RJ, Brasil)
Santos (2006)	4,2 a 21 m/a	Fotografias aéreas, imagens de satélite de alta resolução e técnicas de geoprocessamento	Lençóis Maranhenses (MA, Brasil)
Carvalho et al. (2006)	14 a 32 m/a	Imagens de satélite e medições em campo	NO do Estado do Ceará (CE, Brasil)
Dias et al. (2007)	25,1 a 50,0 m/a	Fotografias aéreas, medições de campo e técnicas de geoprocessamento	Cabo Frio (RJ, Brasil)

Fonte: Barbosa, 1997 modificado pelo autor.

Outra forma, relativamente recente, de obtenção da velocidade de migração das dunas (em campo) é com a utilização do GPS geodésico, nos modos relativo e cinemático (RIBEIRO et al., 2007), o qual possibilita tanto a análise do deslocamento entre diferentes períodos, quanto à obtenção da forma, altura e volume do depósito eólico.

As classificações das feições e formas eólicas em nosso país têm sido objeto de vários estudos a exemplo dos trabalhos publicados por Tomazelli (1993), Gomes et al. (1999), Tomazelli et al. (2003), Silva (2002), Branco (2003), Gonçalves et.al. (2003), dentre outros. Entretanto, estas classificações podem ser realizadas através de diferentes critérios tais como: formas, tamanho, faces de deslizamento, orientação em relação ao vento e/ou linha de costa, índice de cobertura vegetal, aspectos estratigráficos e geocronológicos.

3.4.6 Exemplos de classificações

Devido a diversidade de classificações, bem como a semelhança das principais formas descritas com as da região em análise, selecionou-se as classificações propostas para os campos de dunas da franja costeira do Rio Grande do Sul-RS, da região de Barreirinhas e Rio Novo – Lençóis Maranhenses-MA e a de Paracuru-CE (Quadro 06) realizadas respectivamente por Tomazelli (1994), Gonçalves (1997) e Castro (2001), para alguns observações sobre as suas principais características, origem e dinâmica existente.

I) Campo de Dunas do Rio Grande do Sul

O campo de dunas holocênicas da costa do Rio Grande do Sul, com uma largura média entre 5 e 8 km e uma extensão de mais de 600 km, corresponde a um dos mais expressivos sistemas eólicos ativos do Brasil (TOMAZELLI, 1994), cuja idade foi estimada como inferior a 1500 anos, é interpretado como possível resultado de uma elevação do nível relativo do mar, associada a uma tendência de erosão costeira (TOMAZELLI; VILWOCK, 1989, apud MUEHE, 1998). Um esquema detalhado sobre a evolução paleogeográfica desta província costeira consta do trabalho realizado por Vilwock e Tomazelli (1995), onde se tem a reconstituição da referida paisagem costeira, desde a regressão Pliocênica até a última regressão Holocênica. Esta última seria então a responsável pelas características morfológicas atuais. Quanto ao recobrimento sedimentar da plataforma continental interna, a mesma apresenta um abundante depósito de sedimentos arenosos (MARTINS, 1972 apud MUEHE, 1998).

Quadro 06 – Classificações das principais Feições eólicas da zona costeira do: 1) Rio Grande do Sul - RS, 2) Paracuru - CE e 3) Pequenos Lençóis (MA).

1 – Rio Grande do Sul (RS)	2 – Pequenos Lençóis (MA)	3 – Paracuru – CE
<p>A – Dunas vegetadas 1 – Dunas Embrionárias 2 – Dunas Frontais 3 – Dunas do tipo “Nebkha”</p> <p>B – Dunas Livres 1 – Barcanas 2 – Cadeias barcanóides 3 – Dunas Transversais</p> <p>C – Lençóis de Areia</p> <p>D – Feições Associadas a Deflação Eólica. 1 – Bacia de deflação (blowouts) 2 – Dunas Parabólicas 3 – Dunas Lineares 4 – Lençóis arenosos parabólicos</p>	<p>1 – Dunas Livres 1.1 – Dunas Barcanas (regulares e irregulares) 1.2 – Cadeias Barcanóides (simples e complexas) 1.3 – Cadeias oblíquas 1.4 – Cordões longitudinais 1.5 – Dunas parabólicas</p> <p>2 – Lençóis de areias</p> <p>3 – Dunas associadas a vegetação 3.1 – Dunas do tipo “Nebkha” 3.2 – Dunas prisioneiras 3.3 – Dunas de sombra</p> <p>4 – Dunas Fixas 4.1 – Dunas parabólicas 4.2 – Cadeias de parabólicas 4.3 – Cadeias de barcanas ou barcanóides 4.4 – Formas Transversais.</p>	<p>1 – Compartimento Planície de deflação 1.1 – Lençóis de areia</p> <p>2 – Compartimento dunas isoladas associadas à planície de Deflação. 2.1 – Cordões de dunas longitudinais rebaixados. 2.2 – Dunas oblíquas (formas piramidais) 2.3 – Dunas parabólicas</p> <p>3 – Compartimento Sistema de dunas Transversais 3.1 – Dunas Barcanas 3.2 – Dunas Barcanóides 3.3 – Dunas Transversais</p> <p>4 – Compartimento Sistema de Dunas longitudinais de retaguarda. 4.1 – Cordões de dunas longitudinais 4.2 – Dunas Coppice (Nebkha)</p>

Fonte: Tomazelli (1994), Gonçalves (1997) e Castro (2001).

Devido à orientação da linha de costa no sentido NE-SW, submetida a um regime de ventos bimodal (NE/SW), de alta energia e uma amplitude de maré média de apenas 0,45m, o transporte de sedimentos ao longo da costa encontra-se condicionado pela ação das ondas (ALMEIDA, 1999 apud NICOLODI et al., 2003). Assim, juntamente com as variações do nível do mar os ventos atuais, além de serem responsáveis pela geração das ondas e correntes, que afetam a deriva litorânea de sedimentos, também são responsáveis pelo desenvolvimento e migração das dunas livres em direção ao interior do continente, em sentido SW. Atualmente, a dinâmica costeira nesta área, deve-se principalmente a interação dos agentes: climáticos (ventos e chuvas) e oceanográficos (ondas e correntes longitudinais).

II) - Campo de dunas de Paracuru

O Estado do Ceará possui aproximadamente 573 km de linha de costa, caracterizada por apresentar vários arcos praias, separados por promontórios rochosos. O campo de dunas em questão situa-se no município de Paracuru, com 12 km de extensão e 5 km de largura, cuja idade foi estimada por Castro (2001) em aproximadamente 1320 +/- 50 AP, a partir da realização de datações pelo método ^{14}C nas dunas piramidais (eólianitas).

Os processos evolutivos que deram origem à planície costeira em tela, estão relacionados às transgressões e regressões ocorridas desde o Pleistoceno. A ocorrência da seqüência de promontórios na zona costeira do Ceará é atribuída à presença de fácies da Formação Barreira mais resistente à erosão.

Especificamente, com relação à evolução das dunas, ao longo do tempo, de acordo com Castro (2001), estas foram controladas pelas variações relativas do nível do mar durante o Quaternário, pelo comportamento pretérito dos ventos de nordeste e presença de bioclásticos na faixa de praia e por condições climáticas recentes (ventos e chuvas).

No que diz respeito ao recobrimento sedimentar da plataforma continental interna, a mesma é composta por depósitos arenosos com a presença, em algumas áreas específicas, de sedimentos carbonáticos próximo às isóbatas de 10 m (MUEHE, 1998).

Atualmente, a referida área encontra-se submetida a um regime de vento unimodal (E) com velocidade média de 6,8 m/s, presença de meso-marés com níveis de preamar atingindo em média 2,82 m, durante as marés de sizígia.

As ondas em Paracuru são provenientes do quadrante leste, onde as ondas máximas atingem de 3,0 a 4,0 m com maior freqüência nos meses de julho e agosto. O transporte litorâneo é dominado pela ação combinada de ondas e correntes geradas por ondas (INPH, 1998 apud CASTRO, 2001).

A dinâmica atual encontra-se relacionada principalmente à interação dos seguintes agentes: climáticos (ventos e chuvas) e oceanográficos (ondas, correntes longitudinais e marés).

III) - Região de Barreirinhas e Rio Novo

O estado do Maranhão apresenta 640 km de linha de costa, caracterizada por extensos manguezais (litoral ocidental), pelo complexo estuarino do Golfão Maranhense e pelos significativos campos de dunas (litoral oriental). De acordo com Gonçalves (1997) e Ab'Saber (2000), a planície costeira do Maranhão possui um dos maiores registros de campo de dunas costeiras desenvolvidos ao longo do Quaternário.

A plataforma continental interna defronte aos Lençóis Maranhenses é estreita e rasa, cujo recobrimento sedimentar caracteriza-se por um abundante estoque de areias. (PALMA, 1979 apud MUEHE, 1998). Este considerável estoque de areia, o qual é disponibilizado sobre as extensas praias (largura superior a 350 m), devido a ação das ondas e marés, ficam sob atuação dos ventos unimodais de nordeste, os quais segundo Santos e Pereira (2001), podem atingir velocidades superior aos 14,0 m/s.

O regime de marés é do tipo meso-tidal (GONÇALVES et al., 2005), responsável pela significativa extensão das praias locais. A deriva litorânea na área de sentido leste-oeste deve-se a incidência das ondas oblíquas a linha de costa.

No referido campo de dunas a significativa largura das praias e da planície de deflação eólica 1,0 a 2,0 km (MMA/IBAMA, 2003), sob a ação dos ventos de alta energia, associada aos demais agentes, explicam em parte a presença e a manutenção deste extenso depósito eólico atual. De acordo com Gonçalves (1997), a evolução genética destes depósitos eólicos está intimamente relacionada à presença de um sistema deposicional do tipo Barreira (praia-duna)/ laguna estuarina, reflexo direto da dinâmica costeira característica da costa norte/nordeste brasileira.

Observando as citadas classificações (Quadro 06) percebe-se que, de um modo geral as três apresentam feições eólicas semelhantes, resguardando-se é claro a área de abrangência.

Em síntese, os campos de dunas livres e/ou fixas com a ocorrência significativa das dunas barcanas, barcanóides, transversais, longitudinais, parabólicas, nebkas, bem como os lençóis de areia, são de expressiva abrangência territorial ao longo da costa brasileira e tem sua expressão máxima na zona costeira do estado do Maranhão.

Em uma das mais recentes revisões realizadas por um grupo de especialistas sobre os campos de dunas e paleodunas eólicas costeiras e interiores, destaca-se a abordagem de sistemas deposicionais e a análise de fácies (GIANNINI, 1993, 1998, 2002 apud GIANNINI et al. 2005) utilizada para descrever a distribuição espacial e a dinâmica de feições erosivas e deposicionais associadas aos campos de dunas da região centro-sul catarinense (Figura 26). Nos referidos estudos, observa-se que o exame de feições eólicas definidas pelo critério morfológico, possibilitou a distinção de duas associações de fácies a saber:

- 1- associação de fácies maciça, de posição proximal a qual inicia-se por dunas frontais incipientes tipicamente instabilizadas (fície de suprimento), grada ao interior para dunas transversais, lineares e barcanóides (fácies de superposição) e termina em frentes parabólicas (fácies de avanço).
- 2- Associação de fácies distal inicia-se por rastros lineares, dunas parabólicas isoladas e cavas deflacionares inundadas (fácies residuais de deflação), passa para cadeias barcanóides (fácies de superposição) e termina por frentes e dunas parabólicas alongadas (fácies de avanço).

Conforme Giannini et al. (2005), na margem interna das duas associações supracitadas, ocorrem frentes de avanço secundárias, contidas por vegetação (fácies de contenção), correspondentes a cordões de precipitação. Na referida abordagem são apresentadas alguns termos relacionados às formas eólicas, tais como: rastros lineares, montes residuais, frentes parabólicas, dentre outros de fácil visualização no PNLN.

Ainda na figura 25 (letra B), observa-se também o perfil transversal esquemático da planície costeira do Rio Grande do Sul, proposto por Tomazelli (1994), onde é destacado as principais formas eólicas ocorrentes desde a praia até o limite mais interno da planície em tela.

3.4.7 Quanto a datação de dunas eólicas inativas

As dunas que fazem parte do relevo atual, mas encontram-se estabilizadas devido à alteração de algum parâmetro climático, são denominadas fixadas, fixas, fósseis, reliquias ou inativas (BARRETO, 1996). Os campos de dunas inativas interiores são considerados como heranças de climas pretéritos mais secos que o atual (THOMAS e SHAW, 1991).

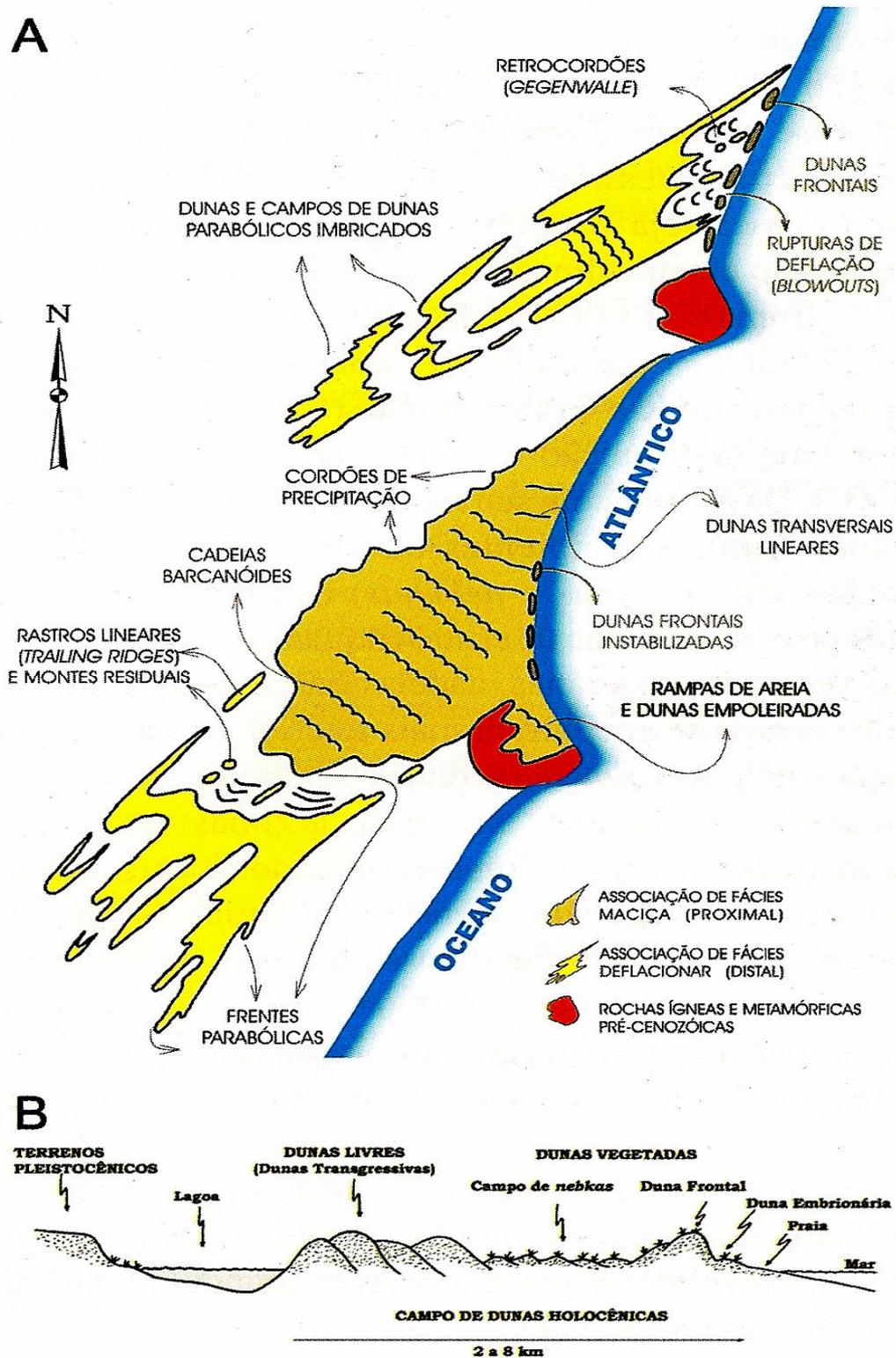


Figura 26 – Modelos de organização espacial de feições deposicionais nos sistemas eólicos ativos do sul do Brasil: A. Mapa esquemático com os dois tipos de associações de fácies na costa centro sul de Santa Catarina. B. Perfil transversal esquemático da planície costeira do Rio Grande do Sul, segundo Tomazelli (1994).

Estes campos de dunas eólicas, segundo Barreto et al. (1999), com extensões regionais, têm sido considerados como indicadores geomorfológicos e sedimentológicos de mudanças paleoclimáticas durante o Quaternário. Ainda de acordo com estes autores, os mesmos testemunhariam períodos de atividades eólicas devido ao aumento de aridez e/ou mudança no regime de ventos.

Para Barreto et al. (1999), a denominação de duna fixada é utilizada para as dunas que se apresentam cobertas pela vegetação. Todavia, somente a presença da cobertura vegetal não é suficiente para designá-la como uma duna fóssil.

De acordo com Thomas e Shaw (apud BARRETO, 1996, p.36), dentre os critérios adotados para se designar uma duna fóssil ou inativa tem-se os:

- morfológicos - relacionados à degradação da forma original da duna com a diminuição da altura, mudança no ângulo de repouso, tanto a barlavento, quanto a sotavento; ravinamento na superfície da duna, dissecação das dunas pela drenagens e possível recobrimento das dunas dissipadas por sedimentos lacustres ou costeiros;
- sedimentológicos e estratigráficos - referem-se à modificação no grau de seleção e no diâmetro dos sedimentos das dunas, presença de silte e argila, desenvolvimento de solo na superfície da duna e geralmente ausência de estruturas sedimentares;
- biológicos - diz respeito à presença da cobertura vegetal, com presença de árvores e desenvolvimento de vegetação do tipo savana ou similar.

Em sua pesquisa de doutorado, Barreto (1996) sugere ainda, a análise do padrão dos paleoventos, pois embora não seja regra, as dunas interiores fixadas podem ter se formado sob condições de ventos distintas das atuais.

Além destes critérios elencados, nas últimas décadas, outro procedimento utilizado para discernir uma duna recente de uma fóssil tem sido a datação dos sedimentos arenosos pelos métodos de Termoluminescência (TL) e da Luminescência Ópticamente Estimulada (LOE).

A termoluminescência é a luz emitida quando materiais cristalinos ou vítreos previamente irradiados com uma radiação ionizante são aquecidos por uma fonte de calor (BARRETO, 1996).

De acordo com Silva (2002, p. 51),

O método de datação por TL tem como princípio básico a ionização de átomos e moléculas de um mineral por radiações (α , β e γ), que provêm de elementos naturais como ^{23}U , ^{232}Th e 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 a 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.

Conforme Suguio et al. (2003), se o cristal, ao invés de aquecimento, for estimulado opticamente por uma luz, com comprimento de onda previamente estabelecido, também emitirá luz que é denominada luminescência Opticamente Estimulada (LOE). Ainda conforme o referido autor, as intensidades de luz emitidas serão proporcionais as quantidades de estados metaestáveis criados na rede que será, por sua vez, proporcional ao tempo em que o cristal ficou submetido às radiações ionizantes e este tempo é denominado idade.

A maior dificuldade para se determinar as idades dos sedimentos arenosos é muitas vezes consequência da sua esterilidade, a qual impossibilita a utilização das técnicas geocronológicas convencionais. Desta forma, a TL constitui-se numa técnica de suma importância para a obtenção das idades dos sedimentos arenosos, visto que o quartzo, mineral dominante nas areias, é o material a ser datado (BARRETO et al., 1998).

Outra vantagem do método de datação por TL, no entender de Barreto (1996), é que o mesmo pode determinar idades de poucas dezenas de anos até aproximadamente 1.000.000 de anos, abrangendo assim boa parte do quaternário.

As primeiras aplicações da TL, como ferramenta geocronológica, foram procedidas em datações de sítios arqueológicos na década de 60.

No Brasil, somente a partir dos anos 80 começou a utilização da TL objetivando a obtenção das idades dos depósitos sedimentares de diferentes ambientes geológicos. Especificamente, em relação aos sedimentos eólicos, segundo Barreto (1996) e Silva (2002) os principais pesquisadores a utilizar a referida técnica foram: Poupeau et al. (1984 e 1988), Arena (1993), Dillenburg (1994), Aytá (1996), Barreto (1996), Barreto et al. (1999), Maia et al. (1999), Giannini (2001), Kowata et al. (2002) e Watanabe e Tatum (2002).

Em revisão a maioria destes trabalhos, pôde-se constatar que os mesmos foram desenvolvidos nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Bahia, Paraná, Rio Grande do

Norte e Ceará. Além das pesquisas nestes estados existem também as realizadas por Barreto et al. (1998) e Carneiro Filho et al. (2005) em Pernambuco e na Amazônia, respectivamente.

4 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

4.1 PROCEDIMENTOS EXECUTADOS

A multiplicidade das entidades e eventos que interagem na estruturação e modelado dos ambientes costeiros faz com que a análise geomorfológica necessite da contribuição de outras ciências e técnicas que também se dedicam ao estudo do citado ambiente, a exemplo da Geologia, Climatologia, Oceanografia, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, dentre outras.

Assim, na execução deste estudo, foram utilizados procedimentos comuns a várias disciplinas, no intuito de se alcançar os melhores resultados no tocante ao entendimento das transformações existentes na planície costeira em análise, sendo mais recorrentes os praticados no âmbito da Geografia Física, Geologia e das Geotecnologias, representadas pela utilização do geoprocessamento, GPS topográfico, interpretação das imagens orbitais, mapas, cartas planialtimétricas e datações por termoluminescência.

A identificação e análise das alterações ambientais, até pouco tempo atrás, eram realizadas utilizando, principalmente, a metodologia clássica de investigação ambiental, baseada, conforme Xavier-da-Silva (2001), em inspeções pontuais e generalizações feitas em campo ou a partir da inspeção de registros indiretos da localização e extensão de entidades ambientais, a exemplo dos procedimentos de fotointerpretação e análise de mapeamentos. Com o desenvolvimento dos sistemas de satélites multisensores, dos sistemas de posicionamento global (GPS), da fotogrametria digital e dos recursos computacionais, auxiliando cada vez mais na geração de dados ambientais de diferentes fontes, tipos e resoluções cada vez maiores (EHLERS, 2002 apud BLASCHKE e KUX, 2005), houve a necessidade de se procurar estabelecer novas metodologias e técnicas para tratamento e integração desses grandes volumes de dados. Conseqüentemente, os estudos ambientais, a partir da década de 60 e principalmente na última década, começaram a ser executados com crescente uso das geotecnologias.

Assim, os estudos ambientais calcados na utilização do geoprocessamento, necessariamente aplicados sobre bases de dados georreferenciados, geralmente utilizam-se de conceitos recentes, como são os de entidades e eventos como primitivas de descrição e análise

de situações ambientais (XAVIER-DA-SILVA, 2004). Desta maneira, as situações ambientais podem ser consideradas como sistemas organizados na superfície terrestre, (CHRISTOFOLETTI, 1999), com sua espacialidade inerente.

Nesta perspectiva, para que a modelagem possa ser implementada como instrumento de pesquisa dos sistemas ambientais, torna-se necessário estabelecer o posicionamento, as características e os relacionamentos entre as entidades e eventos envolvidos (geotopologia – XAVIER-DA-SILVA, 2004). Nesta tese, por exemplo, foram analisados e integrados o posicionamento, as características e relacionamentos entre dunas móveis e fixas (entidades) e idade das dunas e posicionamento do nível do mar (eventos).

A identificação e análise das partes componentes (entidades) de um sistema ambiental vêm sendo, também, realizadas a partir da criação de modelos digitais do ambiente (XAVIER-da-SILVA, 1982), com seus diferentes planos de informação a serem trabalhados por geoprocessamento. Além destes aspectos, segundo Xavier-da-Silva et al. (2001), o desenvolvimento das técnicas computacionais gerou, para as investigações ambientais, novas possibilidades analíticas, tais como a varredura minuciosa de uma área geográfica contida em uma base de dados sob análise. Além da citada varredura, ainda de acordo com o referido autor, os SGI's permitem conjugar numerosos dados de diferentes naturezas (tipos, escalas e resoluções), em um procedimento denominado de integração locacional, uma vez que opera com base no atributo axiomático de localização, inerente a todo dado ambiental.

No tocante ao método clássico de investigação científica, foram utilizados, predominantemente, procedimentos indutivos. Conclusões foram estabelecidas a partir do uso de extensa base de dados espaciais e cronológicos, abrangendo desde datações até o trabalho de campo, passando por mapeamentos e análises laboratoriais, conforme será descrito a seguir:

4.1.1 Etapa de gabinete

4.1.1.1 Revisão bibliográfica

Inicialmente realizou-se a seleção e consulta da bibliografia nacional e estrangeira (livros, periódicos, revistas científicas, dissertações e teses) em órgãos e instituições nos níveis federal, estadual e municipal, através de pesquisas “*in loco*”, pesquisas através da internet (com acessos ao portal da CAPES, sites das publicações dos diferentes Programas de Pós-graduação, empresas, institutos e laboratórios de pesquisa, revistas eletrônicas), bem como solicitando artigos científicos via Programa de Comutação Bibliográfica - COMUT,

objetivando a obtenção de dados e informações sobre os ambientes costeiros, dinâmica eólica, estudos relacionados a campos de dunas móveis e fixas ao longo do litoral brasileiro além do levantamento dos aspectos bióticos, abióticos e socioeconômicos da área de estudo.

4.1.1.2 Seleção e aquisição de material cartográfico e de imagens

Para o planejamento dos trabalhos de campo e a elaboração dos diferentes fotomosaicos e mapas da área foram selecionados e utilizados os documentos (meio digital e/ou analógico) listados a seguir:

a) Produtos de sensoriamento remoto:

- imagem de satélite Landsat TM-5, (resolução 30 m) órbita ponto 221-061 dos anos de 1988 e 1999;
- imagens de satélite CBERS (resolução 20 m) dos anos de 2004 e 2005(doação);
- imagens de satélite Landsat7 – ETM+ , (resolução 15m) órbita ponto 220-62 dos anos de 2001 e 2002 (aquisição);
- imagem de satélite SPOT-4 (resolução 10 m) órbita ponto 714/355 e 714/356 do ano de 2005 (aquisição);
- imagem de satélite SPOT-5 (resolução 5 m) órbita ponto 714/355 do ano de 2004 (aquisição);
- fotografias aéreas dos anos de 1966, 1976 e 1999 nas escalas de 1:60.000, 1:70.000 e 1:30.000 respectivamente.

b) Bases cartográficas:

- mapa do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, escala 1:100.000, SIUC-DEUC-IBAMA/MMA, (12/2000);
- cartas planialtimétricas da DSG/ME, escala 1:100.000 de 1976, folhas SA. 23-Z-B-I (MI-496, Boa Vista/MA), SA.23-Z-B.IV (MI-551, Humberto de Campos/MA), SA.23-Z-B-V (MI-497 e MI-552, Barreirinhas/MA);
- carta de uso e cobertura da terra do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses e zona de amortecimento, escala 1:160.000, MMA/IBAMA (2003).

4.1.1.3 Tabulação dos dados e informações

Ainda em gabinete foi realizada a tabulação e análise dos dados morfométricos (migração das dunas), sedimentológicos, geocronológicos e climáticos, que atingem diretamente o ambiente em tela tais como, direção e velocidade dos ventos, umidade do ar, insolação e precipitação, junto a instituições de Meteorologia responsáveis pelas estações situadas nas proximidades da área de estudo.

4.1.2 Pesquisa de campo

4.1.2.1 Obtenção de pontos de controle para o georreferenciamento das imagens

Conforme apresentado, todo o material cartográfico apresenta escalas com nível de detalhe pouco expressivo. Assim, considerando o “baixo nível de informações” das citadas cartas, as mesmas foram utilizadas para subsidiar a ida ao campo, a interpretação das imagens de satélites, assim como no georreferenciamento das cartas temáticas digitais, em conjunto com os dados obtidos em campo com receptores GPS de precisão topográfica (marca ASHTEC modelo Reliance).

A técnica de levantamento conhecida como GPS diferencial ou DGPS, segundo Raffo (2005), envolve dois receptores GPS, um móvel (Rover) e uma unidade de referência, colocada em um lugar fixo e de coordenadas previamente conhecidas (Fotos 08 e 09). A partir deste procedimento são calculadas as coordenadas dos receptores móveis e fixos (base). Durante os seis trabalhos de campo, realizados entre agosto de 2005 e dezembro de 2007, foi utilizada a referida técnica (DGPS), visando à obtenção dos pontos de controle para o georreferenciamento das imagens de alta resolução e dirimir dúvidas quando do mapeamento dos campos de dunas.



Foto 08 - Instalação do receptor GPS fixo – Trilha lagoa Azul (set/05)



Foto 09 - Instalação do receptor GPS fixo – povoado de Atins (dez/05)

Dessa maneira, foram percorridas com GPS geodésico, as principais trilhas arenosas situadas no setor sudeste do PNLM, bem como quase todo o limite superior da praia e do campo de dunas atuais situado entre o povoado de Atins e a foz do rio Negro (Figura 19), utilizando-se motocicletas.

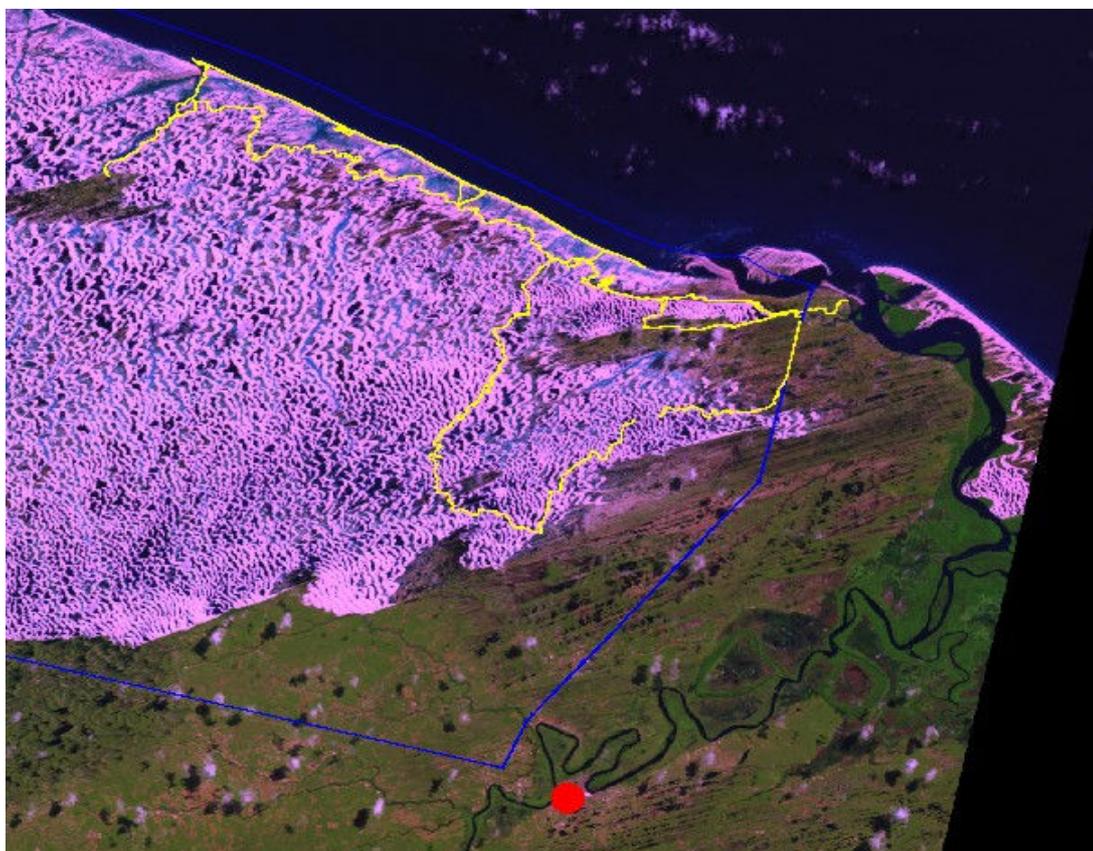


Figura 27 - Percursos (em amarelo) realizados em agosto de 2005 com GPS geodésico no setor sudeste do PNLM.

4.1.2.2 Monitoramento de migração das dunas com piquetes

Visando a determinação da taxa de migração das dunas barcanas b1, b2 e b3, no setor denominado Lagoa Azul, através da utilização de piquetes, foram realizadas oito, campanhas de monitoramento no período compreendido entre agosto de 2005 a dezembro de 2007, totalizando dois anos e cinco meses. Durante o referido monitoramento contou-se com a colaboração de um morador de Barreirinhas, para a obtenção das medidas da duna b2 durante o período chuvoso, bem como na recolocação (com a respectiva medição das distâncias) dos piquetes eventualmente extraviados.

Para o monitoramento das dunas foram implantados, em cada uma, sete piquetes numerados, colocados a 20 e/ou 50m de distância das referidas formas eólicas na direção da migração. Os marcos foram fixados perpendicularmente à crista das dunas. Nos locais de

maior acessibilidade dos visitantes do PNLN foi colocada uma segunda fileira de estacas na mesma direção da primeira, objetivando minimizar problemas de extravio dos piquetes.

4.1.2.3 Monitoramento de migração das dunas com GPS topográfico

Devido à inexistência da base de referência inicial (de coordenadas conhecidas), nas proximidades da lagoa Azul, para que fosse realizado o monitoramento das dunas barcanas pré-selecionadas, tornou-se necessária a instalação do referido marco no local. Assim, a transferência de coordenadas foi realizada a partir de monumento em São Luís (UFMA), amarrado ao IBGE com a utilização de GPS L1 em perna de 6 km (precisão aproximada submétrica). A altimetria foi transferida a partir de RN do IBGE situado no aeroporto de Barreirinhas (através de GPS L1 com precisão de 1,5 cm na vertical e perna inferior a 7 km). Após a instalação da base de referência, pôde-se realizar os monitoramentos planejados (ago.2005 a dez.2007), com GPS topográfico L1 em modo diferencial submétrico em tempo real (pós-processado).

Posteriormente, os dados de campo foram corrigidos diferencialmente e exportados para o ambiente CAD como pontos georreferenciados para o sistema de coordenadas planas UTM e datum horizontal WGS84 (pontos cotados para o datum vertical de Imbituba - SC), para posterior uso em GIS.

Durante as seis campanhas de monitoramento (com GPS topográfico) das três dunas pré-selecionadas (num período de 29 meses) utilizou-se também estacas de madeiras posicionadas perpendiculares a crista, na direção da migração das dunas, visando a comparação das duas técnicas de amostragem.

Além da monitoria das referidas dunas, foi realizado no período de agosto de 2006 a dezembro de 2007, o monitoramento (com GPS topográfico) da frente de dunas do setor lagoa Azul (com aproximadamente 1,3 km de extensão), para subsidiar as análises e discussões sobre a taxa de migração das dunas transversais e barcanóides sobre a planície de deflação e as lagoas existentes em suas proximidades.

A obtenção das medidas de largura da duna, distâncias em relação às estacas, declividade da face de deslizamento e dos flancos, bem como da velocidade do vento foram obtidas respectivamente com a utilização de trena (5 m), bússola de geólogo e termo anemômetro digital (modelo MDAII marca Minipa).

4.1.2.4 Coleta de sedimentos para realização da análise textural

Em campo foram coletadas quarenta amostras de areia (em diferentes áreas dos Lençóis Maranhenses, coletadas em sua maioria a cerca de 30 cm de profundidade) para a realização das análises granulométricas e morfoscópicas no Laboratório de Sedimentologia do LABOHIDRO/UFMA. Devido à inexpressiva presença de silte nas amostras as mesmas foram submetidas a peneiramento seco.

Não foram realizadas amostragens, tanto no período chuvoso, quanto durante a estiagem, em todos os ambientes citados, devido à dificuldade de retorno aos mesmos pontos pela significativa extensão da área estudada, o que demandaria inúmeras viagens e, conseqüentemente, maiores custos para a realização das citadas campanhas amostrais.

4.1.2.5 Levantamento fotográfico

Quando das saídas a campo para execução dos monitoramentos e obtenção de “verdades terrestres”, visando subsidiar a versão definitiva dos cartogramas digitais, foram fotografados (acervo de aproximadamente 600 fotos) e filmados os aspectos relevantes da paisagem local, pois, de acordo com Lakatos (1985), a pesquisa de campo desempenha papel importante nos processos observacionais, no contexto das descobertas e eventuais dúvidas, obrigando o investigador a um contato mais direto com a realidade.

Ainda nesta fase da pesquisa, foram obtidas informações com habitantes locais sobre a fisiografia da área, objetivando subsidiar a análise final sobre a dinâmica e as principais alterações da paisagem, com destaque para a desembocadura do rio Preguiças, os campos de dunas móveis e fixas e demais localidade sob risco de soterramento, a exemplo de Baixa Grande e Queimada dos Britos.

Para a observação e aquisição das fotografias das áreas de difícil acesso (manguezal e desembocadura do rio Preguiças) utilizaram-se lanchas, bem como aeronaves para o sobrevôo do campo de dunas móveis e fixas do PNLN.

4.1.2.6 Coleta de amostras para datação por termoluminescência

A seleção dos pontos de coleta dos sedimentos eólicos para datação por termoluminescência foi feita a partir da interpretação das imagens orbitais e aerofotos, para identificação das dunas fósseis e/ou respectivos rastros, bem como pela melhor acessibilidade. Mesmo assim, devido às dificuldades impostas pela topografia, péssimas condições das trilhas e ou a elevada densidade da cobertura vegetal, alguns locais, quando da realização das amostragens na área de estudo, tiveram que ser descartados devido à extrema dificuldade para

serem alcançados. As amostras foram coletadas ora no topo das dunas, ora nas encostas expostas quando da aberturas das estradas locais.

Coletou-se 20 (vinte) amostras, de acordo com os procedimentos básicos determinados pelo Laboratório de Vidros e Datação da Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC, das quais 14 (quatorze) foram datadas. As amostras com aproximadamente 3kg foram coletadas em tubos de PVC com 5 cm de diâmetro por 60 cm de comprimento (Fotos 10 e 11).



Foto 10 – Local de coleta da amostra nº 09, situada à margem da MA-225, próximo ao posto da Polícia Militar, chegando a Barreirinhas.



Foto 11 – Local de coleta da amostra nº 10, próximo à lagoa do Caçó.

Em seguida as amostras foram acondicionadas em sacos negros, visando protegê-las da radiação solar. Para retirada do material arenoso, foram realizadas escavações e/ou trincheiras de 50 cm a 100 cm de profundidade, objetivando descartar as areias expostas ao sol. Depois de etiquetadas e embaladas em caixas de madeira, foram enviadas para o Laboratório citado para a realização das datações.

Para a coleta do material foram necessários dez dias de campo, nos quais foram percorridos, aproximadamente 1.000 km em estradas asfaltadas e trilhas arenosas, estas últimas trafegáveis somente com veículo de tração nas quatro rodas. Investigou-se a maioria dos pontos previamente definidos em gabinete, uma vez que alguns locais selecionados não puderam ser atingidos, devido às péssimas condições das trilhas e também pela inexistência de outras vias de acesso até as dunas inativas.

4.1.3 Etapa de laboratório

4.1.3.1 Montagem e georreferenciamento dos mosaicos digitais

No Laboratório de Geoprocessamento (www.lageop.ufrj.br), foram elaborados os mosaicos digitais dos Lençóis Maranhenses e do setor leste do PNLN, o que permitiu a realização de inspeções diagnósticas, a partir de técnicas de interpretação de imagens e geoprocessamento sobre a dinâmica espaço/temporal do ambiente eólico em questão. O mosaico do litoral oriental do Maranhão (desde a ilha do Maranhão até o delta do Parnaíba) foi gerado a partir do georreferenciamento de 2 (duas) imagens, utilizando 9 pontos de controle, com o software Erdas Imagine 8.5 (data prep/Image Geometric Correction). Após esta etapa, as mesmas foram mosaicadas no software PCI, no módulo Orthoengine (opção mosaic). Posteriormente o mapa foi gerado no ArcGis 9.0.

A partir da referida imagem georreferenciada foi gerado as cartas temáticas das formas eólicas ativas e inativas, tipos de dunas e pistas de migração, principais desembocaduras do rio Parnaíba e o modelo evolutivo dos campos de dunas dos Lençóis Maranhenses, especificamente dos grandes e pequenos lençóis, a partir de técnicas de geoprocessamento.

Para a elaboração dos cartogramas em escala de detalhe foi realizada a interpretação de fotografias aéreas nas escalas de 1: 60.000 do ano de 1966; 1: 70.000, do ano de 1976 e 1:30.000 do ano de 1999. Para a análise comparativa foi realizada uma reamostragem nas fotografias aéreas, para compatibilizá-las com a imagem Spot, na resolução

de 5 (cinco) metros. Objetivando uma diminuição das distorções que normalmente ocorrem durante o aerolevanteamento, as fotos foram submetidas a um processo de corte de suas bordas, de acordo com os procedimentos enfatizados por Marchetti e Garcia (1992) e Garcia et al (2001), permanecendo a parte central e uma pequena margem das áreas de recobrimento, para a montagem dos fotomosaicos.

Posteriormente, foi realizado o georreferenciamento utilizando-se o módulo “Georef” do software SAGA/UFRJ (Sistema de Análise Geoambiental da UFRJ) e a identificação de pontos de controle com coordenadas conhecidas das estradas, propriedades rurais, rios e lagos (obtidas com GPS topográfico), próximos às dunas para a realização da monitoria e respectiva quantificação das alterações constatadas.

4.1.3.2 Monitoramento de migração das dunas com fotografias aéreas

A partir da aquisição de fotos e de imagem SPOT 5, georreferenciadas a partir de pontos de controle (trilhas, áreas agrícolas, rios e lagos), cujas coordenadas foram obtidas em campo com receptores GPS topográfico (marca ASHTEC, modelo Reliance) de precisão submétrica, tornou-se possível a superposição das imagens, na resolução de 5m.

A quantificação da migração das dunas ativas, nos últimos 28 (vinte e oito) anos, foi realizada em 10 (dez) pontos ao longo das formas barcanóides, transversais e/ou parabólicas, através da ferramenta régua do software SAGA/UFRJ, ao longo dos diferentes polígonos mapeados. Em seguida, a partir dos valores médios e máximos foram estimadas as taxas de migração, nos quatro setores previamente selecionados, na borda sudeste do campo de dunas.

Para obtenção destas medidas foi realizada a digitalização das fotos aéreas dos anos de 1966, 1976, 1999 e da imagem SPOT-5 de 2004, todas escandidas com resolução de 5m. Em seguida, procedeu-se o georreferenciamento das imagens no software SAGA (módulo Georef). Tais imagens foram georreferenciadas através de pontos de controle (encruzilhadas, trilhas, áreas agrícolas e lagoas), com coordenadas obtidas em campo com GPS topográfico. A partir da fotografia mais antiga, todas as outras foram georreferenciadas. Posteriormente, foi realizada a digitalização das linhas e polígonos, na resolução de 5m, referentes ao limite do campo de dunas, bem como das dunas barcanas (denominada de b1 e b3) e da lagoa do Peixe. Vale destacar que a duna b2, (monitorada em campo) não foi incluída nesta análise, devido à falta de nitidez dos seus limites.

4.1.3.3 Elaboração da carta imagem com isolinhas altimétricas

A carta imagem com isolinhas altimétricas foi elaborada a partir da utilização do MDE/SRTM, obtido no site da Embrapa <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>.

O modelo digital foi filtrado no software PCI para eliminação de eventuais ruídos. O filtro executado foi 7x7 média com 50 vezes de interação (repetição). A partir do modelo filtrado foi gerado as isolinhas altimétricas (curvas de nível) com equidistância de 20 e 40m no software Arc Gis 9.2.

4.1.3.4 Pré-processamento e edição dos mosaicos

Anteriormente à edição das imagens realizou-se a etapa de pré-processamento, para eliminar as imperfeições eventualmente contidas nos originais, assim como minimizar o tempo dispensado na fase de reconhecimento das feições nas imagens. A identificação das formas geométricas (pontos, linhas e áreas) existentes nos fotomosaicos, com a locação de seus respectivos atributos, foi realizada através do módulo “CRIAR” do SAGA, o qual permitiu a identificação das entidades e eventos julgados relevantes e a aplicação das planimetrias, assinaturas e monitorias propostas por Xavier-da-Silva (2001).

4.1.3.5 Procedimentos diagnósticos

Após a montagem do referido inventário digital, foi realizado com o uso do SAGA/UFRJ os seguintes procedimentos:

1. **planimetrias** – visou à identificação da extensão territorial onde ocorrem fenômenos julgados relevantes na área e sua respectiva quantificação. No PNLN efetuou-se a planimetria dos principais campos de dunas fixas e móveis, bem como das entidades soterradas pelas dunas.
2. **monitorias** – ocorreu a partir do uso do inventário dos mosaicos aerofotogramétricos (1966, 1976, 1999) e da imagem spot (2004) referente ao setor sudeste do campo de dunas móveis o que permitiu acompanhar a evolução no tempo das alterações de ordem natural e antrópica ocorridas.

Alem destes procedimentos, no decorrer do texto será apresentada uma estimativa dos locais de origem das dunas pretéritas, baseada na trajetória das esteiras das dunas, das idades por TL e na velocidade média de deslocamento estimada de três dunas fósseis.

Durante a aplicação das técnicas de geoprocessamento, foram utilizados os seguintes equipamentos: computador Pentium 4, impressora colorida e scanner de mesa pertencentes ao doutorando, como também do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da UFRJ.

4.1.3.6 Análises sedimentológicas

No Laboratório de Hidrobiologia da UFMA, realizaram-se as análises granulométricas (lavagem e secagem das amostras, quarteamento, peneiramento e pesagem das frações de cada peneira com balança eletrônica de precisão), utilizando-se 10 (dez) peneiras com abertura de malha com intervalo entre 1,410 a 0,062mm. Os valores obtidos em cada fração granulométrica foram inseridos no software SysGram 3.0 (desenvolvido pelo Centro de Estudos Marítimos da UFPR), para o cálculo da mediana, média aritmética, desvio padrão, assimetria e curtose, de acordo com Folk e Ward (1957) e a classificação textural de Shepard (1954).

A análise morfoscópica (Foto 12) foi realizada no Laboratório de Hidrobiologia-LABOHIDRO, com Estereomicroscópio STEMI SV6/marca ZEISS (objetiva 4.0x10x/21), em dez amostras de sedimentos com a contagem de 300 grãos, utilizando-se as seis classes para determinação do grau de arredondamento, de acordo com Shepard (1967) e Suguio (2003).

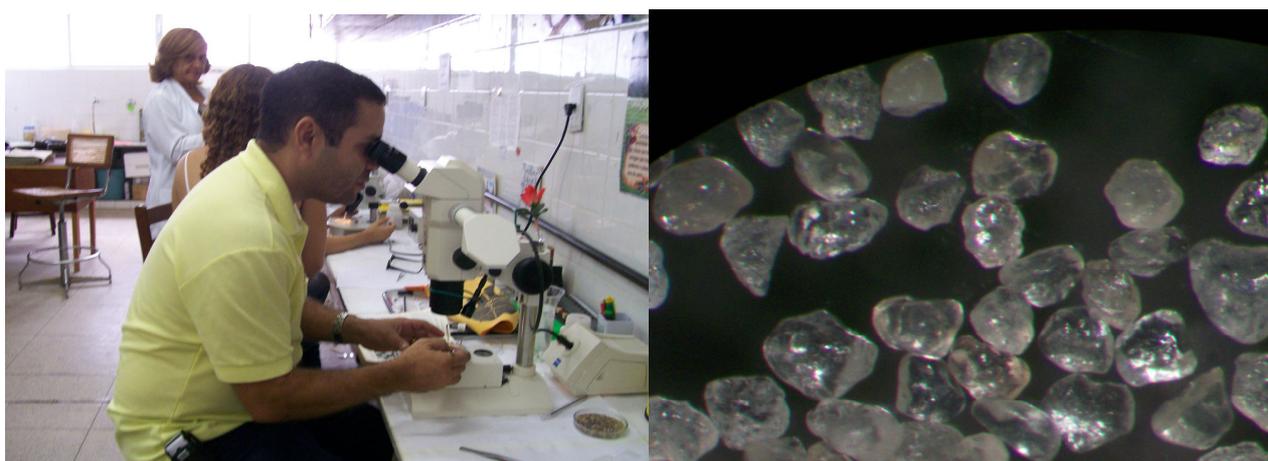


Foto 12 – Análise morfoscópica utilizando Estereomicroscópio e presença de grãos de areia arredondados, subarredondados e subangulosos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DETERMINAÇÃO DA TAXA DE MIGRAÇÃO DAS DUNAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS E AEROFOTOS

A utilização de fotografias aéreas verticais, devidamente georreferenciadas, da mesma localidade, em anos diferentes, possibilita estimativas, confiáveis sobre as alterações ambientais das áreas em análise.

Nesta perspectiva, nos últimos anos, o estudo das feições e formas eólicas existentes nas planícies costeiras brasileiras tem sido realizado a partir do uso de aerofotos e/ou imagens de satélite (em especial, aquelas de alta resolução), por meio de diferentes softwares de geoprocessamento.

A constatação, por parte da população local, de que as dunas móveis nos Lençóis Maranhenses encontram-se em contínuo movimento, constitui um fato corriqueiro. Contudo, é escassa a quantificação deste deslocamento e o mapeamento das áreas onde tal processo ocorre. Para a obtenção de tais medidas de progressão das dunas foram utilizadas medições indiretas, através de fotos aéreas verticais, imagens orbitais e técnicas de geoprocessamento.

5.1.1 Análise da taxa de migração das dunas no setor sudeste do PNLN

Segundo a metodologia explicitada anteriormente, o primeiro setor, situado próximo à Lagoa Azul, com aproximadamente 2,1 km de extensão de eixo maior, apresentou uma significativa progressão das formas barcanóides no sentido nordeste - sudoeste (Figura 28). No período de 1976 a 2004 estas avançaram, em média, 352,5m apresentando taxas de migração entre 10 e 14 m/ano, (taxa média de 12,5m/ano). Na duna próxima à lagoa utilizada como um dos pontos de controle para o georreferenciamento observou-se um deslocamento máximo de 595m, no período analisado, e uma taxa de migração de cerca de 21m/ano.

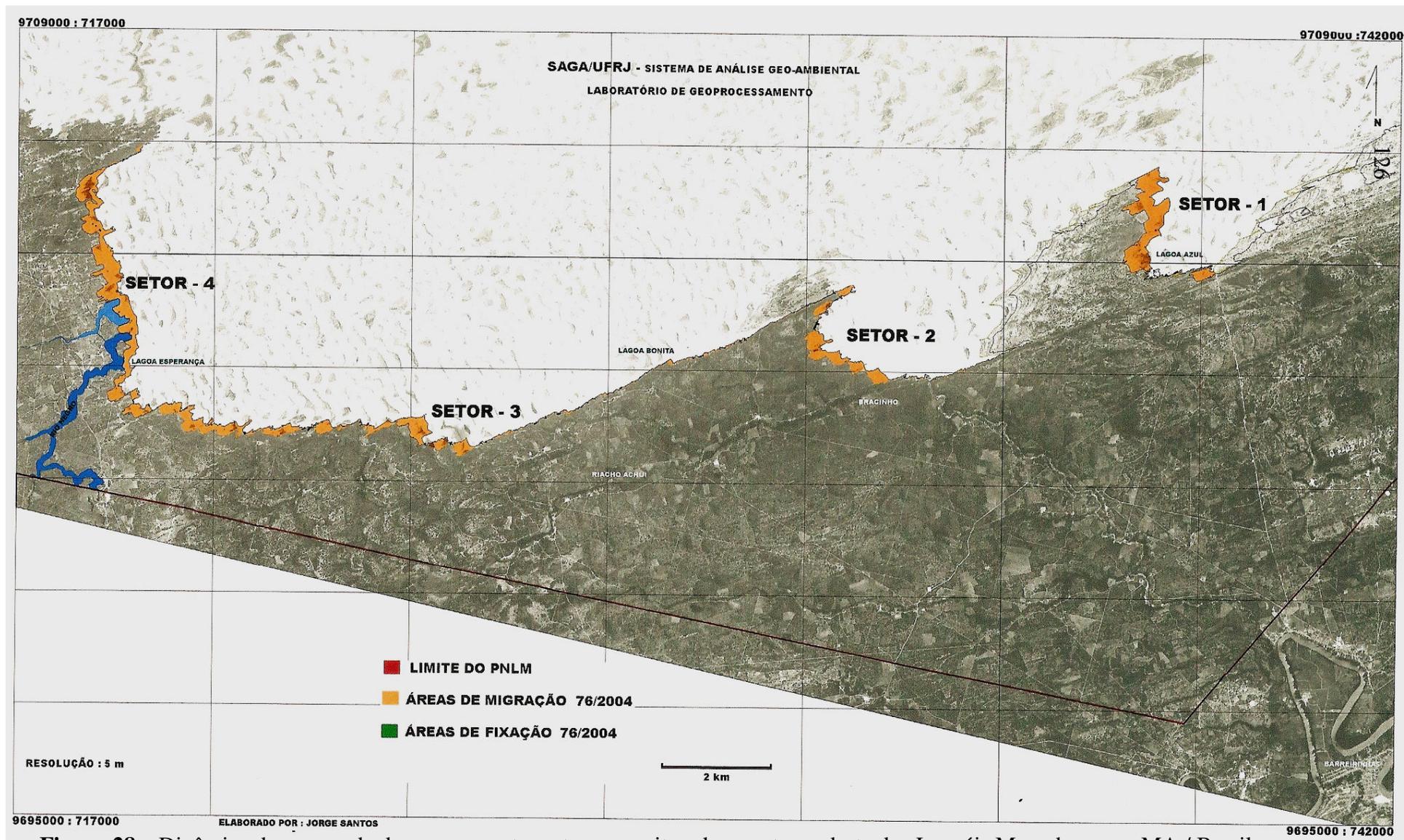


Figura 28 – Dinâmica do campo de dunas nos quatro setores monitorados – setor sudeste dos Lençóis Maranhenses – MA / Brasil

Neste setor ocorreu um soterramento de 73,55 ha, que incluiu 350 metros de duas trilhas (vias de acesso a área) desativadas. O referido avanço processou-se, principalmente, sobre a planície de deflação recoberta por vegetação de restinga de porte arbustivo-herbáceo. A fixação pela vegetação foi observada na borda alongada desse setor, perfazendo um total de 0,65 ha.

As dunas estão em constante migração no local e observou-se, através das imagens e durante as pesquisas de campo, que existe uma linha de vegetação paralela ao sentido predominante dos ventos instalados sobre cômoros (cordões) laterais limitantes das pistas de migração das dunas. Tais elevações alongadas foram denominadas “rastros lineares” (*trailing ridges*), por Giannini et al.(2005). Por vezes, prévios cômoros (cordões) limitantes oferecem obstáculo à migração das dunas, que podem bifurcar-se, gerando duas frentes de migração das areias (Fotografias 13 e 14).

As duas figuras mostram cabalmente como a presença de cômoros laterais determina o prosseguimento da migração das dunas na direção do próprio cômodo, havendo neste caso a divisão das dunas entre 1966 e 1999.

No segundo setor, com 1,8 km de extensão (Figura 28), situado próximo à localidade de Bracinho, a cadeia de dunas transversais avançou, em média, 270m nos últimos vinte e oito anos, com uma taxa de migração estimada entre 8 a 12 m/ano, (média de 9,6 m/ano). Na frente de migração, o deslocamento máximo atingiu 450 m e uma taxa de migração estimada em 16m/ano. A área total soterrada alcançou 36,92ha. Tal migração eólica ocorreu sobre 245m de trilhas, 1,97 ha de áreas agrícolas, presentes em 1976, bem como sobre a vegetação de restinga (arbustivo-arbórea densa). As formas eólicas fixadas pela vegetação representaram cerca de 0,83 ha. Além das bordas, observou-se também a colonização das dunas pela vegetação de restinga na fície de avanço, em um pequeno trecho, demonstrando um papel refreador da vegetação, quanto à migração das areias.

No setor 2, pode-se observar o papel de remoção de areia executada pela drenagem coincidente com a direção estrutural NE/SW. As areias chegam no topo das dunas pela ação do vento descendo por gravidade (avalanche) em direção ao rio que pela sua permanência as remove. Fica assim, criada uma face lateral abrupta do campo de dunas com cerca de 45 m de altura.

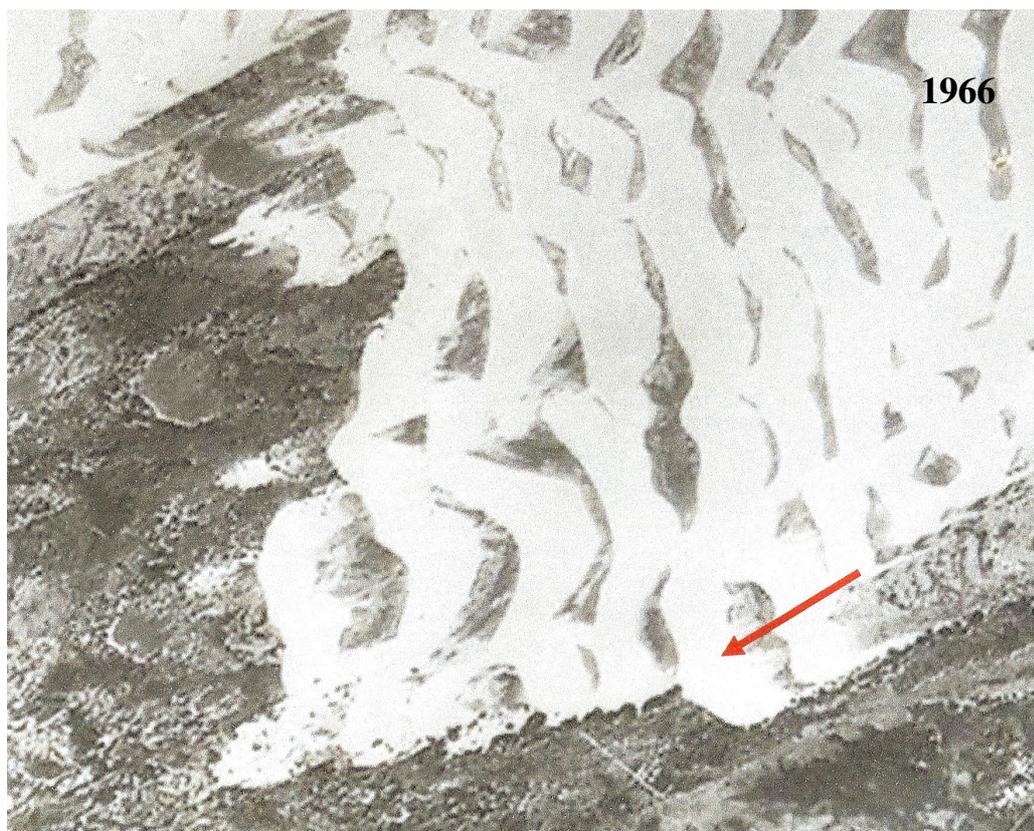


Foto 13 – Dunas migrando em direção ao cordão limitante vegetado (cômodo).

Fonte: fotografia aérea – USAF, 1966.

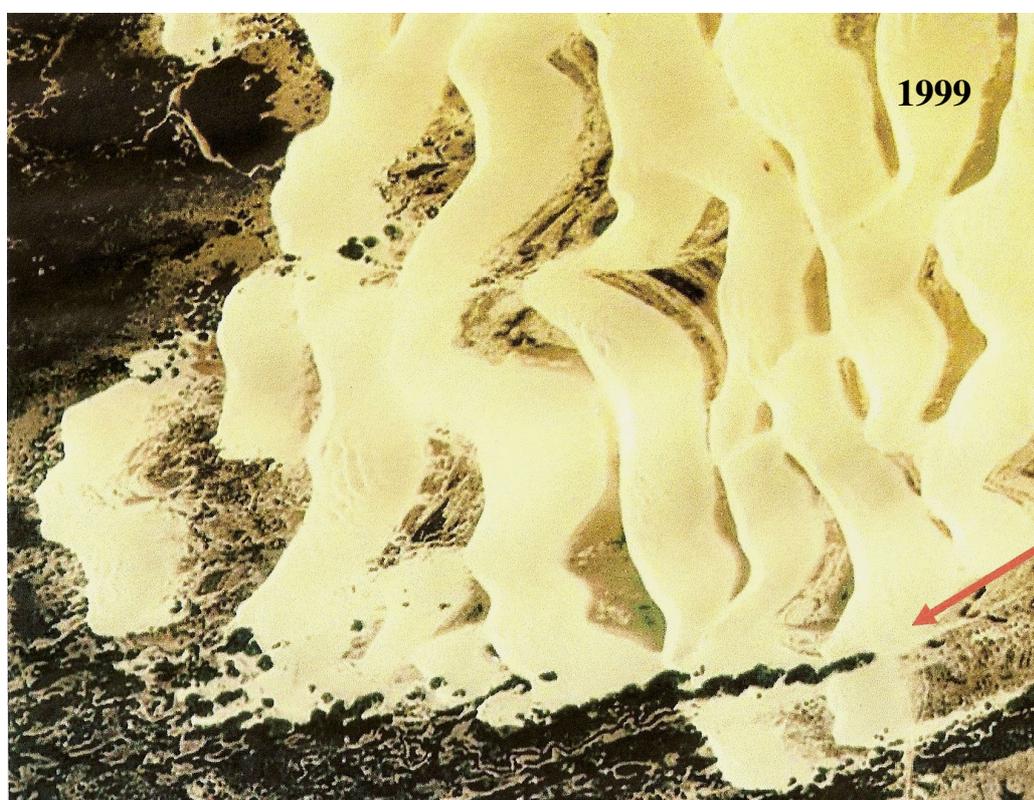


Foto 14 – Bifurcação das dunas gerando duas frentes de migração setor lagoa Azul /PNLM

Fonte: Fotografia aérea – INPE, 1999.

Para explicar a altura excepcional de 40 a 60m de algumas porções do limite lateral do campo de dunas aventa-se a hipótese das dunas atuais terem migrado sobre campos anteriores, nas quais as dunas eram maiores gerando cômoros limitantes laterais mais elevados, que continuam até hoje determinando a direção das dunas transgressivas.

No terceiro setor, com 1,3 km de extensão (Figura 28), situado entre as localidades de Buriti Amarelo e Breu, as dunas progrediram em média 226,1m com uma taxa estimada entre 6 a 10 m/ano (média 8,1 m/ano). A frente dunar que mais se deslocou atingiu aproximadamente 420m, a uma taxa de 15m/ano.

A superfície soterrada foi de 25,61 ha, sendo que as principais entidades atingidas foram: trilhas (440 m), áreas agrícolas (0,10 ha) e pequenos cursos d'água. Nesse local da borda do campo de dunas tem-se a presença da vegetação de restinga arbustivo-arbórea, sobre as paleodunas, bem como também a ocorrência de riachos e áreas sujeitas à inundação. A colonização das dunas pela vegetação foi aparentemente pequena, com apenas 0,16 ha. Ao longo do limite entre este trecho até o quarto e último setor, notou-se uma maior quantidade de áreas onde ocorreu tanto a fixação, quanto uma pequena retração das dunas, devido à erosão existente no período chuvoso, quando há o aumento da vazão dos citados riachos.

O quarto e último setor (Figura 28) caracteriza-se por ser o mais extenso (4,3 km de largura) e o mais interiorizado (com cerca de 26 km perpendicularmente à linha de praia) do PNLM. Neste trecho, situado entre a lagoa Esperança e a localidade de Mocambo, foram soterrados 112,02 ha. Nos locais onde existe o contato do campo de dunas com o rio Negro, detectou-se uma diminuição no avanço das dunas (apenas 188m), com uma taxa de migração de 4,2 m/ano. O avanço médio da área total foi calculado em 333,6 m, com um deslocamento médio no período de 11,9 m/ano. Ao longo do referido setor, algumas áreas tiveram um avanço entre 370 e 550m à taxa máxima de migração de aproximadamente 19,6 m/ano.

Neste local, o deslocamento das dunas transversais e das cadeias de barcanóides foram responsáveis pelo soterramento de cerca de 2,9 km das trilhas arenosas, 1,87 ha de áreas agrícolas e 11,75 ha das drenagens locais, em especial do rio Negro (Figura 29). A fixação destas formas eólicas (0,03 ha.) foi considerada insignificante, comprovando assim, a tendência da contínua migração daquelas no sentido NE/SW, principalmente no período de estiagem.

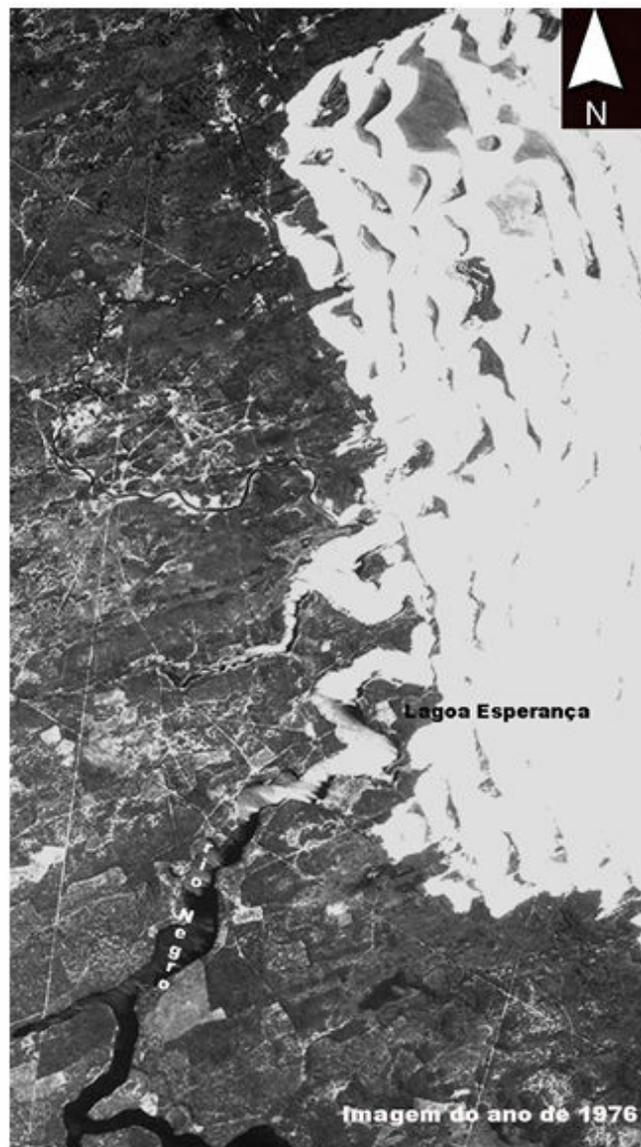


Figura 29 – Vista em detalhe do soterramento ocorrido sobre os recursos hídricos, cobertura vegetal, áreas agrícolas e trilhas do PNLM no período de 1976 a 2004.

Em síntese, constatou-se que o primeiro setor foi o que apresentou maior taxa de deslocamento das dunas, devido, provavelmente, a menor distância em relação à área litorânea, de ventos mais fortes e constantes, bem como ao menor porte e densidade da cobertura vegetal ao longo da planície onde ocorre a migração eólica.

No segundo e terceiro setores, a maior altura dos cômoros, na lateral do campo em análise, atua como um obstáculo natural, associada à vegetação mais densa e a presença de pequenos cursos d'água na base dos cômoros que terminam por orientar e, eventualmente, retardar a citada migração.

O quarto setor constitui o que apresenta o maior risco de soterramento das diferentes entidades locais pelas dunas. Estas, além de avançarem sobre os recursos hídricos, áreas agrícolas e vias de acesso, apresentam uma contínua migração em direção aos povoados situados próximos, no sentido preferencial de deslocamento das referidas formas eólicas.

5.1.2 Análise da taxa de migração das dunas no setor Lagoa Azul: dunas b1, b3 e da frente de dunas em direção à Lagoa do Peixe.

A análise comparativa dos limites das dunas e da frente de dunas em relação à lagoa do Peixe foi realizada medindo-se duas posições de cada vez (1966 a 1976, 1976 a 1999 e 1999 a 2004), identificando-se a migração total ocorrida no intervalo de 38 (trinta e oito) anos. Os cálculos das distâncias foram realizados, tanto entre as linhas limítrofes das diferentes posições das dunas e da frente de dunas barcanóides e transversais até a margem da lagoa do Peixe, quanto em relação a pontos fixos (trilhas, árvores e demais feições morfológicas) presentes em todas as fotografias (Figuras 30, 31, 32 e 33), semelhantemente ao realizado por Tomazelli (1993).

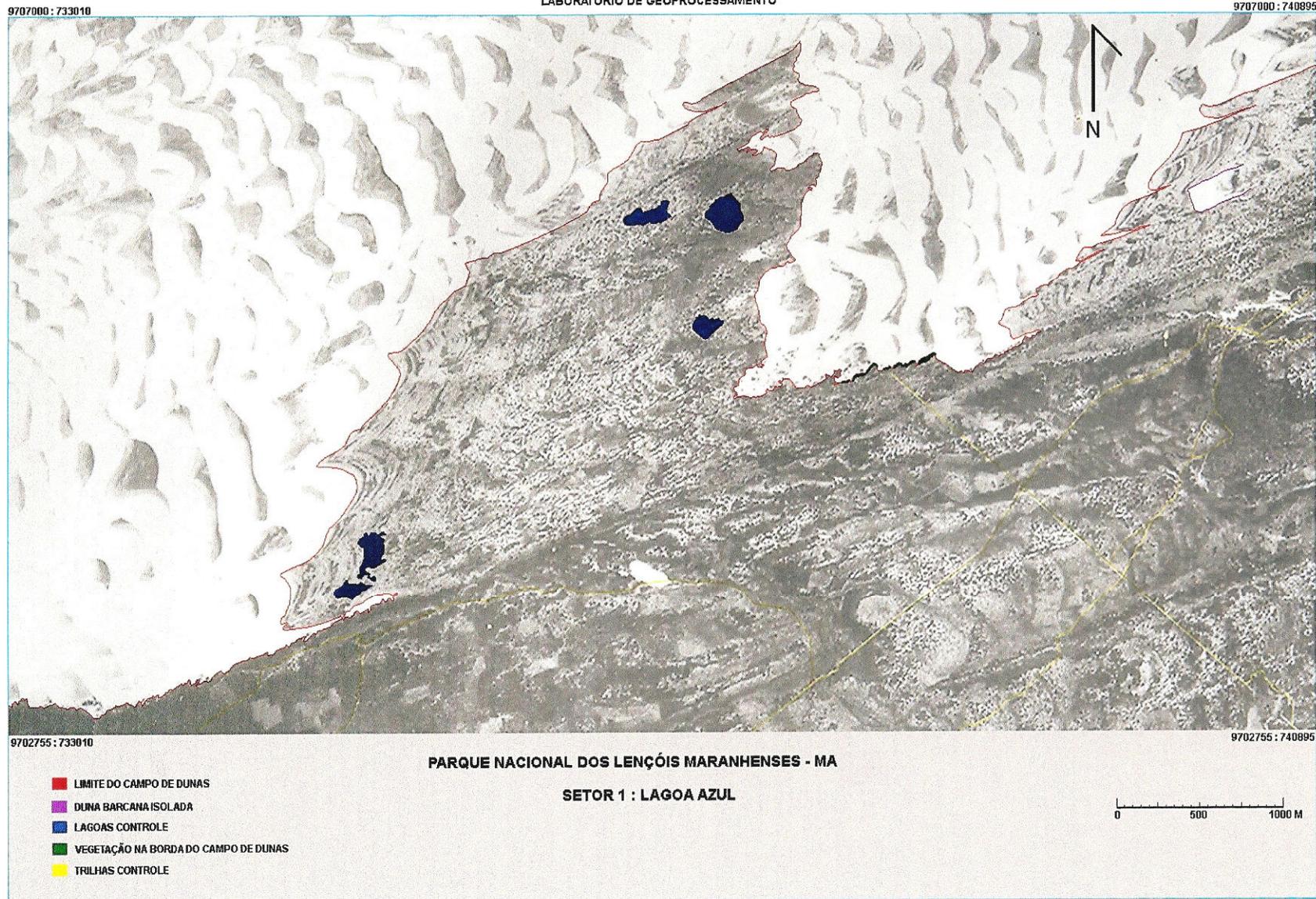


Figura 30 – Limites do campo de dunas do setor lagoa Azul no ano de 1966 – Barreirinhas / MA

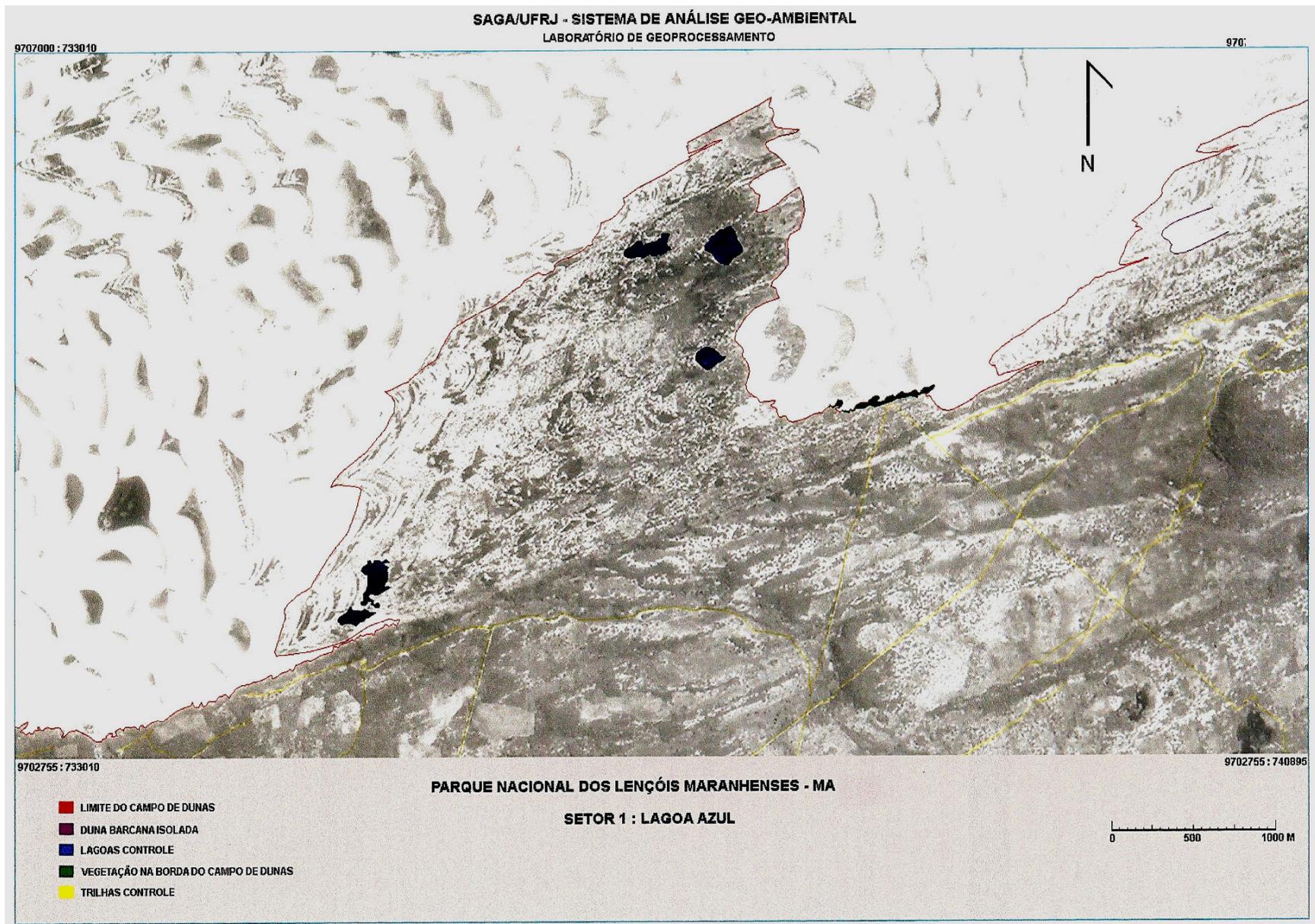
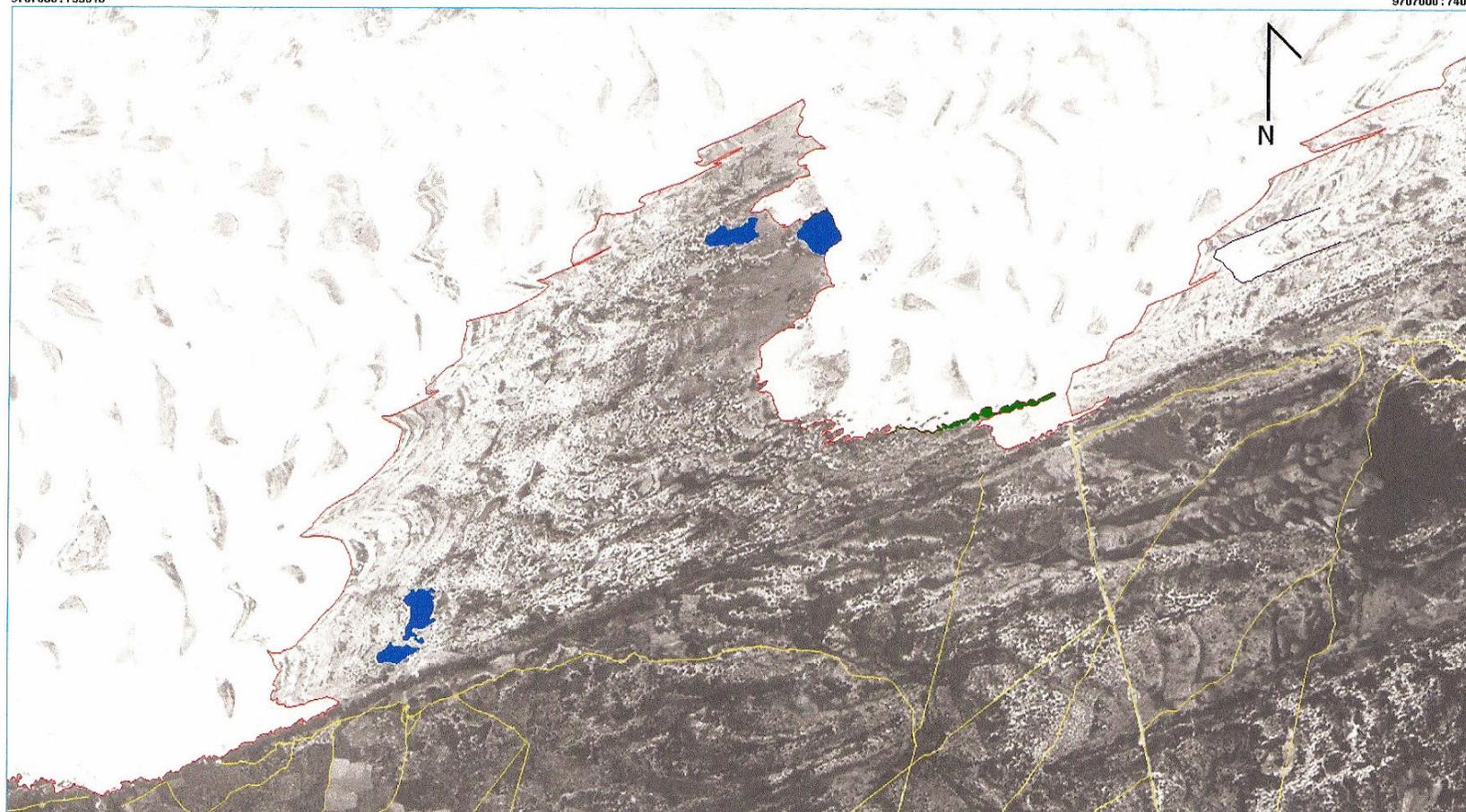


Figura 31– Limite do campo de dunas do setor lagoa Azul no ano de 1976 – Barreirinhas / MA



- LIMITE DO CAMPO DE DUNAS
- DUNA BARCANA ISOLADA
- LAGOAS CONTROLE
- VEGETAÇÃO NA BORDA DO CAMPO DE DUNAS
- TRILHAS CONTROLE

PARQUE NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES - MA
SETOR 1 : LAGOA AZUL

1000 M

Autor : Jorge Hamilton S. dos Santos

Figura 32 – Limites do campo de dunas do setor lagoa Azul no ano de 2004 – Barreirinhas.

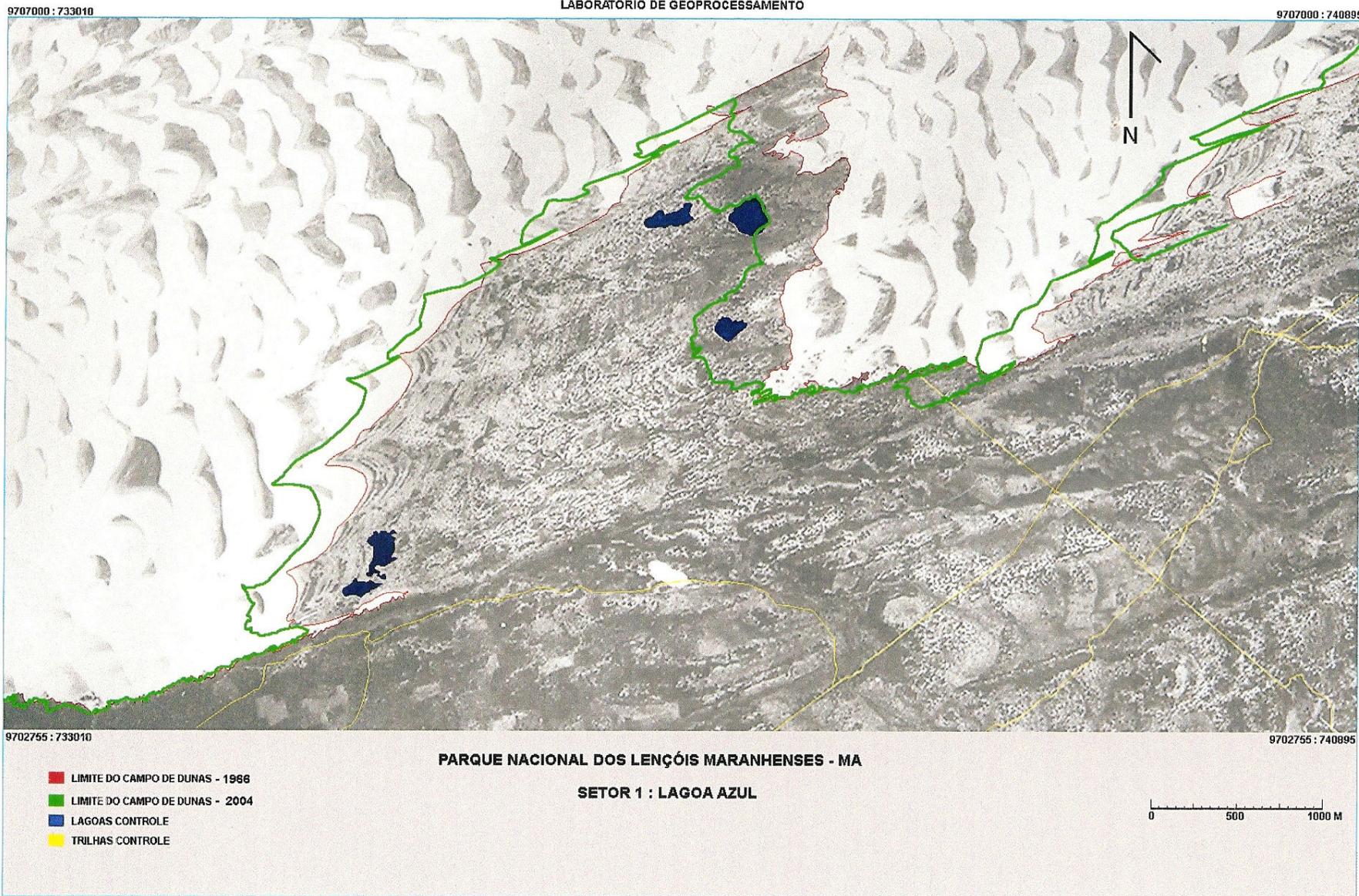


Figura 33 – Limites do campo de dunas do setor lagoa Azul nos anos de 1966 a 2004 – Barreirinhas / MA

Definidos os critérios realizaram-se as medições da frente de dunas em relação à lagoa, bem como das dunas b1 e b3.

A) Migração da frente de dunas em relação à Lagoa do peixe.

A referida lagoa situa-se na planície de migração subatual do campo de dunas do PNLN e tem seu espelho d'água delimitado por depósitos eólicos pretéritos de aproximadamente 3 m de altura.

A mesma apresenta um canal emissário por onde, no período de estiagem suas águas são drenadas, até um determinado limite, em direção à planície de deflação subatual, caracterizada pela presença de montes residuais (eólicos) parcialmente vegetados situados à sua frente. Dentre as inúmeras lagoas situadas na citada UC a mesma é classificada como permanente.

De acordo com os dados do Quadro 07, a lagoa em questão distava em média 417,9 m em relação ao campo de dunas (em 1966). Sendo assim, pode-se constatar que nos períodos de:

- a) 1966 a 1976 - as dunas avançaram em média 76,1 m correspondendo a uma taxa de migração de 7,6 m/ano;
- b) 1976 a 1999 - as dunas avançaram em média 272,73 m, correspondendo a uma taxa de migração de 11,9 m/ano;
- c) 1999 a 2004 - as dunas avançaram em média 68,59 m, correspondendo a uma taxa de migração de 13,7 m/ano.

Dessa maneira, constatou-se que no primeiro período amostrado, houve uma menor progressão do campo de dunas em relação à lagoa do Peixe, do que no segundo e terceiro períodos analisados. Considerando-se os três intervalos discriminados, a média de migração para o intervalo de 38 (trinta e oito) anos ficou em 11,0 m/ano. Todavia, se considerarmos os dois períodos (B e C) entre os anos de 1976 a 2004, essa velocidade média do campo de dunas em direção à lagoa do Peixe atingiu 12,8 m/ano.

Especificamente em relação ao período compreendido entre 1999 a 2004, observou-se que, dos 10 pontos medidos a partir da borda da lagoa (mais próxima da frente de dunas transgressivas), seis locais estavam entre 10,1 m e 1,3 m de distância das dunas, em dois pontos a frente de dunas barcanóides e transversais, alcançou a borda do ambiente lacustre; nos outros dois pontos, as dunas avançaram 6,9 m e 11,8 m diminuindo o espelho d'água da lagoa.

Quadro 07 – Determinação das taxas de migração das frentes de dunas barcanóides e transversais em direção a lagoa do Peixe, localizada no PNLN, Barreirinhas –MA, a partir de fotografias aéreas verticais multitemporais.

Pontos de medição	Coordenadas dos pontos	Distância da lagoa em relação a frente de dunas em 1966 (m)	Coordenadas dos pontos	Distância da lagoa em relação a frente de dunas em 1976 (m)	Migração entre 1966 e 1976 (m)	Coordenadas dos pontos	Distância da lagoa em relação a frente de dunas em 1999 (m)	Migração entre 1976 e 1999 (m)	Coordenadas dos pontos	Distância da lagoa em relação a frente de dunas em 2004 (m)	Migração entre 1999 e 2004 (m)	Migração total de 1966 A 2004 (m)
1	9705935/737380 9706140/737645	335,0	9705940/737380 9706060/737545	204,7	130,3	9705935/737375 9705985/737430	71,5	133,2	9705935/737375 9705935/737380	1,7	69,8	333,3
2	9705915/737395 9706065/737610	271,4	9705915/737395 9706025/737545	184,5	86,9	9705915/737400 9705950/737460	70,7	113,8	9705915/737400	0,0	70,7	271,0
3	9705900/737405 9706070/737615	269,3	9705900/737405 9706025/737580	216,4	52,9	9705900/737405 9705935/737470	72,1	144,3	9705900/737405 9705900/737410	1,6	70,5	267,7
4	9705890/737415 9706075/737640	288,3	9705890/737415 9706030/737600	236,0	52,3	9705890/737415 9705935/737475	72,9	163,1	9705900/737415	0,0	72,9	288,3
5	9705880/737425 9706085/737690	334,0	9705880/737410 9706075/737670	322,3	11,7	9705880/737430 9705920/737485	65,2	257,1	9705880/737430 9705880/737415	-11,8	77,0	345,8
6	9705855/737430 9706115/737810	466,2	9705855/737415 9706110/737815	456,1	10,1	9705855/737430 9705895/737510	90,6	365,5	9705855/737430 9705855/737425	-6,9	97,5	473,1
7	9705825/737440 9706150/737910	568,1	9705830/737435 9706085/737825	464,1	104,0	9705830/737430 9705880/737515	95,2	368,9	9705830/737430 9705830/737440	10,1	85,1	558,0
8	9705815/737445 9706130/737920	569,5	9705815/737445 9706045/737825	444,6	124,9	9705815/737445 9705855/737510	75,0	369,6	9705815/737445 9705815/737450	2,4	72,6	567,1
9	9705805/737450 9706095/737915	547,6	9705805/737450 9706055/737825	447,5	100,1	9705805/737450 9705840/737505	65,2	382,3	9705805/737450 9705805/737455	6,6	58,6	541,0
10	9705775/737450 9706055/737905	530,0	9705780/737450 9706015/737820	442,0	88,0	9705780/737450 9705790/737460	12,5	429,5	9705780/737450 9705780/737455	1,3	11,2	528,7
Migração média do período	-	-	-	-	76,1 m	-	-	272,7	-	-	68,6 m	417,4m
Migração Média anual	-	-	-	-	7,6, m/ano	-	-	11,9 m/ano	-	-	13,7 m/ano	11,1

Ainda a partir das medições realizadas sobre a imagem SPOT-5 (set/ 2004), pôde-se determinar um comprimento da lagoa de aproximadamente 100 m. Desta forma, caso as dunas migrem numa velocidade mínima de 7,6 m/ano o prognóstico para que a mesma seja completamente soterrada seria em torno de 13 (treze) anos. Neste mesmo raciocínio, se utilizarmos a taxa de migração máxima obtida, o soterramento completo da lagoa do Peixe deverá ocorrer em apenas sete anos e três meses, ou seja, em dezembro de 2011.

O desaparecimento do ambiente lacustre representará uma grande perda para os donos de agências de turismo, toyoteiros, moradores locais e os turistas, pois a mesma, além de localizar-se relativamente próxima ao estacionamento do setor lagoa Azul (aproximadamente 15 minutos de caminhada sobre as dunas), caracteriza-se como uma lagoa permanente, em que mesmo no período de estiagem, não chega a secar, permitindo os passeios turísticos com direito a banho.

B) Duna barcana b1.

A duna em questão (localizada nas proximidades do local de acesso à Lagoa Azul), originada a partir da divisão de uma duna barcanóide (Fotos 11 e 12), encontra-se em migração sobre uma planície de deflação caracterizada pela ocorrência de lagoas intermitentes e uma vegetação de restinga de porte herbáceo-arbustivo sujeito a freqüentes alagamentos no período de chuvas. Além destes aspectos, a mesma apresenta-se ancorada no seu braço direito pelo cômodo lateral vegetado de aproximadamente 15 m de altura, o que, somado com as características anteriores, proporciona uma menor velocidade de deslocamento, se comparada com outras dunas sem presença de obstáculos que dificultem a sua migração.

A referida duna foi selecionada para o estudo no intuito de saber a que velocidade uma duna com um dos seus braços ancorados migraria, ao longo dos anos. Assim, como demonstrado no Quadro 08, constata-se que a duna b1 apresentou uma taxa de deslocamento semelhante ao do campo de dunas sobre a Lagoa do Peixe, pois no primeiro período (1966 a 1976) a mesma avançou 7,3 m/ano e nos dois períodos seguintes - 1976 a 1999 e 1999 a 2004 - progrediu 12,9 m/ano e 11,7 respectivamente, no sentido preferencial de NE/SW.

Quadro 08 – Determinação das taxas de migração da duna barcana b1, localizada no (Setor lagoa Azul- PNLM, Barreirinhas -MA.), obtidas a partir de fotografias aéreas verticais multitemporais.

Pontos de medição (duna b1)	Coordenadas entre os pontos medidos	Medida entre as dunas de (66 a 76) (m)	Taxa de migração (66 a 76) (m/ano)	Coordenadas entre os pontos medidos	Medida entre as dunas de (76 a 99) (m)	Taxa de migração (76 a 99) (m/ano)	Coordenadas entre os pontos medidos	Medida entre as dunas de (99 a 04) (m)	Taxa de migração (99 a 04) (m/ano)	Migração total de 1966 A 2004 (m)
01	9704865/738775 9704820/738695	89,6	9,0	9704835/738660 9704705/738390	299,7	13,0	9704705/738405 9704680/738340	68,7	13,7	458,0
02	9704875/738735 9704830/738665	85,6	8,6	9704845/738645 9704720/738360	308,9	13,4	9704720/738360 9704695/738315	53,7	10,7	448,2
03	9704895/738705 9704850/738645	80,0	8,0	9704865/738625 9704740/738350	301,0	13,1	9704740/738350 9704715/738295	57,4	11,5	438,4
04	9704915/738685 9704870/738625	77,0	7,7	9704880/738615 9704765/738335	301,3	13,1	9704760/738340 9704735/738290	59,7	11,9	438,0
05	9704925/738660 9704885/738610	67,5	6,7	9704890/738605 9704780/738330	293,8	12,8	9704785/738325 9704755/738265	64,2	12,8	425,5
06	9704935/738640 9704905/738600	50,0	5,0	9704905/738600 9704790/738320	290,3	12,6	9704810/738290 9704795/738265	40,0	8,0	380,3
07	9704940/738635 9704910/738575	63,1	6,3	9704905/738575 9704800/738305	287,4	12,5	9704830/738265 9704800/738245	66,5	13,3	417,0
Migração Média no período	–	73,2 m	–	–	297,5 m	–	–	58,6 m	–	429,3 m
Taxa de migração anual	–	–	7,3 m/ano	–	–	12,9 m/ano	–	–	11,7 m/ano	10,6 m/ano

A) Duna barcana b3

A duna b3 situa-se sobre uma planície de deflação, bastante plana sem significativas depressões com presença de alagamentos, colonizada, predominantemente por uma vegetação herbácea, com eventuais montes residuais, parcialmente vegetados, ao longo do seu percurso.

Observando o Quadro 09, constata-se que a duna b3 apresentou velocidades de deslocamento relativamente semelhantes nos períodos de 1976 a 1999 e de 1999 a 2004, com taxas de migração de 20,4 e 20,1 m/ano, respectivamente.

Quanto ao intervalo compreendido entre 1966 e 1976 houve uma considerável diminuição da migração daquela para 12,8 m/ano. Ao longo dos trinta e oito anos planimetrados a duna percorreu em média 696,7m, com uma taxa de deslocamento correspondente a 18,3m.

A hipótese mais plausível para esta redução das migrações da frente de dunas e das formas eólicas b1 e b3, deve-se dentre outros fatores, a um excedente hídrico representado pelos elevados índices pluviométricos experimentados em Barreirinhas, principalmente nos anos de 1969, 1973, 1974 e 1975, (Quadro 01). De acordo com os dados constantes nesse quadro, a média anual das chuvas no período de 1967 a 1991 foi 1.584 mm. Todavia, no Quadro 10, pode-se observar que nos quatro anos elencados, as precipitações pluviométricas ficaram acima da média local, principalmente nos anos de 1973 a 1975.

Embora, entre os anos de 1966 a 1976 tenha ocorrido seis anos onde as precipitações tenham ficado um pouco abaixo da média do período em questão, acredita-se que o excedente de 2.022 mm, ocorrido principalmente nos três anos anteriores à tomada da fotografia aérea utilizada para as medições referentes a migração das dunas, justifique, pelo menos em parte, a significativa redução observada dos valores de progressão obtidos no primeiro intervalo de tempo, se comparado aos dois últimos períodos analisados de 1976 a 1999 e 1999 a 2004. Os referidos dados pluviométricos, com destaque para os dois últimos anos (Quadro 10), estão em concordância com o estudo realizado por Aragão (2004), sobre as precipitações pluviométricas do nordeste brasileiro, onde o mesmo reconheceu, dentre outros, os anos de 1973, 1974 e 1975 como os que apresentaram um excesso de chuva. Merecem destaque os anos de 1973 a 1975 que de acordo com os dados da tabela 02 e Aragão (2004) apresentaram a ocorrência do fenômeno La Niña. Conforme Castro (2004) e Carvalho et al. (2006), o setor norte da região NE do Brasil em anos de La Niña apresenta chuvas acima da média local.

Quadro 09 – Determinação das taxas de migração da duna barcana b3, localizada no (Setor lagoa Azul- PNLM, Barreirinhas -MA.), obtidas a partir de fotografias aéreas verticais multitemporais.

Pontos de medição (duna-b3)	Coordenadas entre os pontos medidos	Medida entre as dunas de (66 a 76) (m)	Taxa de migração (66 a 76) (m/ano)	Coordenadas entre os pontos medidos	Medida entre as dunas de (76 a 99) (m)	Taxa de migração (76 a 99) (m/ano)	Coordenadas entre os pontos medidos	Medida entre as dunas de (99 a 04) (m)	Taxa de migração (99 a 04) (m/ano)	Migração total de 1966 A 2004 (m)
01	9705815/740190 9705765/740070	132,0	13,2	9705765/740070 9705590/739645	461,2	20,1	9705590/739680 9705560/739605	82,1	17,9	675,3
02	9705840/740165 9705780/740055	122,9	12,3	9705790/740055 9705625/739630	455,9	19,8	9705625/739635 9705590/739560	84,3	16,9	663,1
03	9705860/740160 9705820/740060	114,1	11,4	9705820/740065 9705640/739625	474,1	20,6	9705650/739620 9705620/739545	81,4	16,3	669,6
04	9705865/740145 9705825/740055	115,0	11,5	9705830/740055 9705660/739615	471,7	20,5	9705685/739600 9705650/739510	98,7	19,7	685,4
05	9705905/740140 9705855/740020	146,9	14,7	9705845/740035 9705680/739605	460,1	20,0	9705720/739555 9705685/739460	101,8	20,4	708,8
06	9705930/740135 9705885/740005	135,1	13,5	9705865/740010 9705705/739575	463,5	20,2	9705745/739560 9705695/739450	122,2	23,1	720,8
07	9705940/740130 9705940/740010	130,3	13,0	9705900/740010 9705725/739550	491,6	21,4	9705780/739580 9705725/739460	131,9	26,4	753,8
Migração Média no período	-	128,04 m	-	-	468,3 m	-	-	100,3 m	-	696,7 m
Taxa de migração anual	-	-	12,8 m/ano	-	-	20,4 m/ano	-	-	20,1 m/ano	18,33 m/ano

Quadro 10 – Principais índices pluviométricos, acima da média, registrados no período de 1967 a 1976, em Barreirinhas-MA.

Anos	Precipitação pluviométrica (mm)	% acima da média
1969	1.696	7,1
1973	1731	9,3
1974	3.118	96,8
1975	1.925	21,5

Fonte: Adaptado de Maranhão, 2003.

5.2 DETERMINAÇÃO DA TAXA DE MIGRAÇÃO DAS DUNAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE PIQUETES

A medição das distancias com base em piquetes já descrita anteriormente foi realizada com uma trena de 50m (Foto 15).



Foto 15 - Medição da distância dos piquetes instalados em relação às dunas no PNLM (janeiro / 2007).

Também como mencionado anteriormente, as dunas b1 e b2 encontram-se ancoradas pelo seu braço direito a um cômodo lateral vegetado de aproximadamente 15m de altura, enquanto a duna b3 migra livremente sem a presença de obstáculos à sua frente.

Como resultado da tabulação dos dados obtidos em campo, foram confeccionados os gráficos com os respectivos valores de deslocamento das dunas, para posterior análise dos resultados, apresentados a seguir.

5.2.1 Duna barcana (b1)

A duna barcana b1, situada 143,5m a frente da duna b2 (Foto 16), com altura média de 6,5m e 107m de largura e sentido de migração NE/SW, apresentou uma significativa diferença em suas taxas de migração entre o período chuvoso e o de estiagem. Nos três períodos monitorados entre agosto e dezembro (Figura 34), correspondentes a estação de estiagem, os ventos são mais intensos e a duna migra uma média de 9m a cada 5 meses. Nas estiagens dos anos de 2006 e 2007, o avanço de 8,0 e 9,6 m representou 68,4% e 71,1% de cada total migrado (11,7 e 13,5m respectivamente).



Foto 16 – Foto aérea do setor Lagoa Azul, com a identificação das dunas b1, b2 e b3 monitoradas em campo, no período de agosto de 2005 a dezembro de 2007.

Fonte: INPE, 1999.

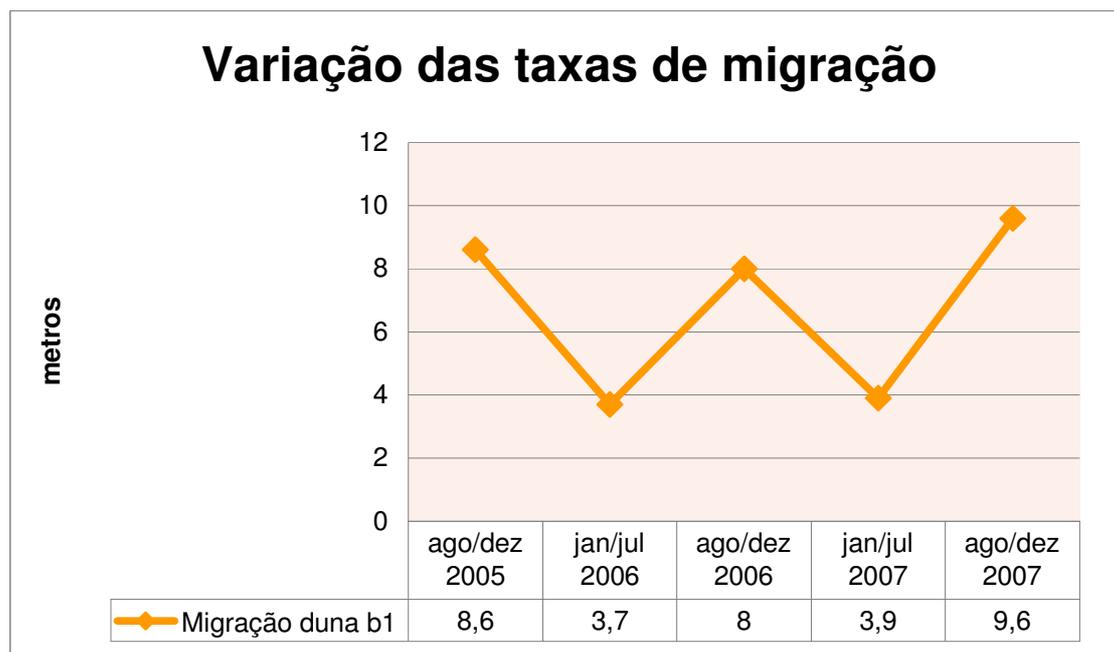


Figura 34 - Variação do processo de migração da duna barcana b1 no período chuvoso e de estiagem - setor Lagoa Azul, PNLN/ Barreirinhas - MA.

Embora a referida duna encontre-se ancorada no seu braço direito, a velocidade elevada do vento, medido com anemômetro digital durante os trabalhos de campo (estiagem), as quais variaram de 5 a 7 m/s no 1º semestre do ano (chuvas) e de 7 a 11 m/s no 2º semestre, foram responsáveis por um deslocamento total de 34,7 m durante os 29 meses de monitoramento. Considerando, somente os anos de 2006 e 2007, a taxa média anual de migração ficou em 12,6 m/ano.

5.2.2 Duna barcana (b2)

A duna b2, situada a cerca de 70m do estacionamento do ponto turístico Lagoa Azul, com altura média de 5,5 x 118,0 m de largura e sentido de deslocamento NE/SW, semelhantemente a duna anterior, apresentou também, como esperado, uma maior progressão no período de agosto a dezembro (período de estiagem). Em observação a figura 35, constata-se que as distâncias migradas no período de estiagem nos anos de 2006 (9,0m) e 2007 (9,8m) corresponderam respectivamente a 69,8% e 70,5% do total anual deslocado pelas dunas. O deslocamento da duna b2, durante todo o período de monitoria (29 meses), foi bastante parecido com a duna b1, uma vez que a mesma percorreu 35,5 m. No tocante a taxa de migração, esta ficou um pouco acima da duna b1, com 13,4 m/ano. Essa maior velocidade deve-se provavelmente a menor presença de cobertura vegetal, lagoas e áreas susceptíveis a inundação à sua frente, quando comparada com a duna b1 (Foto 17).

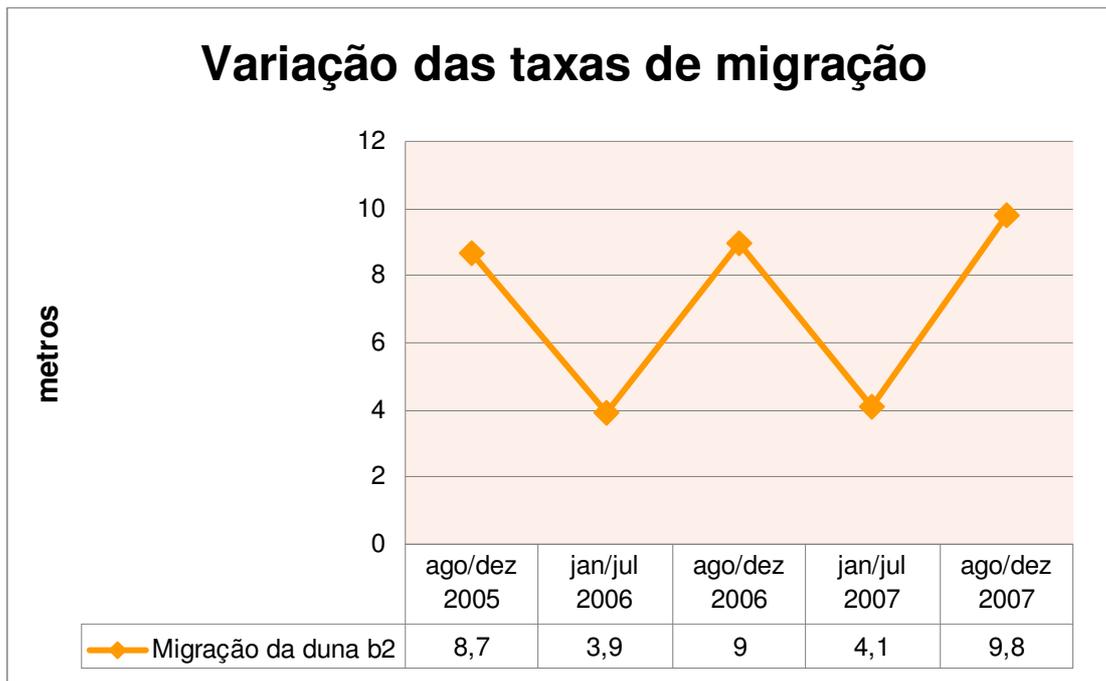


Figura 35 - Variação do processo de migração da duna barcana b2 no período chuvoso e de estiagem - setor lagoa Azul, PNLM/ Barreirinhas - MA.



Foto 17 – Vista aérea das dunas b1 e b2 com presença de áreas alagadas principalmente a frente da duna b1 (sobrevôo à área em maio de 2006 - estação chuvosa).

A partir da visualização da figura 36, onde constam os dados mais detalhados referentes à duna b2, constata-se que nos seis primeiros meses de 2006 (período das chuvas), a migração das dunas é praticamente interrompida, principalmente nos meses de março a junho quando ocorrem intensas precipitações devido o deslocamento da ZCIT na área de estudo.

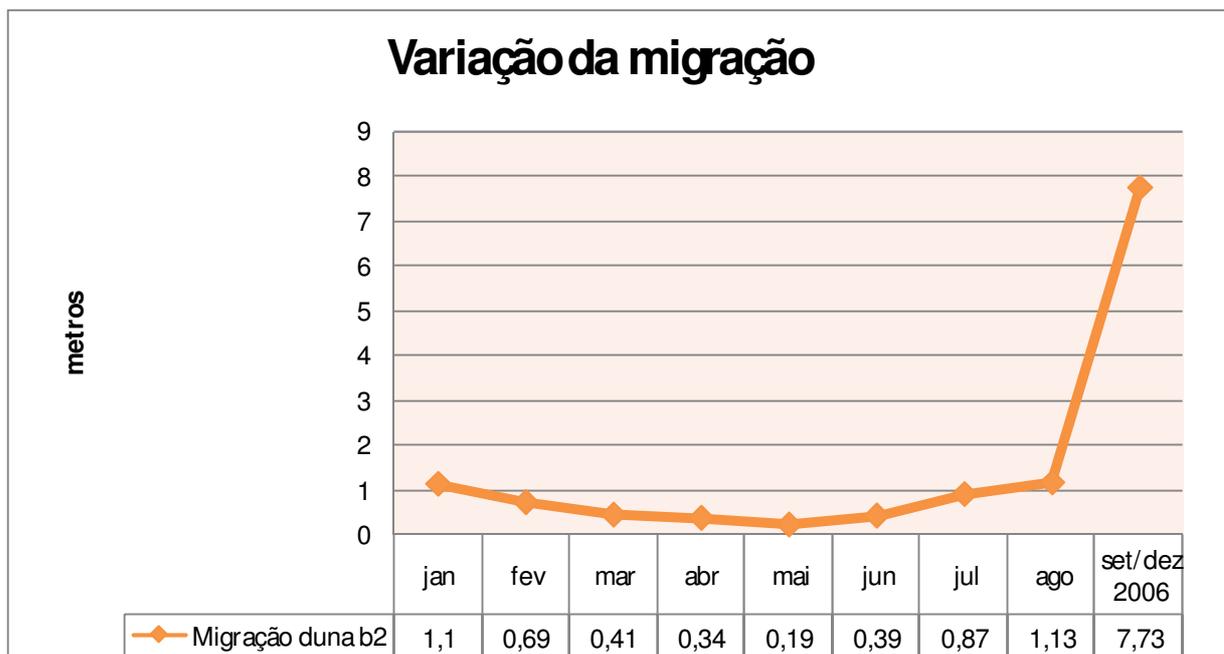


Figura 36 – Variação do processo de migração da duna b2, no ano de 2006, com destaque para as medidas efetuadas durante o período chuvoso-setor lagoa Azul-PNLM.

Nos anos em que as chuvas não ocorrem com elevada intensidade e frequência no mês de janeiro, tem-se ainda uma significativa migração das dunas, pois os dias sem chuva possibilitam que os grãos de areia sequem e entrem novamente em trânsito, fato este constatado por Castro (2001) e Rangel (2005) nos campos de dunas de Paracuru - CE e do Però - RJ, respectivamente. Embora em alguns anos a chuva cesse no mês de junho, a migração só apresentará deslocamentos significativos a partir do final de julho, ou início de agosto, devido a considerável quantidade de água retida nas lagoas interdunares e nas depressões existentes na planície de deflação eólica.

5.2.3 Duna barcana (b3)

A duna b3, situada 1,2 km à retaguarda da duna b2, apresenta uma altura de 7,5m e 178,4 m de largura. Esta duna, até dezembro de 2007, encontrava-se migrando sobre uma planície, sem obstáculos em seu percurso que pudessem reduzir significativamente a sua velocidade. Todavia, no último trabalho de campo, em 29 de dezembro de 2007, pôde-se observar que a mesma alcançou um pequeno cordão arenoso (rastros de uma duna pretérita), o qual certamente irá reduzir ou até mesmo poderá ocasionar a bifurcação da mesma, em duas frentes de migração.

Durante os meses de estiagem (agosto a dezembro) a duna avançou significativamente (Figura 37), com valores entre 18,8 a 19,9 m, provavelmente devido a

menor quantidade de obstáculos e a menor quantidade de água retida no solo arenoso a sotavento. Observou-se também que nos anos de 2006 e 2007 os valores de 78,7% e 77,1%, respectivamente, da migração total (23,9m e 25,8m) desta forma eólica, ocorreu nos últimos 5 meses do ano, ou seja entre agosto e dezembro.

Quando do início do referido monitoramento (agosto de 2005), existia um pequeno arbusto situado a uma distância de 63m da duna b3, a qual já foi soterrada, pois nestes 29 meses esta duna percorreu uma distância total de 68,6m, demonstrando, assim, o seu significativo dinamismo ao longo da planície de deflação, sob a ação dos ventos de E e NE. Durante os meses de janeiro a julho a duna avançou muito pouco, se comparada ao período de estiagem, com valores entre 5,1 e 5,9 m.

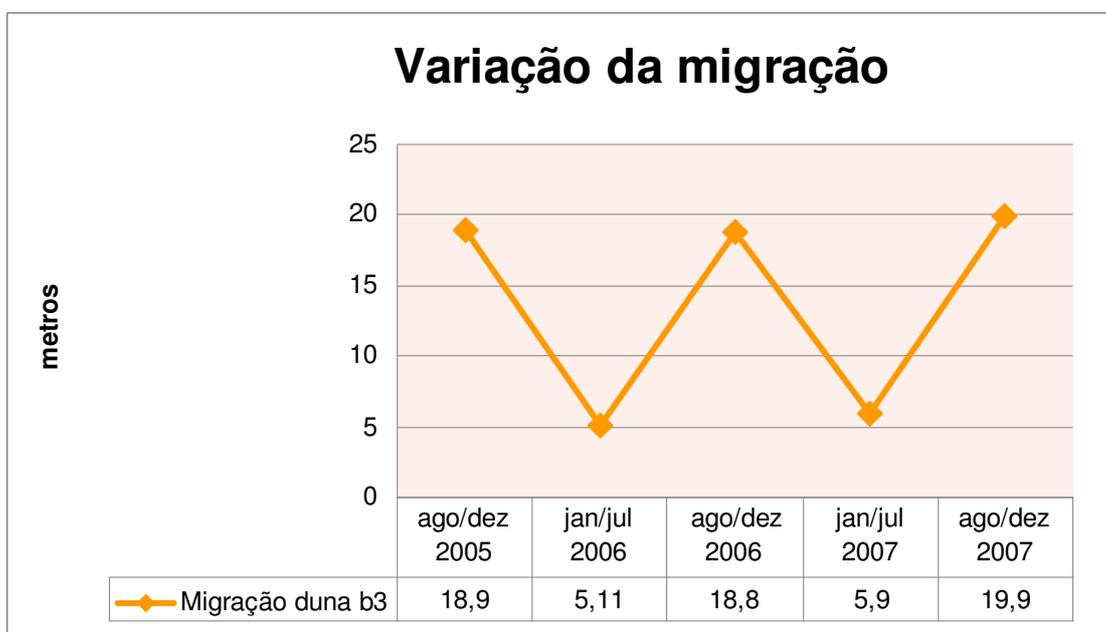


Figura 37 – Variação do processo de migração da duna barcana b3 no período chuvoso e de estiagem - setor Lagoa Azul, PNLM/ Barreirinhas - MA.

De uma maneira geral, pode-se inferir que a dinâmica eólica local é fortemente influenciada pelos fenômenos meteorológicos ocorrentes neste setor da franja costeira. Contudo, verifica-se que as dunas b1 e b2 apresentam comportamentos semelhantes no tocante à velocidade de deslocamento ao longo do ano, diferentemente da duna b3 que se destacou pela elevada progressão, se comparada com as anteriores (Figura 38). O fato das três dunas terem tido um ligeiro aumento da velocidade de migração em 2007, deve-se provavelmente a um menor índice de chuvas registrado no citado ano, com destaque para os últimos cinco meses, ou seja, de agosto a dezembro.

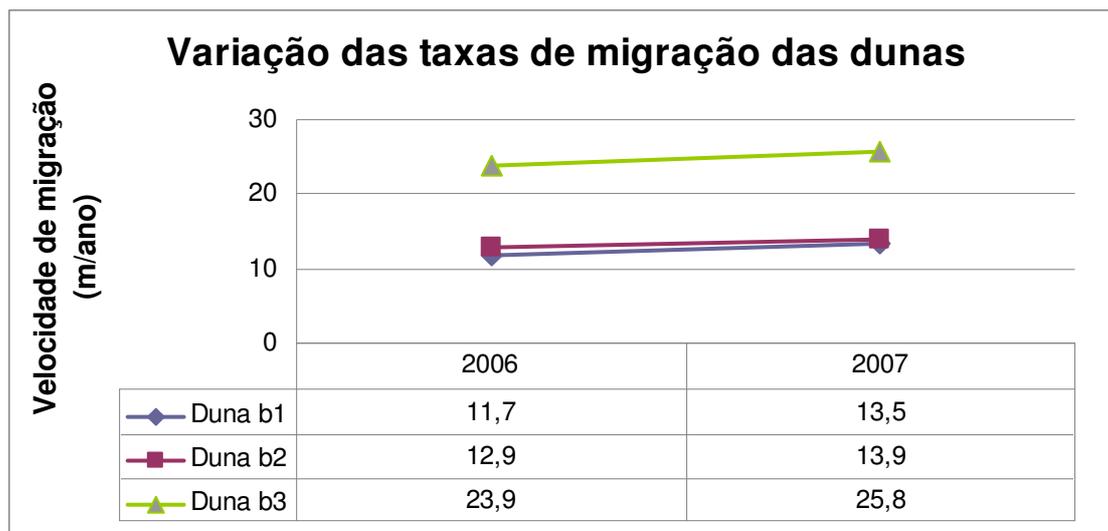


Figura 38 – Variação das taxas de avanço por metro / ano, das 3 dunas monitoradas no setor lagoa Azul, PNLM – Barreirinhas/MA.

Os resultados obtidos em campo (Figura 38), quando correlacionados com a variação pluviométrica de São Luís (Figura 39) e /ou com a média pluviométrica de Barreirinhas, no período de 1966 a 1991, possibilitam constatar que existe uma forte correlação negativa entre a velocidade de migração e as precipitações pluviométricas locais.

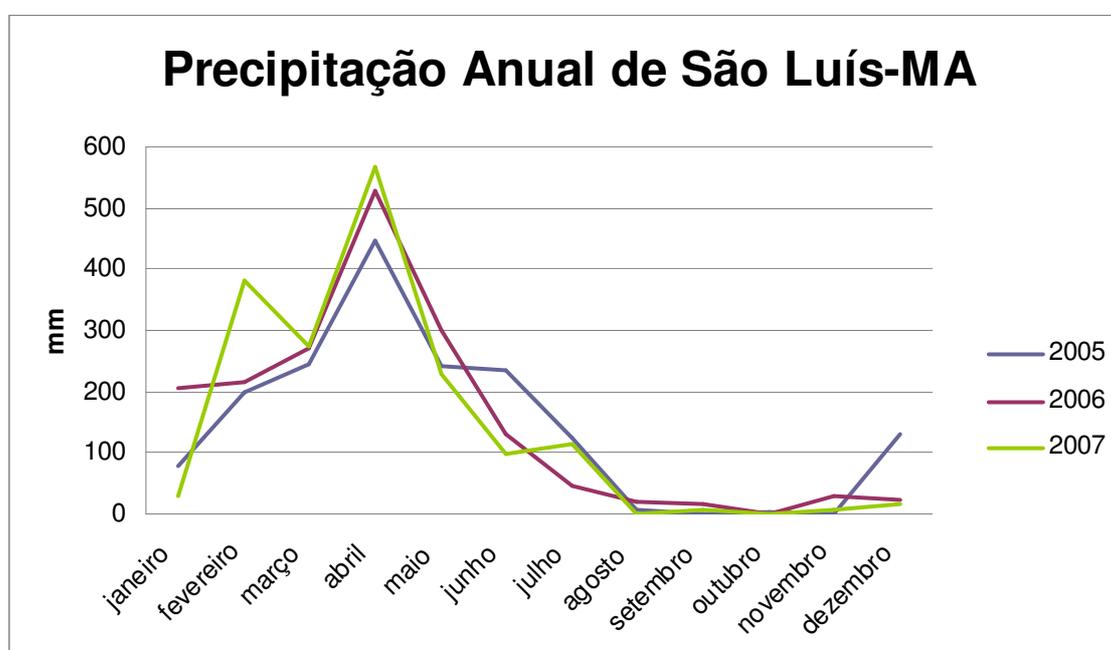


Figura 39 – Variação das precipitações pluviométricas em São Luís, durante o período de monitoramento das dunas no PNLM.

Desta forma, os citados resultados mostram que a progressão anual das dunas é inversamente proporcional aos índices pluviométricos da região. Assim, chega-se a conclusão

de quanto maior for a quantidade de chuva nos Lençóis Maranhenses, menor será a migração das dunas, similarmente as constatações feitas por Tomazelli (1993), Castro (2001) e Rangel (2005) na zona costeira dos estados do Rio Grande do Sul, Ceará e Rio de Janeiro, respectivamente.

5.3 DETERMINAÇÃO DA TAXA DE MIGRAÇÃO DAS DUNAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE GPS TOPOGRÁFICO

Conforme mencionado no item 4.1.1 a extremidade do campo de dunas do setor denominado Lagoa Azul, com uma extensão de aproximadamente 2,1 km, tornava inviável a instalação de marcos em campo para a determinação da velocidade de migração da frente de dunas, representadas pelas cadeias barcanóides e transversais.

Desta maneira, optou-se pela realização de caminhamentos, tanto na base como nas cristas das referidas dunas, utilizando-se GPS topográfico (ASHTECH-Reliance) composto por um par de receptores GPS, para a determinação do avanço das referidas formas eólicas em diferentes datas. Para a realização do monitoramento, visando estabelecer com alta precisão a taxa de progressão, tanto das dunas b1, b2, b3, como da referida frente de dunas, tornou-se necessária a instalação de uma base de referência inicial com coordenadas conhecidas. A transferência de coordenadas foi realizada a partir de monumento em São Luís (UFMA), amarrado ao IBGE, com a utilização de GPS L1 em pernas de 6 km (precisão aproximada submétrica). A altimetria foi transferida a partir de RN do IBGE situado no aeroporto de Barreirinhas, através de GPS L1 com precisão de 1,5 cm na vertical e perna inferior a 7 km. Após a instalação da base de referência, pôde-se realizar os monitoramentos planejados (ago/2005 a dez.2007), com GPS topográfico L1 em modo diferencial submétrico em tempo real (pós-processado) com a utilização do método cinemático. Durante os trabalhos de campo foram obtidas as coordenadas (UTM) e respectivas cotas altimétricas dos pontos de caminhada, ao longo dos limites e nas cristas das dunas, bem como dos pontos considerados de fácil visualização, objetivando o georreferenciamento das imagens orbitais e aerofotos utilizadas nesta pesquisa.

Em um segundo momento, os dados obtidos em campo foram processados utilizando-se o programa Astech Solutions, para posterior utilização em Auto Cad e no software SAGA/UFRJ para a extração dos dados e informações que serão apresentadas a seguir:

5.3.1 Frente de dunas – setor Lagoa Azul

Para se alcançar a referida área a ser monitorada, a qual apresenta cerca de 1,3 km, era necessário caminhar aproximadamente 1,0 km sobre as dunas de 5 a 20m de altura até o ponto inicial do caminhamento (Figura 40). A citada frente de dunas, com alturas que variam de 3 a 22 metros, migra sobre uma planície de deflação subatual, caracterizada pela presença de montes residuais deixados quando da passagem de uma geração de dunas móveis (anterior a monitorada), a qual no período chuvoso fica quase que completamente alagada (Foto 18).

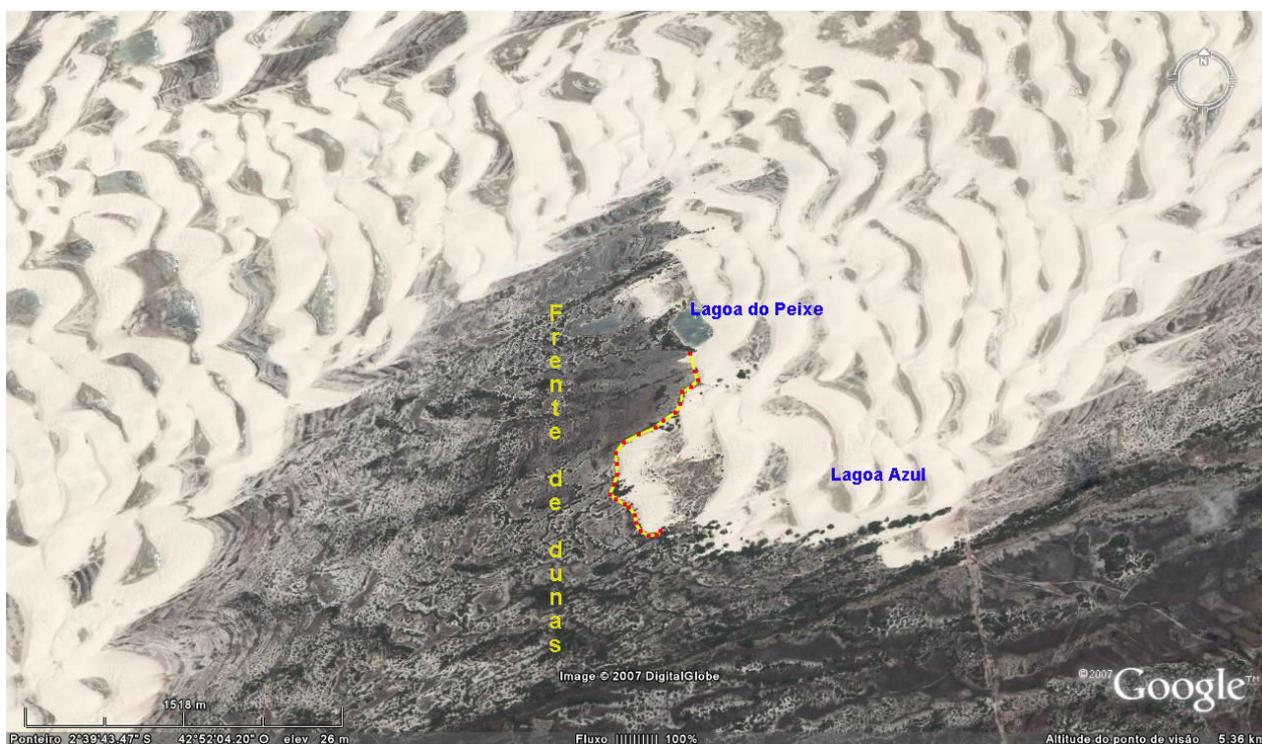


Figura 40 – Imagem da frente de dunas do setor Lagoa Azul, monitorada com GPS topográfico no período de ago/05 a dez/07.

Fonte: Google, 2007 adaptado pelo autor



Foto 18 – Frente de dunas migrando em direção à Lagoa do Peixe e sobre a planície de deflação parcialmente alagada (maio/20006).

De acordo com a figura 41, constata-se que, semelhantemente às dunas b1, b2 e b3 descritas no item anterior, a frente de dunas acima apresenta significativos deslocamentos de 10,5m no período de estiagem (ago./dez). Estas dunas estão a uma distância de 21,7 km da sua área fonte (praia de Caburé) e avançaram, em média de vários pontos de deslocamento, 15,1m/ano em 2007, demonstrando desta forma a significativa dinâmica existente no local, decorrente dos dois principais agentes climáticos, ou seja, as chuvas e os ventos.

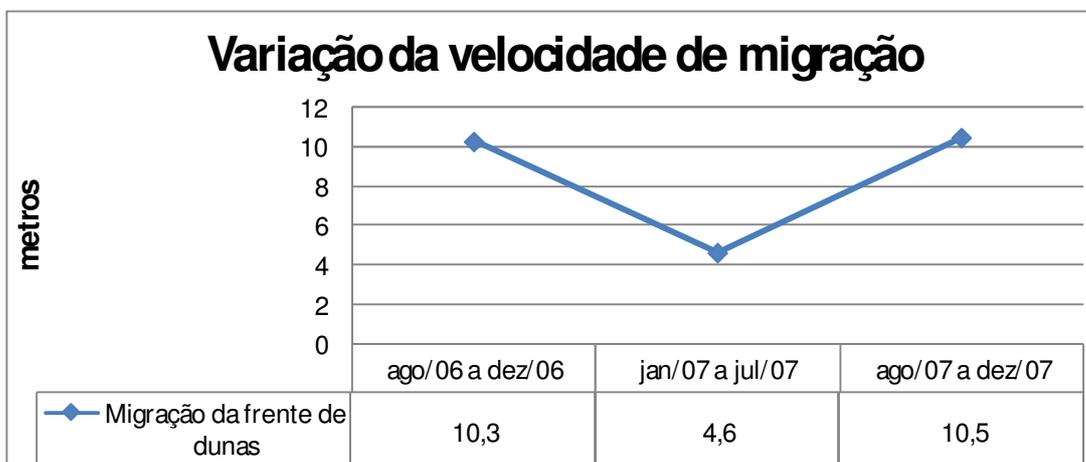


Figura 41 – Variação da velocidade de migração da frente de dunas barcanóides e transversais, obtidas com GPS topográfico, no período de agosto/06 a dezembro/07 - setor Lagoa Azul, PNLM.

Embora estas dunas estejam a uma distância de 21,7 km da praia de Caburé, avançaram, em média, 15,1m/ano em 2007, dez dos quais na estiagem demonstrando desta forma a significativa dinâmica existente no local decorrente dos dois principais agentes climáticos, ou seja, as chuvas, retardando a progressão eólica e os ventos, tornando-se forte e constante na estiagem.

É importante destacar que a frente de dunas vem constantemente soterrando a vegetação de restinga arbustiva e as pequenas lagoas existentes a sotavento das mesmas. Em determinados pontos ocorre à fixação das dunas pela vegetação. Há, no entanto uma migração das formas eólicas sobre os diferentes elementos da paisagem em seu sentido preferencial de migração (NE/SW). A título de exemplo da alta dinâmica existente neste ambiente sedimentar eólico, tem-se o soterramento da Lagoa do Peixe de acordo com os dados constante do Quadro 11.

Quadro 11 – Medidas morfométricas da Lagoa do Peixe obtidas a partir de fotografias aéreas, imagens de satélite e trabalhos de campo com GPS topográfico (2006 e 2007).

Lagoa do Peixe (Anos)	Comprimento máximo (m)	Largura máxima (m)	Área (m ²)
1966	189,0	192,0	360,0
1976	187,0	190,0	354,5
1999	185,0	189,0	353,4
2004	179,0	188,0	336,5
2006	165,0	185,0	270,0
2007	151,0	183,0	219,0

Essas medidas demonstram que a lagoa em análise vem sendo soterrada pela frente de dunas, mais efetivamente desde o ano de 2004. Durante os trabalhos de campo, registrou-se o referido avanço sobre uma pequena ilha situada no interior do ambiente lacustre (Figura 42), confirmando assim, a elevada dinâmica existente.



Figura 42 – Fotografias panorâmicas demonstrando em diferentes datas o soterramento da lagoa do Peixe pelas dunas no PNLM-MA/Brasil

Destaca-se, ainda, que a borda da lagoa mais distante das dunas, no último trabalho de campo em dezembro de 2007, encontrava-se a 125m. Assim sendo, caso o avanço das referidas formas eólicas mantenha a velocidade média de migração de 15m/ano, a lagoa em questão tenderá a desaparecer num período de 8 a 10 anos. Nesta perspectiva, as atividades turísticas deverão sofrer o impacto deste processo, predominantemente natural, num menor espaço de tempo, pois antes da lagoa ser completamente soterrada, terá sua área e profundidades bastante reduzidas, com a conseqüente perda das características naturais que a tornaram ponto de visitaç o do PNLM.

5.3.2 Dunas barcanas b1, b2 e b3

Conforme j  detalhado no item 5.2, estas dunas apresentaram taxas de deslocamento que variaram de 11,7 a 25,8m/ano. Contudo, objetivando a determina o das formas e licas, assim como a compara o dos valores obtidos com a implanta o dos marcos em campo, procedeu-se a realiza o do monitoramento das tr s dunas com GPS topogr fico. Os dados levantados a partir destes levantamentos, referentes aos meses de: agosto e dezembro/2005; agosto/06; janeiro, agosto e dezembro de 2007 (Figuras 43, 44 e 45), permitiram constatar que as velocidades de migra o estabelecidas atrav s da utiliza o dos piquetes, foram semelhantes aos valores encontrados com a utiliza o do GPS topogr fico.

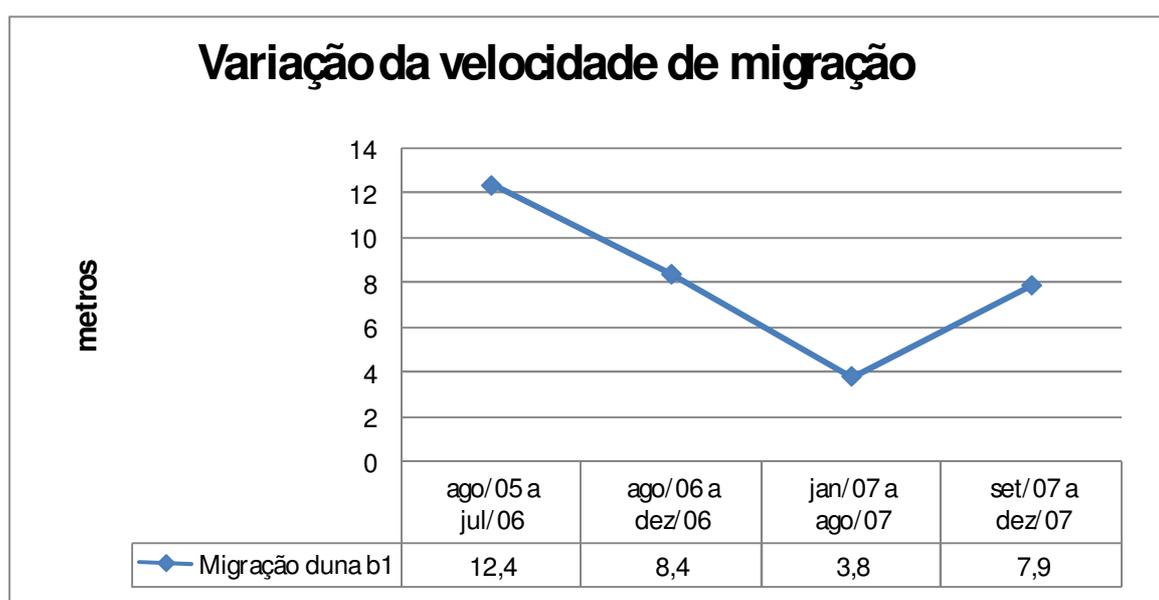


Figura 43 - Varia o da velocidade de migra o da duna b1 obtida com GPS topogr fico no per odo de agosto/05 a dezembro/07.

Entretanto, além dos valores sobre o avanço das dunas, a possibilidade da plotagem dos pontos coletados durante os caminhamentos permitiu também, a visualização dos distintos deslocamentos ocorridos neste período (Figuras 46 a 50). Outra medida oriunda dos dados coletados diz respeito à altura das dunas, as quais foram calculadas a partir das cotas altimétricas obtidas, tanto na base, quanto nas cristas das diferentes formas eólicas.

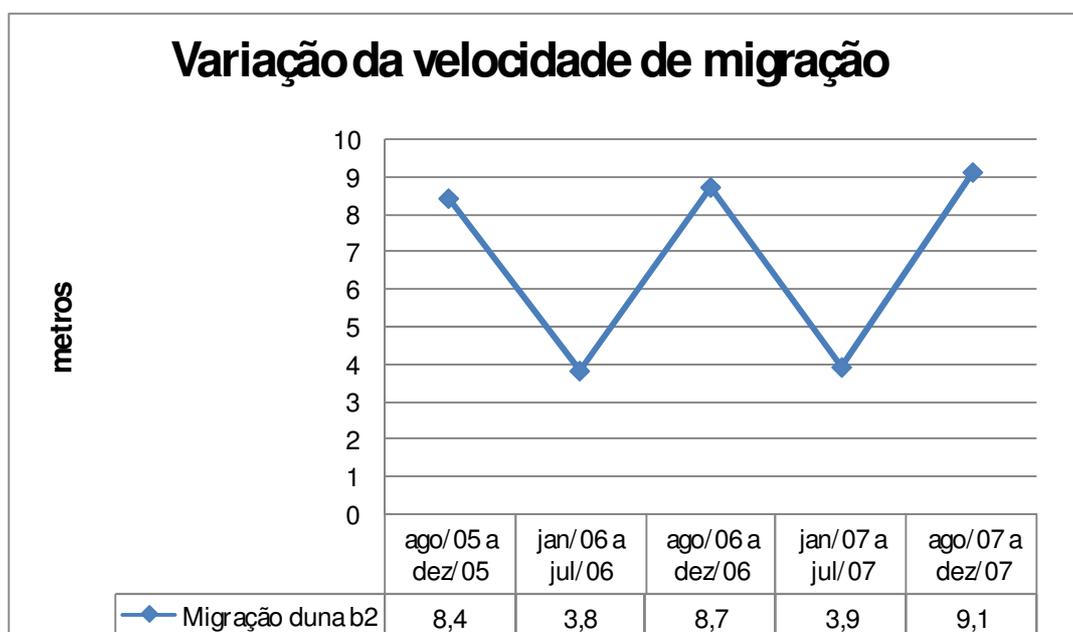


Figura 44 – Variação da velocidade de migração da duna b2 obtida com GPS topográfico no período de agosto/05 a dezembro/07.

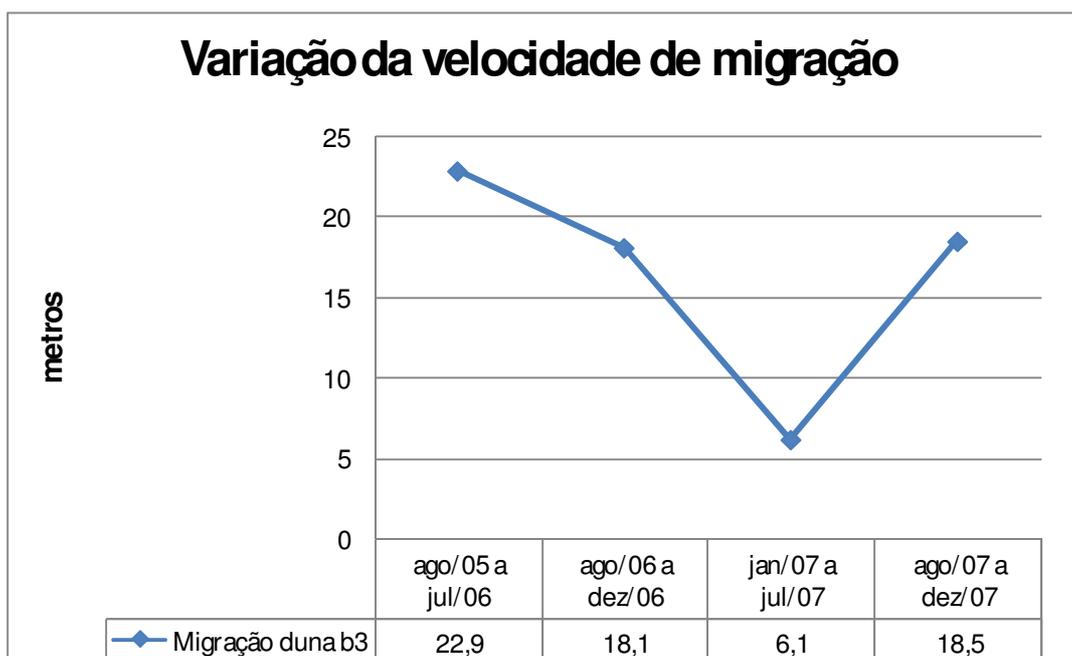


Figura 45 – Variação da velocidade de migração da duna b3 obtida com GPS topográfico no período de agosto/05 a dezembro/07.

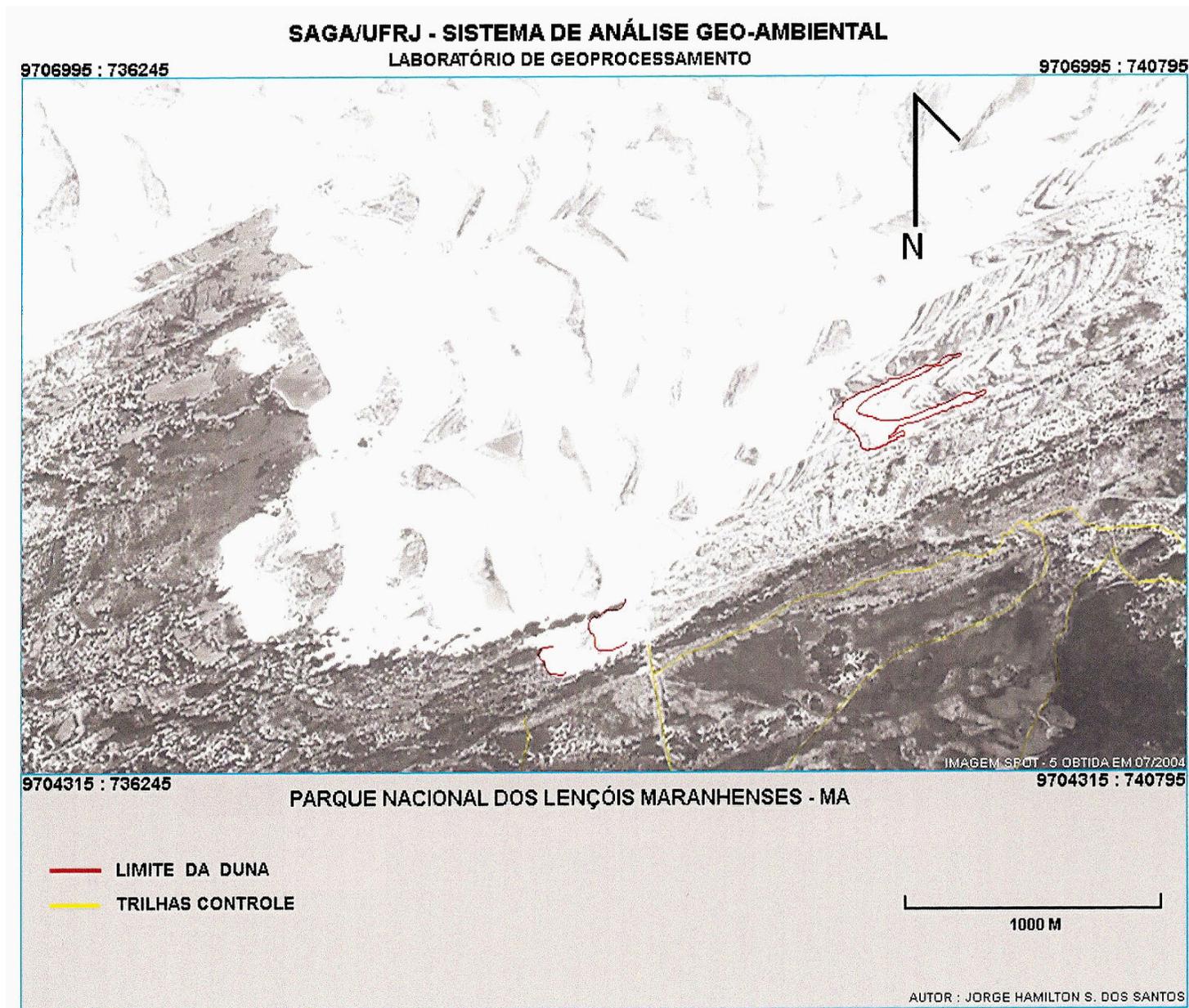


Figura 46 – Limites obtidos com GPS topográfico em agosto de 2005 – setor lagoa Azul / Barreirinhas - MA

SAGA/UFRJ - SISTEMA DE ANÁLISE GEO-AMBIENTAL
LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO

9706995 : 736245

9706995 : 740795



IMAGEM SPOT - 5 OBTIDA EM 07/2004

9704315 : 736245

PARQUE NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES - MA (2005)

9704315 : 740795

- LIMITE DA DUNA
- TRILHAS CONTROLE

1000 M

AUTOR : JORGE HAMILTON S. DOS SANTOS

Figura 47 – Limites obtidos com GPS topográfico em agosto de 2006 – setor lagoa Azul / Barreirinhas - MA

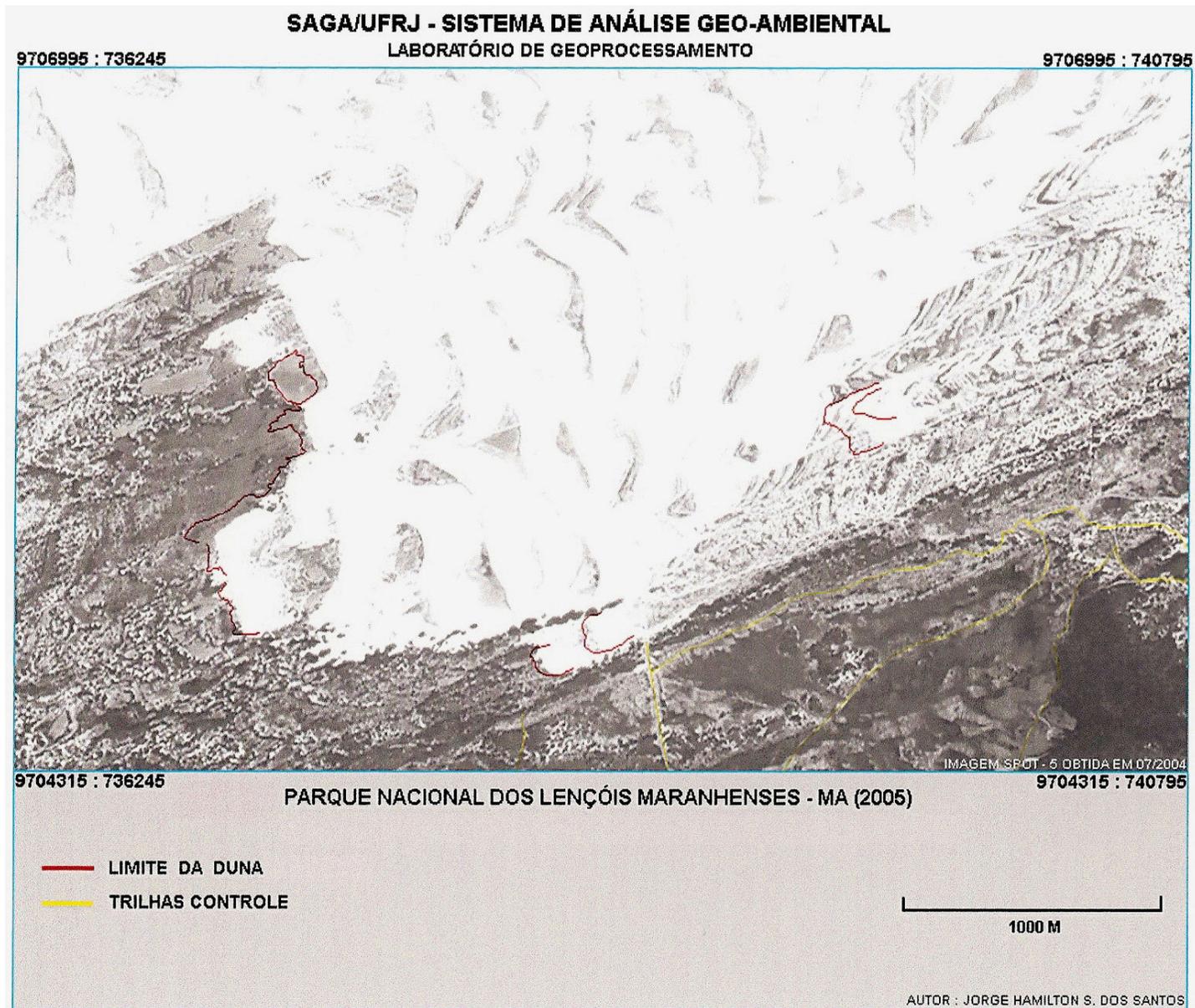


Figura 48 – Limites obtidos com GPS topográfico em janeiro de 2007 – setor lagoa Azul / Barreirinhas - MA

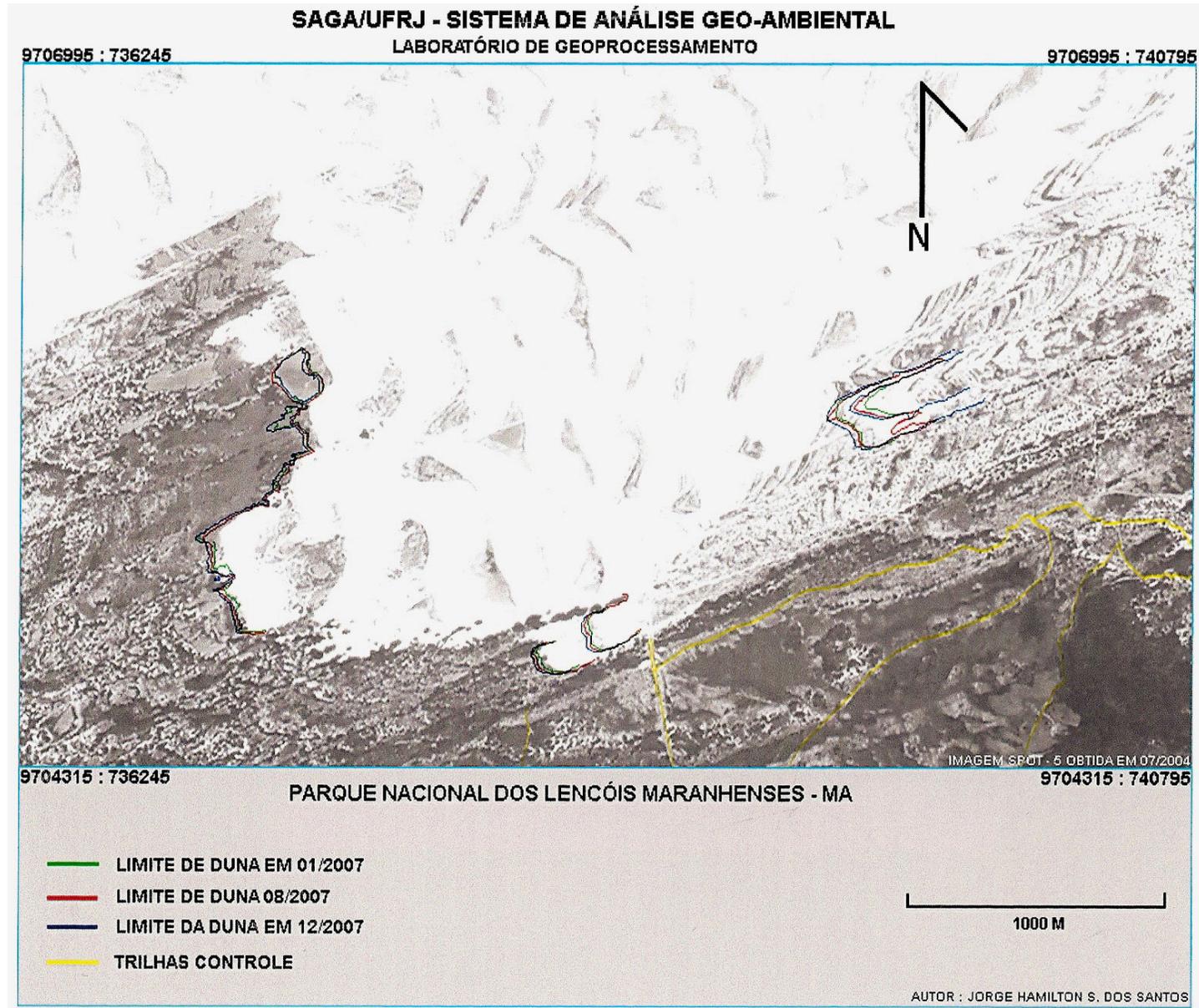


Figura 49 – Limites obtidos com GPS topográfico entre janeiro e dezembro de 2007 – setor lagoa

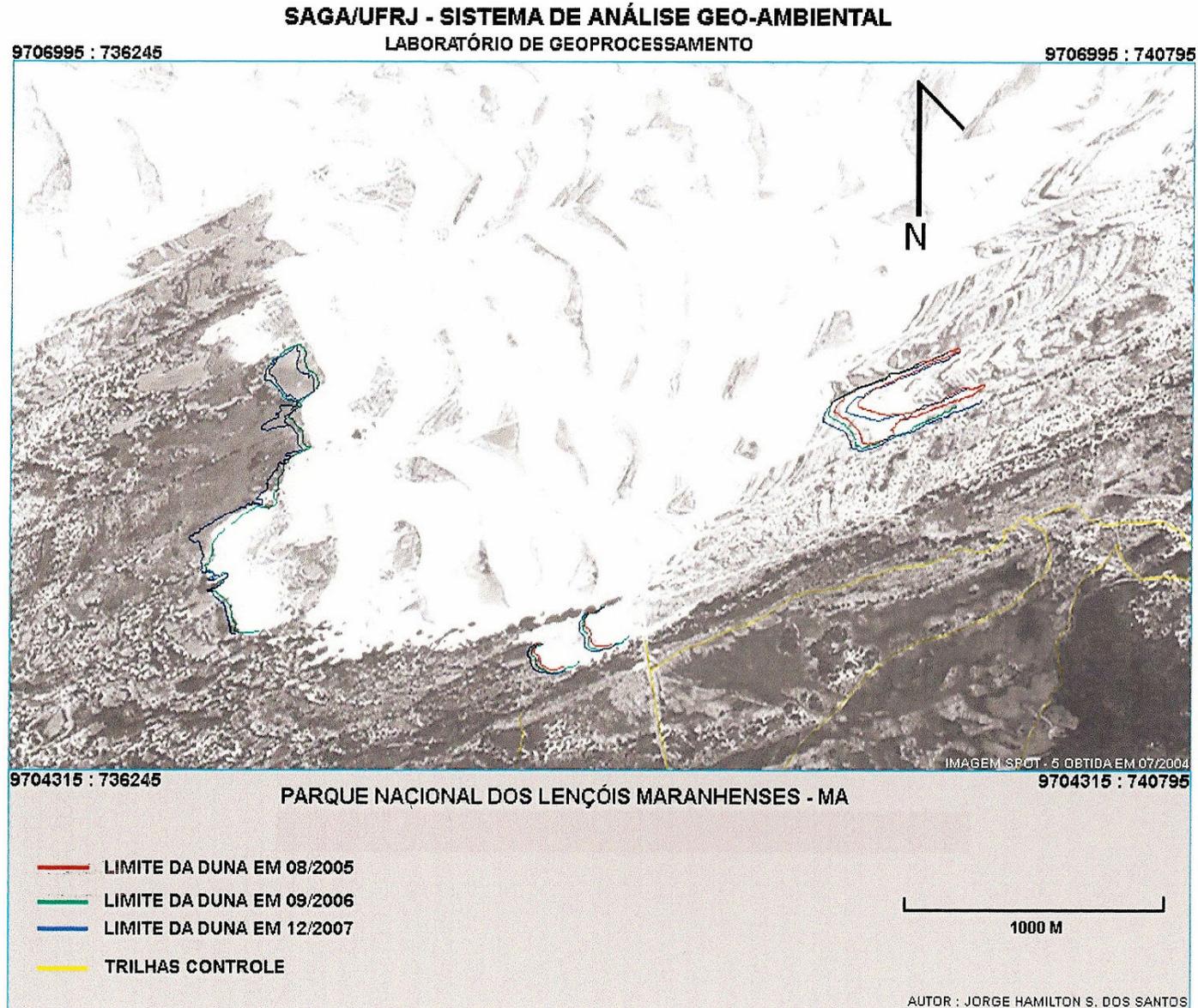


Figura 50 – Limites obtidos com GPS topográfico entre agosto de 2005 a dezembro de 2007 – setor lagoa Azul / Barreirinhas - MA

O fato das medidas oriundas do GPS terem ficado até 1,2m (duna b3) abaixo dos resultados coletados com os marcos em campo, provavelmente está relacionado, à possibilidade da realização de um maior número de medidas executadas em gabinete, entre os diferentes limites visualizados na tela do computador, tornando, assim, melhor documentados os resultados alcançados. Faz-se necessário destacar que, devido a problemas técnicos com o GPS topográfico durante os trabalhos de campo em dezembro de 2005, foram perdidos os dados das dunas b1 e b3. Devido a este fato, nas figuras 45 e 47 aparecem as medidas de agosto de 2005 e julho de 2006.

A obtenção dos dados com a realização das medições indiretas (nos período de 28 e 38 anos) e diretas (a partir da instalação dos piquetes e dos levantamentos com GPS topográfico) permitiu a obtenção das seguintes constatações:

1ª- a velocidade de migração das formas eólicas no interior do campo de dunas apresenta uma velocidade menor devido à presença das lagoas interdunares que dificultam o deslocamento das dunas, tanto no período chuvoso, como também durante o início do período de estiagem, quando as mesmas ainda apresentam uma considerável quantidade de água represada. Esta desaceleração local da movimentação eólica também foi constatada nos trabalhos de Claudino-Sales e Peulvast (2002), no estado do Ceará; Castro (2004) em Paracuru - CE e por Dias et al. (2007), em Cabo Frio no estado do Rio de Janeiro.

2ª- a participação das chuvas na área demonstra uma significativa influência no que se refere à movimentação das diferentes formas eólicas, como demonstrado a partir dos valores contrastantes de chuvas (Quadro 11) e de velocidade de migração (Figura 36). O excesso de água na planície costeira, decorrente das chuvas, termina por dificultar a progressão das dunas por diferentes modos, quais sejam:

- * o alagamento da planície, devido às precipitações pluviométricas, com transbordamento de pequenos cursos d'água e a elevação (afloramento) do lençol freático, retarda significativamente e/ou impede o avanço das dunas;

- * após as chuvas, os grãos de areia úmidos, mais coesos não conseguem ser imediatamente transportados pelos ventos;

- * o aumento da umidade do terreno, por 5 ou 7 meses por ano, favorece o surgimento e/ou crescimento da vegetação local;

* no decorrer do período chuvoso tem-se o preenchimento das depressões do terreno, o que, associado à diminuição da velocidade dos ventos, ocasiona menor velocidade de migração das dunas;

* o aumento da vazão dos rios proporciona a erosão das frentes de avanço das dunas (recoo das mesmas) que estejam em contato com os canais fluviais;

* no trimestre mais chuvoso (março a maio), observou-se, durante os trabalhos de campo, que a planície de deflação situada contígua à praia apresentava várias lagoas temporárias, bem como a presença de pequenos canais de drenagens. Estes são responsáveis por um transporte das areias do interior do campo de dunas até o mar, como também pela ocorrência de pequenas “cachoeiras” presentes sobre os beachrocks⁵ (Foto 19);



Foto 19 – Vista panorâmica de um pequeno curso d’água (sangradouro) desaguando no mar, formando uma pequena “cachoeira”; praia dos Lençóis Grandes – PNLMA/MA.

Fonte: Foto cedida por Alfonso H. Leal, 2005.

⁵ “Os beachrocks correspondem à areia de praia cimentada, sendo muito comuns nas regiões tropicais, podendo ocorrer também, ao longo das costas situadas em regiões temperadas. A formação dos beachrocks acontece, provavelmente, a alguns centímetros abaixo da superfície da praia, embora esta rocha ocorra comumente exposta devido a processos erosivos e/ou variação do nível do mar”. (GUERRA e MANSO, 2004. p.112).

4ª a cobertura vegetal, em determinados locais, funcionou como obstáculo, retardando a migração das dunas e em menor proporção, a exemplo da frente de dunas do setor Lagoa Azul, fixou uma parcela, ainda que pequena, das frentes parabólicas e das dunas barcanas;

5ª as frentes de dunas barcanóides e transversais, mais altas e interiorizadas, caracterizaram-se por uma menor taxa de migração, na medida em que se distanciam da área fonte de sedimentos (praia), conforme o Quadro 12;

6ª os valores de migração das dunas, obtidos a partir das fotografias aéreas, foram considerados bastante satisfatórios em relação aos determinados em campo, através dos piquetes e GPS topográfico, uma vez que a diferença de migração ficou contida na faixa dos 5 m, que foi a resolução utilizada na referida monitoria do campo de dunas, setor Lagoa Azul - PNLM;

Quadro 12 – Variações das taxas de migração (valores máximos e mínimos) das frentes de dunas, obtidas a partir da monitoria realizada com as fotos aéreas de 1976 e a imagem SPOT-5 de 2004 e as respectivas distâncias em relação ao rio Preguiças e a praia.

Formas eólicas / localidades/ setores	Taxa de migração	Distância em relação ao rio Preguiças	Distância em relação à praia
Frente de dunas - Lagoa Azul /setor 1	12,5 a 15 m/ano	19,5 km	22,4 km
Frente de dunas – Bracinho/ setor 2	8 a 12 m/ano	24,7 km	27,5 km
Frente de dunas – Buriti Amarelo/setor 3	6 a 10 m/ano	30,9 km	34,5 km
Frente de dunas– Lagoa Esperança /setor 4	4 a 11 m/ano	35,4 km	39,2 km

7ª - os resultados das taxas de migração das dunas situadas no setor lagoa Azul estão condizentes com os resultados encontrados por diversos autores ao longo da zona costeira brasileira (Quadro 05).

De uma maneira geral, corroborando com as idéias de Carvalho e Dominguez (1999), complementadas pelas constatações realizadas para a região dos Lençóis Maranhenses por Gonçalves (1997) e Gonçalves et al. (2005), as principais condições que favorecem a dinâmica eólica do PNLM são:

1. razoável dinâmica costeira representada pelas ondas, correntes e marés (mesomarés/semidiurnas) na área;
2. presença de duas estações climáticas bem definidas, com período de estiagem entre 4 a 6 meses, com uma maior velocidade dos ventos neste período;
3. direção da linha de costa (E-SE) situando-se obliquamente (cerca de 70°) à direção das ondas e ventos predominantes de NE;
4. presença de significativo estoque sedimentar existente na plataforma interna, associados as areias provenientes da deposição pelas drenagens locais (rios Parnaíba e Preguiças) e da deriva litorânea;
5. existência de praias dissipativas, de areias médias e finas, com estirâncio de largura até 500m, exposto diariamente, por cerca de 12 horas, à ação eólica.

Em síntese, a determinação das taxas de migração das diferentes formas eólicas em distintas escalas espaciais e temporais, pelo emprego das três técnicas mostraram-se eficientes quanto à obtenção de informação relevante sobre a dinâmica existente na área de estudo. Contudo, destaca-se que a obtenção das medidas, a partir das fotos aéreas antigas, somente foi possível utilizando os dados do GPS geodésico, pois a inexistência de cartas topográficas em escala de detalhe, associada a dificuldade de se definir em campo pontos de controle com coordenadas confiáveis, certamente inviabilizaria o correto georreferenciamento das imagens e, conseqüentemente, a extração de medidas fidedignas.

Quanto à instalação dos piquetes, esta técnica teoricamente caracteriza-se como a mais simples das três e bastante eficiente. Entretanto, a maior dificuldade diz respeito à manutenção das estacas, em relação aos atos de vandalismo, com a retirada das mesmas.

Na presente pesquisa, embora tenham sido tomadas duas precauções (vistoria bimestral por um morador local e implantação de duas fileiras de estacas), ainda assim, em alguns meses, dos 7 (sete) marcos colocados por duna monitorada, 1 ou 2 sumiam, sendo o deslocamento definido pela média das 5 ou 6 estacas restantes.

5.4 DATAÇÃO E EVOLUÇÃO DO CAMPO DE DUNAS EÓLICAS INATIVAS DOS LENÇÓIS MARANHENSES

A datação de diferentes campos de dunas eólicas inativas em distintas áreas da zona costeira do país pode, no entender de Barreto (1999), permitir a identificação de diferentes gerações de dunas, assim como estabelecer correlações com as principais fases de flutuações do nível do mar e do clima.

Apesar dos Lençóis Maranhenses serem conhecidos pelo seu campo de dunas livres com extensão ao longo das pistas de migração em torno de 30 km, pôde-se constatar, a partir das imagens LANDSAT-7 ETM + e observações “*in situ*”, ocorrência de dunas fixas a cerca de 160 km de distância, do litoral para o interior do continente, também no mesmo sentido de migração das dunas (NE-SW). Esta medição foi realizada a cerca de 10 km da sede municipal de Presidente Vargas - MA (Figura 51).

Nesta perspectiva, os campos de dunas móveis e fixas do litoral oriental do estado do Maranhão representam um dos mais importantes registros de mudanças eustáticas e climáticas ocorridas ao longo do Quaternário no Brasil. Neste sentido a utilização da termoluminescência, permitindo a datação de areias e criação da respectiva cronologia das dunas vegetadas, nesta área costeira, pode representar um ponto de apoio para reconstituições paleogeográficas do passado subatual da área costeira estudada.

Desta forma, objetivando contribuir com as informações referentes à geocronologia e, conseqüentemente, com os aspectos evolutivos da região dos Lençóis Maranhenses, localizado no litoral oriental do Maranhão, serão apresentados os resultados obtidos com as datações das dunas inativas da área de estudo.

5.4.1 Idades obtidas e discussões paleoclimáticas

A localização dos pontos de coleta (em sua maioria definida em gabinete), das 14 amostras datadas por TL, na área dos Lençóis Maranhenses, e suas respectivas idades, podem ser visualizadas de acordo com a Figura 52 e o Quadro 13.

A amostra 11, coletada no município de Presidente Vargas, à margem do rio Munim, numa duna barcanóide fixada pela vegetação, apresentou uma idade muito baixa, contrariando as expectativas, uma vez que a mesma representa a duna mais interiorizada dentre as utilizadas para datação por TL.

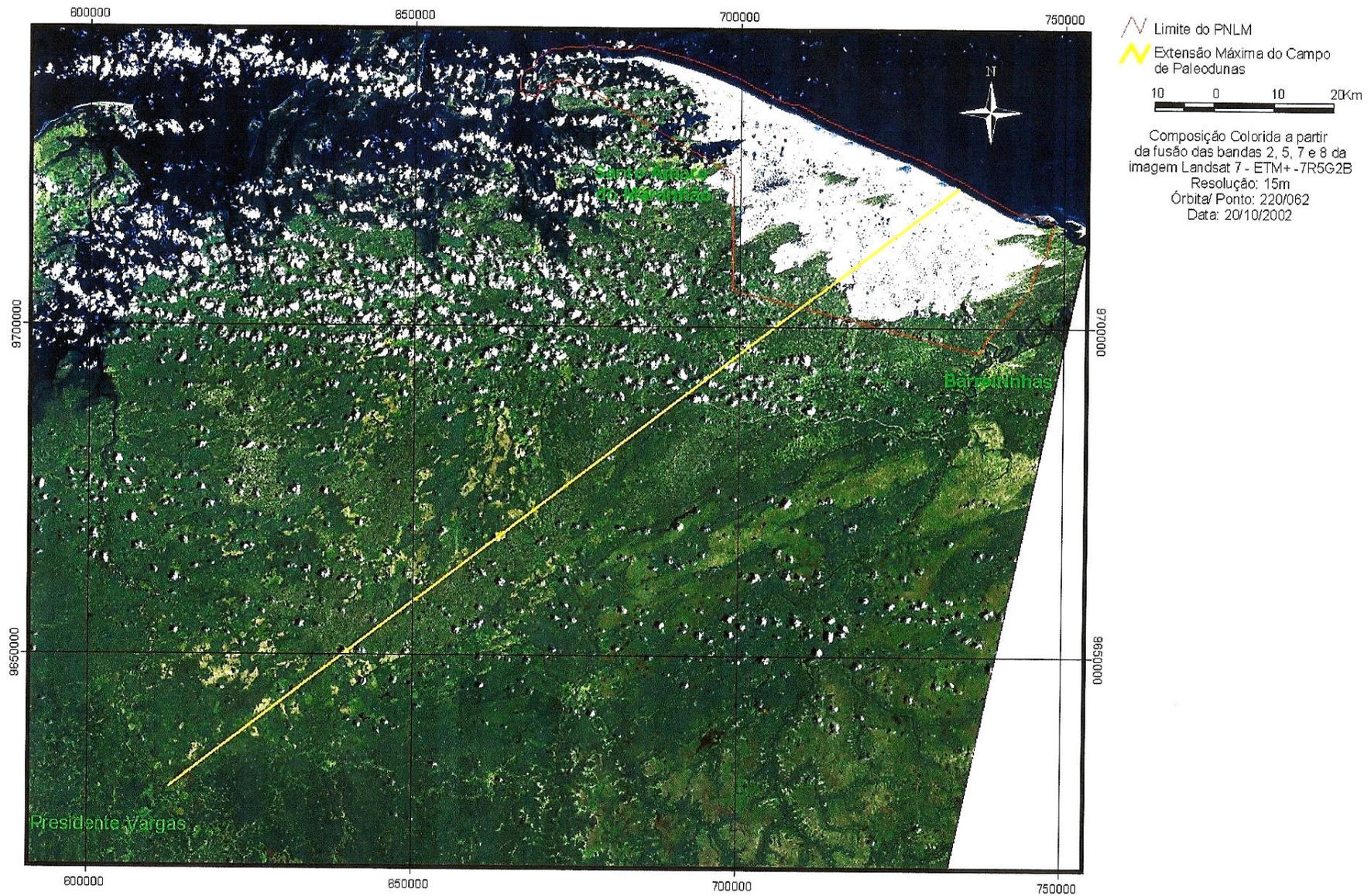


Figura 51 – Distância da duna fixa localizada no município de Presidente Vargas à cerca de 160 km da linha de costa.

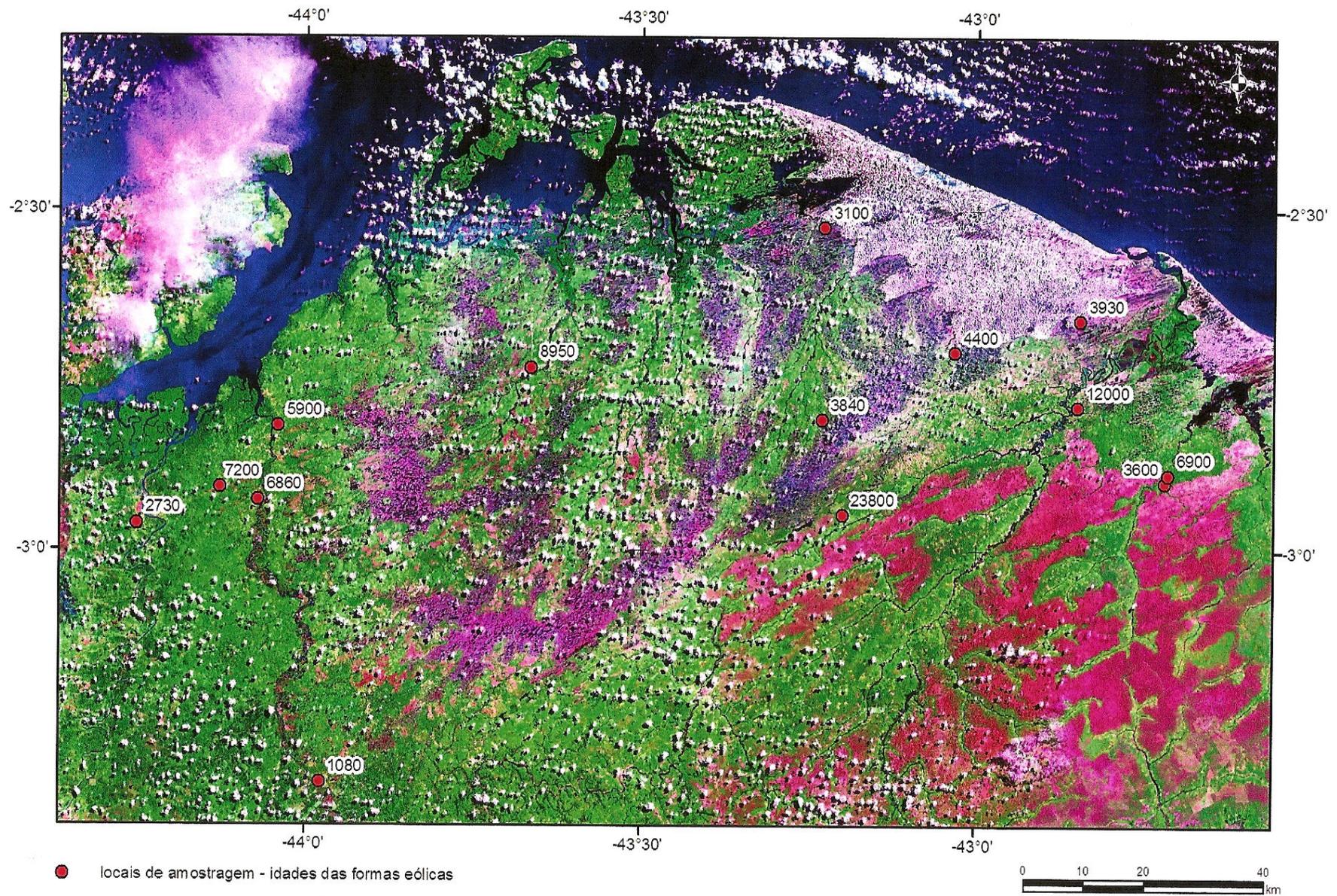


Figura 52 – Imagem dos Lençóis Maranhenses com as idades das dunas fixas datada por termoluminescência

Quadro 13 – Idades obtidas e localização das formas eólicas datadas por termoluminescência.

AMOSTRA	CÓDIGO LVD	COORDENADAS	DATA	DOSE ANUAL (uGy/ano)	PALEODOSE P(Gy)	IDADE AP (anos)
LM/DAT. 01 R D /setor L. Azul	1778	02°39'51"/42°50'40"	13/09/06	640 ± 60	TL= 2,50	3.930 ± 570
LM/DAT.02 D F / setor L. Esperança	1780	02°42'30"/43°01'58"	27/09/06	1.650 ± 200	TL= 7,2	4.400 ± 750
LM/ DAT.03 D F / Localidade Sangue	1898	02°48'33"/43°13'50"	05/07/07	650 ± 75	TL= 2,50	3.840 ± 640
LM/ DAT.04 R D / Santo Amaro do MA	1897	02°31'19"/43°13'49"	05/07/07	680 ± 110	TL= 2,10	3.100 ± 670
LM/DAT.05 D F / Localidade Quebra Anzol	1783	02°43'56"/43°39'55"	28/09/06	560 ± 40	TL= 5,0	8.950 ± 1050
LM/ DAT.06 D F / Estrada de acesso a Icatu	1784	02°49'08"/44°02'31"	28/09/06	1.080 ± 120	TL= 6,3	5.900 ± 910
LM / DAT.07 D F / Axixá	1605	02°54'31"/44°07'44"	07/05/06	1.020 ± 77	TL= 7.40	7.200 ± 900
LM/ DAT.08 D F / Presidente Juscelino	1785	02°55'37"/44°04'19"	26/09/06	850 ± 85	TL= 5.8	6.860 ± 1.050
LM / DAT.09 D F / MA-204 Barreirinhas	1779	02°47'20"/42°50'56"	27/09/06	750 ± 75	TL= 9,0	12.000 ± 1.850
LM / DAT. 10 D F / Próximo a Lagoa do Caçó	1781	02°56'50"/43°11'59"	27/09/06	1.000 ± 90	TL= 23,8	23.800 ± 3.300
LM / DAT.11 D F / Presidente Vargas	1898	03°20'33"/43°58'35"	07/07/07	740 ± 115	TL=0,80	1.080 ± 230
LM / DAT 12 D F / Paulino Neves 1	1896	02°53'15"/42°42'50"	05/07/07	3.350 ± 670	TL=23,20	6.900 ± 1700
LM / DAT 13 D F / Paulino Neves 2	1895	02°53'59"/42°43'07"	05/07/07	1.750 ± 230	TL=6,30	3.600 ± 650
LM /DAT 14 D F / Salvaterra-Rosário	1894	02°57'42"/44°15'13"	04/07/07	1.210 ± 230	TL=3,30	2.730 ± 650

Tal fato pode ser interpretado como algum problema ocorrido no tocante à localização da amostra, próxima à crista da duna, ou então, como uma possível remobilização ocorrida neste depósito eólico a cerca de 1.000 anos AP. Desta forma, deverão ser realizadas mais campanhas e amostragens para obtenção de novas idades que possam dirimir as dúvidas ora existentes.

As idades obtidas para as dunas e os rastros de dunas situados ao entorno do atual campo de dunas móveis do PNLN (amostras 01,02 e 04), apresentaram idades de 3.930, 4.400 e 3.100 anos AP. Tais resultados estão coerentes com a posição e distância em relação à linha de costa, quando comparadas ao campo de dunas ativo, o qual encontra-se avançando sobre as referidas formas eólicas pretéritas, existentes em seu percurso (Figura 49). A semelhança de idades observadas em mais três amostras, mais interiorizadas (amostras 03, 13 e 14), com 3.840, 3.600 e 2.730 anos AP, sugere que no período compreendido entre 3.000 a 4.400 anos AP tenha ocorrido uma significativa atividade eólica na região dos Lençóis Maranhenses, a qual pode ter sido bruscamente interrompida devido à passagem de um clima mais seco para um clima mais úmido, ocasionando assim, a fixação das referidas dunas. Esta hipótese coincide em parte com os resultados obtidos por Sifeddine et al. (2003) e Nascimento et al. (2003). Estes últimos, a partir da datação dos últimos 21.000 anos na lagoa do Caçó (situada nos Lençóis Maranhenses, a cerca de 70 km do litoral e 50 km da sede municipal de Barreirinhas), correlacionaram as variações do nível d'água do referido ambiente lacustre com as variações climáticas pretéritas.

As idades obtidas por Nascimento et al. (2003), a partir das análises geocronológicas das diatomáceas existentes nos sedimentos da lagoa, permitiu a definição de 9 fases com diferentes intervalos de tempo e suas principais características climáticas (Quadro 14).

Observando-se o referido quadro constata-se que o período entre 5.050 a 3.990 AP caracterizou-se pela alternância de períodos secos e úmidos, indicando assim a existência, tanto de intensa atividade eólica, quanto de períodos úmidos responsáveis pela fixação das dunas. Desta forma, o aumento da aridez neste período pode estar relacionado, de acordo com Martin et al. (1993), à intensificação do fenômeno El Niño, de longa duração (dezenas a centenas de anos), sugerido também em outras áreas por Meggers e Turcq et al., (apud BARRETO et al., 2002, p.229), com a posterior retomada das condições mais úmidas e o conseqüente desenvolvimento da cobertura vegetal.

Quadro 14 – Períodos e condições climáticas identificadas na lagoa do Caçó nos últimos 21.000 anos AP.

Fases	Períodos	Clima
I	21.000 a 18.000 anos cal. AP	Seco
II	18.200 a 16.200 anos cal. AP	Úmido
III	16.200 a 14.900 anos cal. AP	Úmido
IV	14.900 a 13.280 anos cal. AP	Úmido
V	13.200 a 12.600 anos cal. AP	Seco
VI	12.600 a 6.990 anos cal. AP	Lento aumento da umidade
VII	6.990 a 5.050 anos cal. AP	Úmido com fases secas
VIII	5.050 a 3.990 anos cal. AP	Seco com fases úmidas
IX	3.090 anos cal. AP ao Presente	Úmido

Fonte: adaptado de Nascimento et al., 2003.

Nos municípios de Icatu, Presidente Juscelino e Axixá, as idades TL obtidas em dunas fixadas pela vegetação foram de 5.900, 6.860 e 7.200 anos AP. A relativa proximidade entre as áreas amostradas, assim como as idades semelhantes, sugerem também uma considerável atividade eólica no referido intervalo de tempo. Além destas amostras, situadas no extremo oeste dos Lençóis Maranhenses, tem-se também no setor leste da área em estudo, mais precisamente no município de Paulino Neves, a amostra nº12, com idade TL de 6.900 anos AP. Tais idades registradas demonstram ter havido neste intervalo de tempo fases relativamente secas, em que as dunas progrediram continente adentro, bem como períodos mais úmidos (conforme o Quadro 15), responsáveis pela fixação das mesmas pela vegetação. Esta fase, entre aproximadamente 6.000 e 7.000 anos, é anterior ao máximo transgressivo de $3,5 \pm 1,0$ m, acima do nível atual, que atingiu a maior parte da costa brasileira e é coincidente com a última fase de ascensão do nível do mar, em constante varredura das areias disponíveis na plataforma continental em direção às praias.

A associação da maior disponibilidade de sedimentos arenosos incoesos no estirâncio, sob atuação de clima pretensamente mais seco (Quadro 14), com maior velocidade e, conseqüentemente, competência dos ventos atuantes, provavelmente alimentaram o campo de dunas interiorizadas (atualmente fixado pela vegetação) dos Lençóis Maranhenses. Posteriormente, com a descida do NRM, as areias situadas no continente continuaram migrando para o interior, quando da remobilização provavelmente ocorrida sob climas mais secos.

Desta forma, fica evidenciado que várias são as entidades e eventos responsáveis pela origem e permanência dos campos de dunas, dentre os quais, no entender de Sawakuchi et al. (2003), tem-se os fatores climáticos (frequência de chuvas e velocidade do vento) que condicionam o transporte eólico e eustático (variação do nível do mar), constituindo-se num dos principais condicionantes da disponibilidade dos sedimentos arenosos para este transporte.

A amostra coletada nas proximidades da localidade de Quebra Anzol, no município de Humberto de Campos, referente a uma duna parabólica de morfologia dissipada, apresentou idade TL de 8.950 anos AP. A ocorrência desta idade coincide com o período de ascensão do nível do mar e clima seco, com lento aumento da umidade.

A idade adquirida na amostra 09, situada ao longo da rodovia estadual, relativamente próximo a Barreirinhas, foi de 12.000 anos AP. Num primeiro momento isto pode parecer estranho, uma vez que as demais amostras circundantes apresentam idades menores. Todavia, corroborando Barreto (1996), é lícito concluir que as idades até o momento apresentadas são provavelmente referentes à geração de dunas mais recentes, que progrediram sobre as mais antigas existentes na região. Caso tivessem sido realizadas datações a níveis mais profundos, provavelmente poderiam ser encontradas idades relacionadas ao interglacial Riss-Würm, ocorrido a 120.000 anos AP e que ultrapassou cerca de 8m o nível do mar atual. Desta maneira, a idade da amostra 09 corresponde ao afloramento de uma geração mais antiga que as demais, indicando que há 12.000 anos tinha-se também, na área de estudo, condições propícias ao desenvolvimento das formas eólicas.

A amostra mais antiga, anterior ao último máximo glacial (UMG), onde o nível do mar estava a cerca de 110m abaixo do nível médio atual, apresentou idade de 23.800 anos AP. A referida forma eólica situa-se próxima à lagoa do Caçó e distante cerca de 72 km da linha de costa no sentido de migração preferencial NE/SW.

Desta forma, devido à sua posição bastante interiorizada, a idade apresentada está condizente com a sua localização na área de estudo.

Em síntese, constatou-se, através destas análises das 14 (catorze) datações por termoluminescência, que a área abrangida pelo Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses caracteriza-se pela presença de dunas móveis e fixas Holocênicas, havendo uma amostra de idade Pleistocênica (23.800 anos AP), entre as encontradas neste estudo, que se localiza mais para o interior fora dos limites do referido parque.

Outra constatação refere-se à gênese de múltiplos campos de dunas, indicando um desenvolvimento segundo pulsações, desde antes do último máximo glacial até os dias atuais, de forma análoga à alternância de períodos secos e úmidos, durante os últimos 23.800 anos.

Tal resultado, com a utilização de outro método geocronológico, corrobora a presença de diferentes fases climáticas, também observadas nas pesquisas realizadas por Sifeddine et al. (2003) e Nascimento et al. (2003), através da utilização de pólen e diatomáceas, respectivamente.

Através de comparação das idades encontradas na área de estudo com as obtidas por diversos autores (Quadros 15 e 16), os quais utilizaram a termoluminescência para datação das dunas ao longo do litoral brasileiro, observou-se que das 75 amostras encontradas na literatura consultada, referentes às dunas fixas e móveis, 67 amostras (correspondentes a 89% do total) apresentaram idades entre 1.000 a 32.000 anos AP.

Quando os dados desta tese (Figura 53), são comparados com os dos trabalhos realizados em Natal e na Amazônia (Figuras 54 e 55), conduzidos por Barreto et al. (2002) e Carneiro Filho et al. (2005), percebe-se que no primeiro trabalho as idades ficaram concentradas entre 1.900 e 9.000 anos, similarmente ao ocorrido nos Lençóis Maranhenses, principalmente com as dunas e rastro de dunas menos interiorizado.

Quadro 15 – Exemplos de estudos realizados no Brasil com datação de terraços e dunas eólicas por termoluminescência, no período de 1998 a 2002

Autor/ano	Título do trabalho	Número de amostras	Localização das amostras	Idade das amostras (TL)
Barreto, A M.F. et al.(1998)	Uso da datação por Termoluminescência na diferenciação de sedimentos litorâneos Pleistocênicos e Holocênicos no estado de Pernambuco.	08	Terraço Marinho Terraço fluvial Cordão litorâneo Cordão litorâneo Terraço marinho Leque aluvial Terraço marinho Terraço marinho	1- 37.000 ± 6.000 2- 4.500 ± 700 3- 2.300 ± 300 4- 8.000 ± 1.000 5- 57.000 ± 9.000 6- 97.000 ± 15.000 7- 39.000 ± 6.000 8- 350 ± 50
Barreto, A M.F. et al. (1999)	Datações por termoluminescência (TL) de sedimentos da planície costeira de Paranaguá, estado do Paraná.	07	Terraços	1- 122.000 ± 4.540 2- 106.980 ± 9.170 3- 105.510 ± 2.470 4- 100.720 ± 2.250 5- 85.785 ± 9.800 6- 9.150 ± 730 7- 8.340 ± 1.330 8- 5.845 ± 180
Maia, L. P. et al. (1999)	Correlação estratigráfica em poços de subsuperfície e datação de dunas costeiras inativas na região do Cauípe e Pecém-costa oeste do Ceará.	02	Dunas fixas	1- 2.300 ± 200 2- 1.000 ± 100
Barreto, A.M.F. et al. (2002)	Campo de dunas inativas do médio rio São Francisco	41	Dunas fixas e móveis	28.000 a 27.000 (2)* 14.400 a 10.500 (7)* 10.500 a 9.000 (0)* 9.000 a 8.200 (2)* 7.820 a 7.500 (3)* 6.600 a 6.200 (3)* 5.300 a 5.000 (2)* 4.500 a 4.000 (3)* 3.500 a 3.300 (6)* 2.900 a 2.000 (8)* 1.900 a 1.700 (4)* 900 (1)*

()*= número de amostras

Quadro 16 – Exemplos de estudos realizados no Brasil com datação de dunas eólicas por termoluminências no período de 2002 a 2005

Autor/ano	Título do trabalho	Número de amostras	Localização das amostras	Idade das amostras (TL)
Silva, E. A. de (2002)	As dunas eólicas de Natal/RN:datação e evolução	8	Dunas fixas e móveis	1- 108.800 ± 11.000 2- 16.100 ± 2.000 3- 15.000 ± 1.450 4- 14.400 ± 1.600 5- 7.600 ± 900 6- 3.300 ± 400 7- 3.000 ± 350 8- 1.340 ± 170
Sawakuchi et al.(2003)	Episódios de deposição eólica Quaternária no litoral centro-sul de Santa Catarina: correlação com variações do nível relativo do mar baseada em idades TL e LOE.	10	Dunas fixas (seqüência 1) Dunas fixas (Seqüência 2)	1- 175.000 ± 20.000 2- 104.000 ± 12.000 3- 102.000 ± 15.000 4- 66.000 ± 8.000 5- 30.400 ± 3.500 6- 61.000 ± 8.000 7- 51.000 ± 7.000 8- 23.000 ± 3.000 9- 9.400 ± 900 10- 8.600 ± 1.100
Carneiro Filho et al. (2005)	As dunas fósseis da Amazônia	14	Dunas	1- 32.600 2- 23.000 3- 19.000; 4- 17.000 5- 16.400 6- 15.500 7- 14.000 8- 12.800 9- 12.200 10- 10.200 11- 9.500 12- 8.800 13- 8.700 14- 7.800

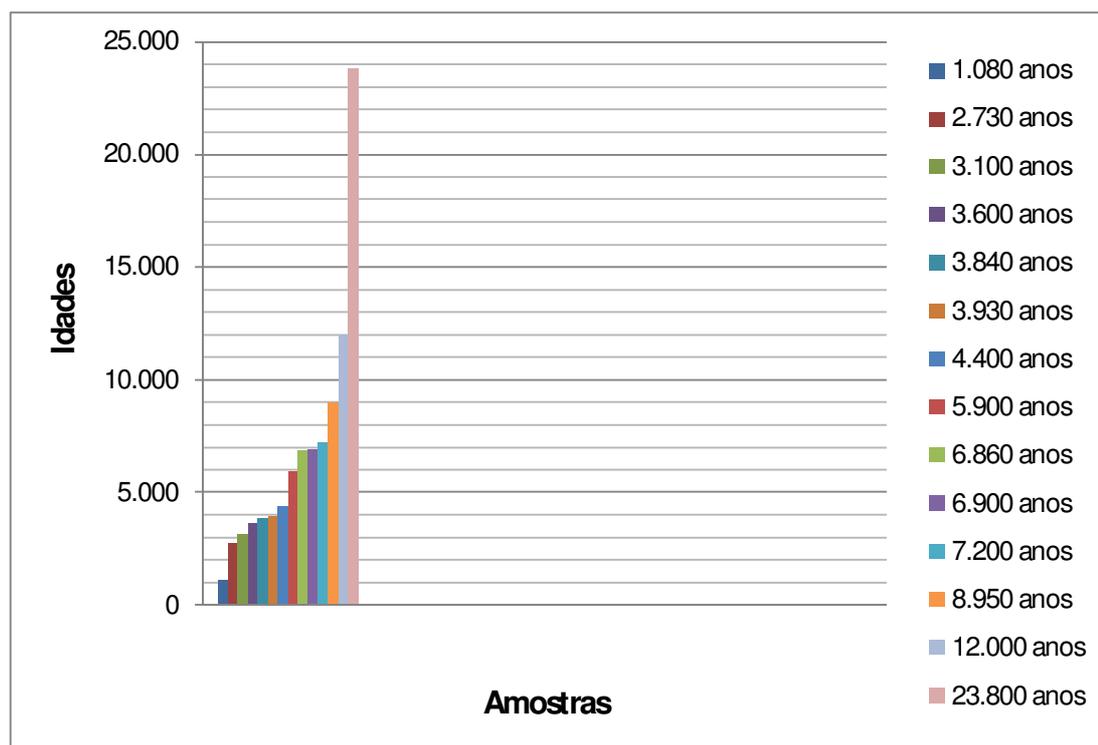


Figura 53 – Representação gráfica das amostras de dunas fixadas dos Lençóis Maranhenses datadas por termoluminescência (TL).

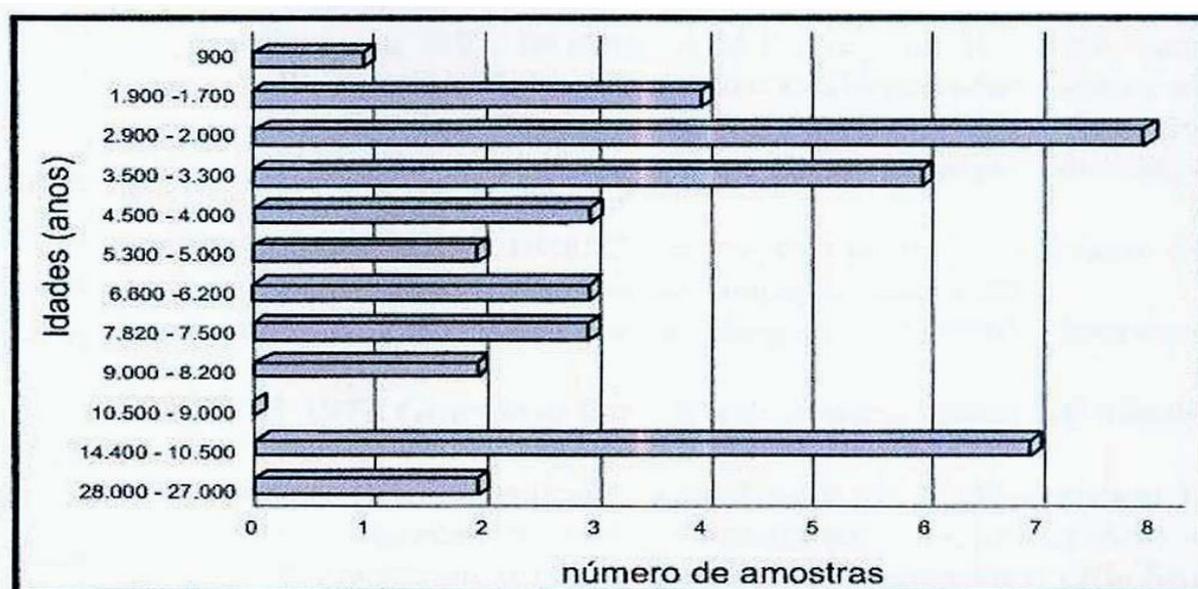


Figura 54 – Representação gráfica do número de amostras datadas em função da idade TL – Rio Grande do Norte.

Fonte: Barreto et al., 2002.

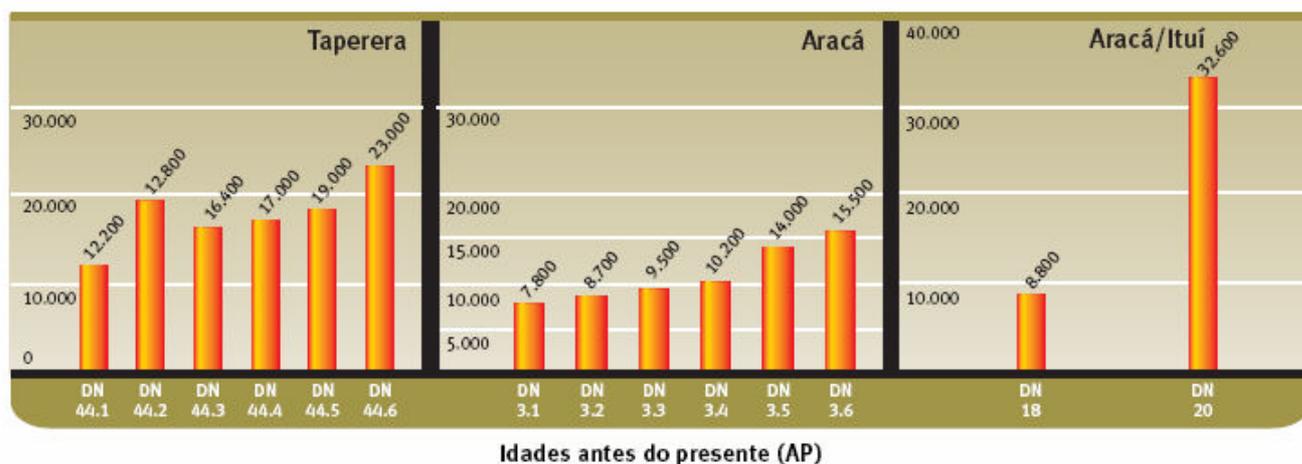


Figura 55 – Idades TL dos sedimentos arenosos que formam as dunas nas bacias dos rios Negro e Branco situadas na Amazônia.

Fonte: Carneiro Filho et al., 2005.

No que se refere às formas eólicas com 12.000 e 24.000 anos AP, estas ficaram com valores próximos aos encontrados tanto nos campos de dunas fósseis do rio Negro, quanto do Rio Grande do Norte. Acredita-se que novos estudos com amostragens mais interiorizadas e em maior número poderão identificar valores mais altos como os encontrados pelos citados autores.

5.5 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AMBIENTES ARENOSOS DOS LENÇÓIS MARANHENSES

5.5.1 Resultados e discussões

A origem e a migração dos campos de dunas, de acordo com Vintem et al. (2003), está relacionada essencialmente ao agente transportador, que é o vento, e ao tamanho do grão de areia. Ainda conforme os referidos autores, o conhecimento sobre o regime de ventos e as características texturais dos sedimentos disponíveis na praia e nas dunas é fundamental para se analisar os processos de migração existentes nos sistemas deposicionais eólicos.

No decorrer dos trabalhos de campo, na região dos Lençóis Maranhenses, foram coletadas 40 amostras (Figura 56), em diferentes unidades geomorfológicas (praia, pós-praia/planície de deflação e campos de dunas atuais e fósseis), entre agosto de 2005 a janeiro de 2007, objetivando a caracterização textural das areias (Tabela 03), bem como saber se existiam diferenças significativas entre os sedimentos das dunas atuais e pretéritas.

Os diferentes parâmetros que demonstram os resultados das análises granulométricas tais como: a mediana, média aritmética, desvio padrão, assimetria e curtose (Tabela 03) propiciaram o estabelecimento das principais características dos sedimentos encontrados nos diferentes ambientes arenosos.

De acordo com os resultados obtidos percebe-se que as areias da praia de Caburé, situada no pontal arenoso exposto às ondas de mar aberto, caracteriza-se pela presença de areia grossa no estirâncio inferior (0,500mm) e pela areia média e fina no estirâncio superior (0,250mm e 0,177mm), conforme se observa na Figura 57. Esta praia apresenta um moderado selecionamento das areias e riqueza em fragmentos de conchas; duas amostras foram coletadas, uma apresentando assimetria negativa e a outra sendo aproximadamente simétrica.

A praia dos Lençóis Maranhenses (defronte ao PNLN), caracteriza-se por apresentar diâmetro médio das partículas (0,354 a 0,250mm) e também diâmetros finos (0,177 a 0,125mm - Figura 57). Todavia, em alguns locais próximos aos arenitos e aos pequenos cursos d'água, tem-se a ocorrência também das areias grossas. De acordo com os demais parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957), essas areias apresentam-se moderadamente selecionadas, mesocúrticas e aproximadamente simétricas.

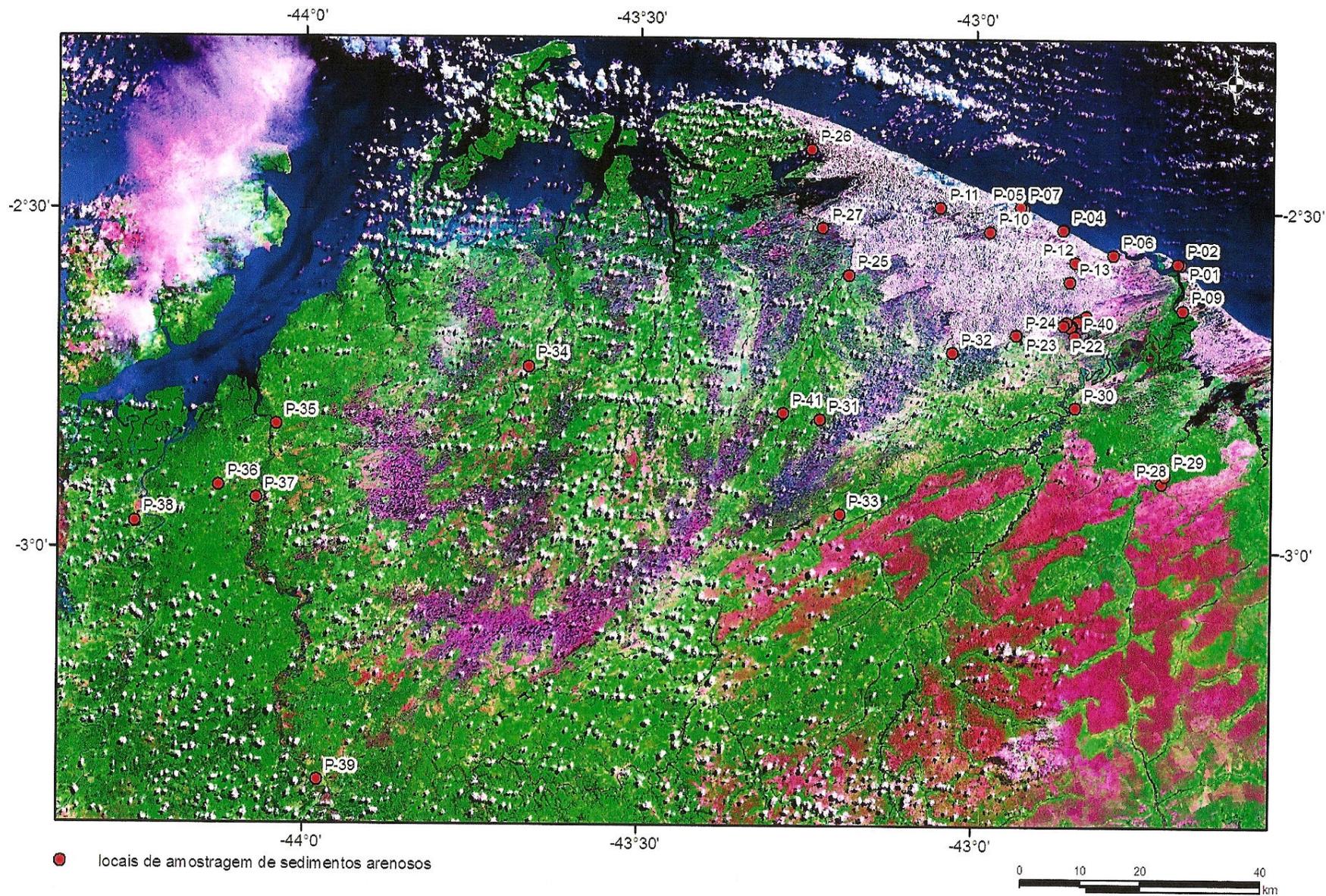
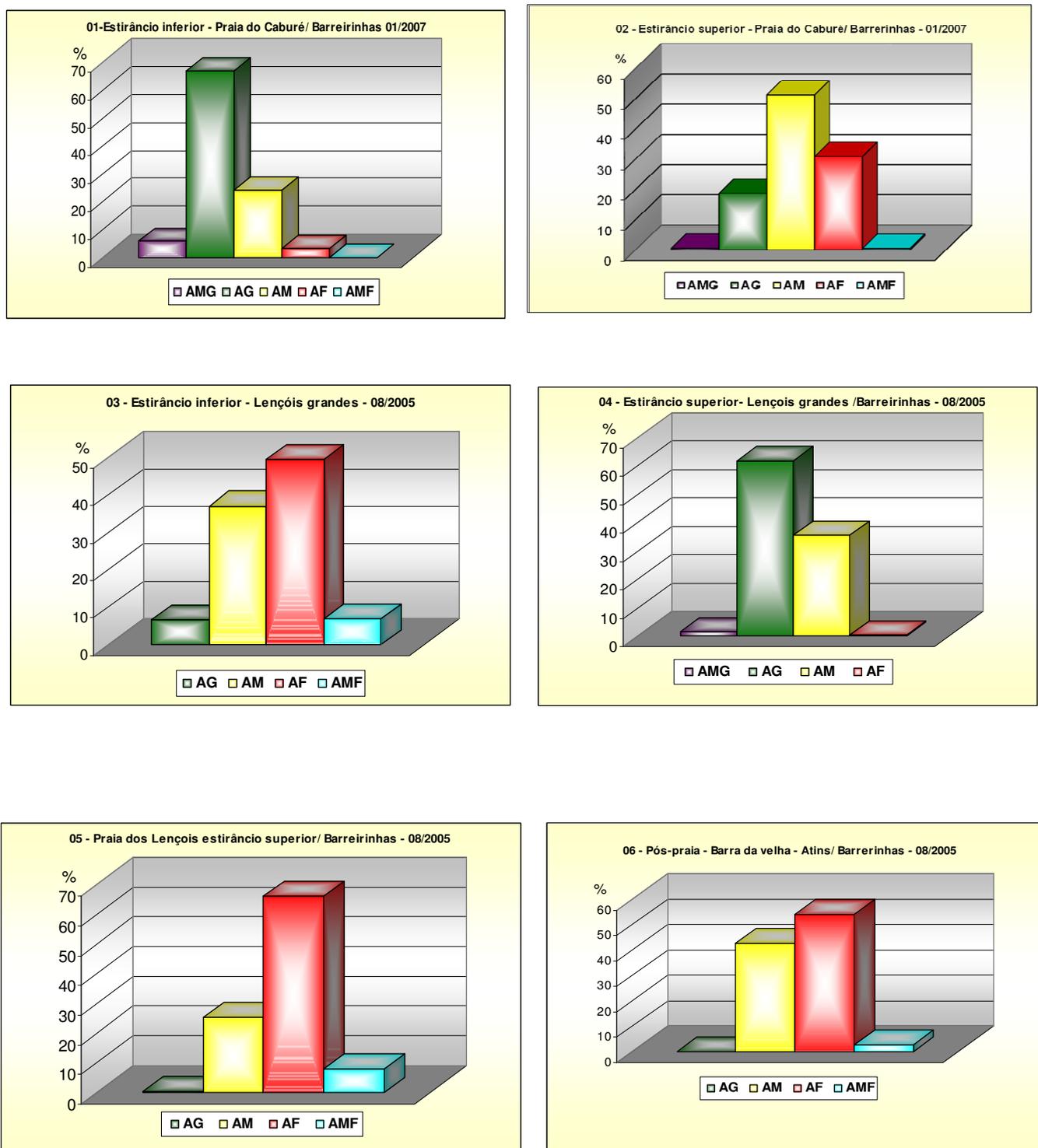


Figura 56 – Imagem dos Lençóis Maranhenses/ locais das coletas de areia

Tabela – 03 Unidades geomorfológicas e respectivos valores da mediana, média, desvio padrão, assimetria, curtose e curtose normalizada dos Sedimentos arenosos dos Lençóis Maranhenses - MA

.AMOSTRA	MEDIANA	MEDIA	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	CURTOSE NORMALIZADA	CLASSIFICAÇÃO
1- ESTIRÂNCIO INFERIOR PRAIA DO CABURÉ	0.738	0.750	0.555	0.086	1.184	0.542	Areia grossa, moderadamente selecionada, leptocurtica, aproximadamente simétrica.
2-ESTIRÂNCIO SUPERIOR PRAIA CABURÉ	1.634	1.600	0.666	- 0.121	0.849	0.459	Areia média moderadamente selecionada, platicurtica, assimetria negativa.
3-ESTIRÂNCIO INFERIOR LENÇÓIS PEQUENOS	2.099	2.050	0.710	-0.079	1.029	0.507	Areia fina, moderadamente selecionada, mesocurtica, aproximadamente simétrica.
4-ESTIRÂNCIO INFERIOR LENÇÓIS PEQUENOS	0.837	0.862	0.513	0.087	1.020	0.504	Areia grossa, moderadamente selecionada, mesocurtica, aproximadamente simétrica.
5-ESTIRÂNCIO SUPERIOR LENÇÓIS PEQUENOS	2.263	2.276	0.517	0.077	1.183	0.542	Areia média, bem selecionada, mesocurtica, aproximadamente simétrica.
6- PÓS-PRAIA / BARRA DA VELHA	2.077	2.061	0.403	0.057	0.957	0.489	Areia fina, bem selecionada, mesocurtica, aproximadamente simétrica.
7- PÓS-PRAIA LENÇÓIS PEQUENOS	1.925	1.935	0.391	-0.056	0.905	0.475	Areia média, moderadamente selecionada, mesocurtica, assimetria positiva.
8- LIMITE LENÇOL DE AREIA / CAMPO DE DUNAS	1.916	1.957	0.674	0.156	1.008	0.502	Areia média, moderadamente selecionada, mesocurtica, assimetria positiva.
9- TOPO DUNA MOVEL LOCALIDADE DE VASSOURA	2.644	2.678	0.476	0.114	0.789	0.441	Areia fina, bem selecionada, platicurtica assimetria positiva.
10- TOPO DUNA MOVEL / BAIXA GRANDE	2.289	2.290	0.510	-0.104	1.438	0.589	Areia fina, moderadamente selecionada, leptocurtica, assimetria negativa.
11- TOPO DUNA MOVEL / QUEIMADA DOS BRITOS	2.164	2.123	0.411	-0.012	1.127	0.529	Areia fina, bem selecionada, leptocurtica, aproximadamente simétrica.
12- INTERIOR CAMPO DE DUNAS MÓVEIS	2.206	2.197	0.444	0.064	1.243	0.554	Areia fina, bem selecionada, leptocurtica, aproximadamente simétrica.
13- INTERIOR CAMPO DE DUNAS MOVEIS.	2.295	2.340	0.448	0.042	1.444	0.590	Areia fina, bem selecionada, leptocurtica, aproximadamente simétrica.
14- TOPO DUNA ISOLADA DIREÇÃO PÉ DO MORO	2.473	2.542	0.422	0.290	0.869	0.465	Areia fina, bem selecionada, Platicurtica assimetria positiva.
15- TOPO DUNA MOVEL MONITORADA	2.293	2.336	0.352	0.244	1.578	0.612	Areia fina, bem selecionada, leptocurtica, assimetria positiva.
16- BASE DUNA MOVEL MONITORADA	2.223	2.188	0.374	0.053	1.369	0.577	Areia fina, bem selecionada, leptocurtica, aproximadamente simétrica.
17- TOPO DUNA MOVEL ENTRADA LAGOA AZUL	2.357	2.430	0.379	0.359	1.043	0.510	Areia fina, bem selecionada, mesocurtica, Assimetria positiva.
18- BASE DUNA MOVEL ENTRADA LAGOA AZUL	2.350	2.425	0.363	0.383	1.121	0.528	Areia fina, bem selecionada, leptocurtica, assimetria muito positiva.
19- TOPO DUNA MOVEL A MARGEM DA LAGOA AZUL	2.657	2.688	0.495	0.093	0,746	0.427	Areia fina, bem selecionada, platicurtica, aproximadamente simétrica.
20- TOPO DUNA MOVEL 1 SETOR LAGOA AZUL	2.802	2.788	0.470	- 0.056	0.818	0.449	Areia fina, bem selecionada, platicurtica, aproximadamente simétrica.

AMOSTRA	MEDIANA	MEDIA	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	CURTOSES NORMALIZADAS	CLASSIFICAÇÃO
21- TOPO DUNA MOVEL PROXIMO A LAGOA AZUL	2.787	2.780	0.454	-0.029	0.803	0.445	Areia fina, bem selecionada, platycurtica, aproximadamente simétrica.
22- TOPO DUNA EXTREMIDADE SETOR L. AZUL	2.464	2.550	0.430	0.327	0.866	0.464	Areia fina, bem selecionada, platycurtica, assimetria muito positiva.
23- TOPO DUNA MOVEL PROXIMO A LAGOA BONITA	2.588	2.653	0.465	0.207	0.782	0.439	Areia fina, bem selecionada, platycurtica, assimetria positiva.
24- TOPO DUNA MOVEL SETOR LAGOA ESPERANÇA	2.589	2.631	0,451	0.158	0.826	0.452	Areia fina, bem selecionada, platycurtica, assimetria positiva.
25- TOPO DUNA MOVEL PROXIMO AO RIO GRANDE	2.013	2.061	0.483	-0.050	1.035	0.508	Areia fina, bem selecionada, mesocurtica, aproximadamente simétrica.
26- TOPO DUNA MOVEL A MARGEM DO LAGO TRAVOSA	2.101	2.051	0.706	-0.083	1.034	0.508	Areia fina, moderadamente selecionada, mesocurtica, assimetria negativa.
27- Rastro de dunas em Santo Amaro do Maranhão	2.207	2.292	0.716	0.196	1.262	0.557	Areia fina, moderadamente selecionada, leptocurtica, assimetria positiva.
28- Duna fixa em Paulino Neves	2.905	2.870	0.639	0.057	0.776	0.437	Areia fina, moderadamente selecionada, platycurtica, aproximadamente simétrica.
29- Duna fixa em Paulino Neves.	2.495	2.663	0.664	0.298	0.857	0.461	Areia fina, moderadamente selecionada, platycurtica, assimetria Positiva.
30- Duna fixa na MA-204/Barreirinhas .	2.329	2.461	0.635	0.281	1.049	0.512	Areia fina, moderadamente selecionada, mesocurtica, assimetria Positiva.
31- Duna fixa na localidade Sangue	2.295	2.323	0.292	0.301	1.326	0.570	Areia fina, muito bem selecionada, leptocurtica, assimetria muito positiva.
32- Duna fixa/ setor lagoa Esperança	2.381	2.529	0.518	0.369	0.979	0.494	Areia fina, moderadamente selecionada, mesocurtica, assimetria muito positiva.
33- Duna fixa próxima à lagoa do Caçó	2.207	2.39	0.680	0.066	1.420	0.586	Areia fina, moderadamente selecionada, leptocurtica, aproximadamente simétrica.
34- Duna fixa próxima à localidade Quebra Anzol.	2.439	2.551	0.587	0.192	0.925	0.480	Areia fina, moderadamente selecionada, Mesocurtica, assimetria positiva.
35- Duna fixa na estrada de acesso a Icatu	2.236	2.262	0.534	0.125	1.353	0.575	Areia fina, moderadamente selecionada, leptocurtica, assimetria positiva.
36- Duna fixa em Axixá	2.494	2.592	0.466	0.316	0.838	0.456	Areia fina, bem selecionada, platycurtica assimetria muito positiva.
37- Duna fixa em Presidente Juscelino	2.352	2.428	0.368	0.380	1.093	0.522	Areia fina, bem selecionada, Leptocurtica, assimetria muito positiva.
38- Duna fixa em Salvaterra/Rosário	2.247	2.361	0.829	0.170	1.113	0.526	Areia fina, moderadamente selecionada, leptocurtica, assimetria positiva.
39- Duna fixa em Presidente Vargas	2.241	2.275	0.517	0.167	1.522	0.603	Areia fina, moderadamente selecionada, muito leptocurtica, assimetria positiva.
40- MARGEM DA TRILHA PRINCIPAL DE ACESSO A L. AZUL	2.234	2.232	0.449	0.092	1.601	0.615	Areia fina, bem selecionada, muito leptocurtica, aproximadamente simétrica.



AMG = Areia Muito Grossa, AG = Areia Grossa, AM= Areia Média, AF = Areia Fina, AMF= Areia Muito Fina

Figura 57 – Diâmetro médio das areias - unidades geomorfológicas (praia e pós-praia) dos Lençóis Maranhenses.

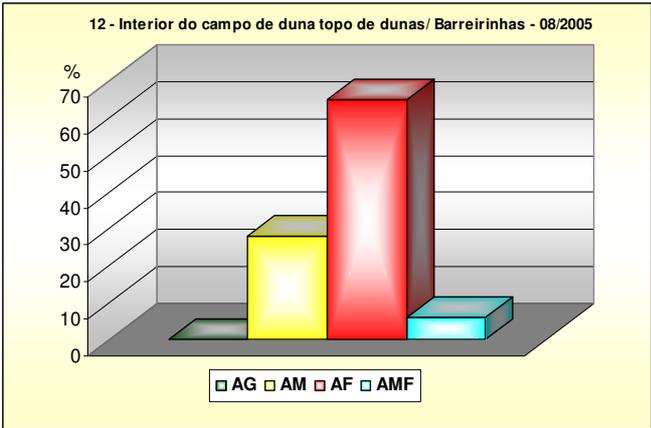
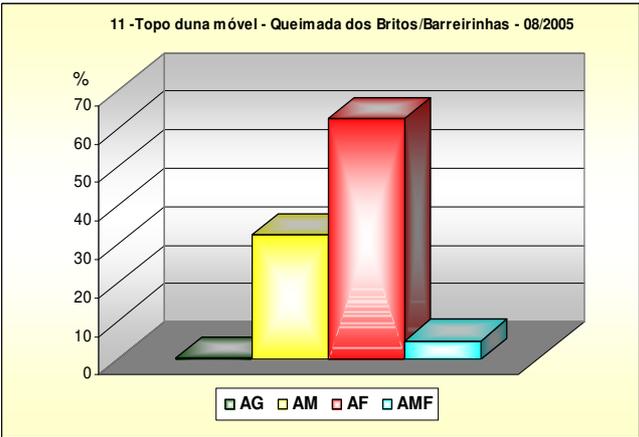
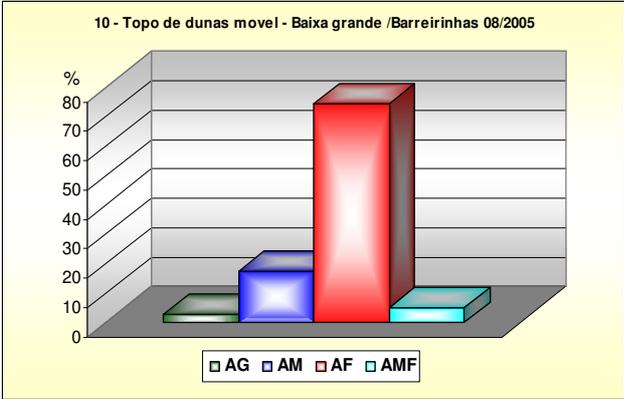
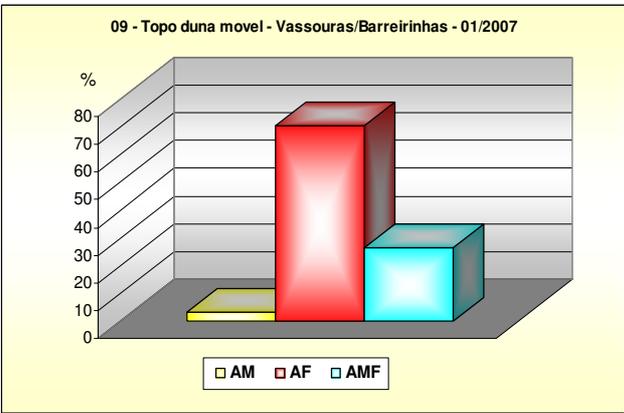
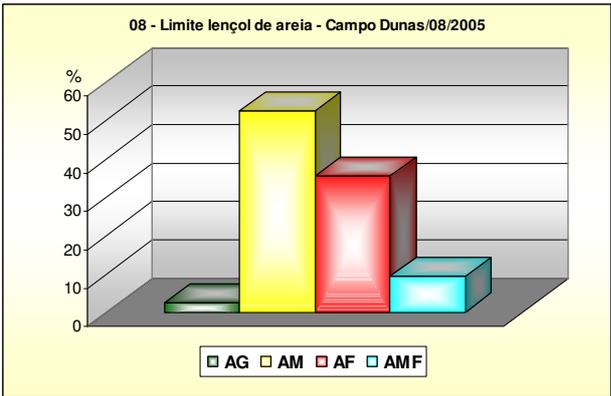
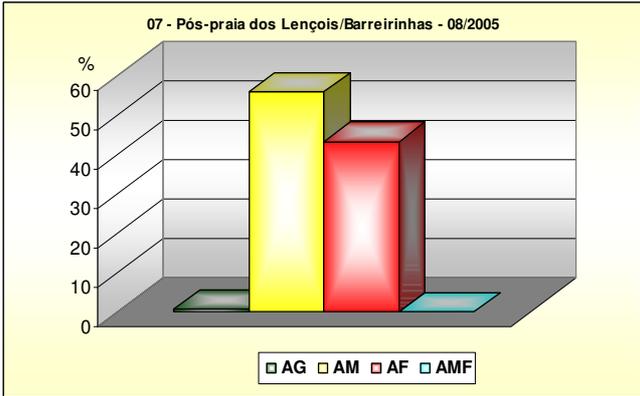
Na área da pós-praia (lençol de areia), as três amostras analisadas (nº 06, 07 e 08), situadas desde a praia até o limite com o campo de dunas ativo, demonstraram que, à medida que se afastam da linha de praia, as areias finas são removidas pelos ventos, levadas para o interior do campo de dunas. Durante o transporte, uma parcela das areias médias, devido ao seu tamanho, permanece por mais tempo sobre a referida planície. Desta maneira, esta classe textural apresenta uma ligeira predominância nesta unidade geomorfológica.

Os sedimentos arenosos da pós-praia em questão são compostos por areias médias e finas (Figuras 57 e 58), moderadamente selecionadas, mesocurticas com assimetria positiva ou aproximadamente simétrica. Ainda nesta área, foi constatada a existência de grãos de areias oxidados (mais escuros) no interior dos pequenos canais (sangradouros) existentes.

Das 19 amostras coletadas em diferentes pontos no campo de dunas móveis do PNLM, todas apresentaram diâmetro médio correspondente a areia fina (Figuras 58 a 61), sendo que 10 amostras (52,6%) são constituídas de areia fina e muito fina, 8 amostras (42,1%) por areia fina e média e apenas uma amostra caracterizou-se por areia fina com proporções semelhantes de sedimentos médios e muito finos. Quanto ao selecionamento, 17 amostras (89,5%) são bem selecionadas e apenas duas apresentaram-se como moderadamente selecionadas. A assimetria das areias variou entre aproximadamente simétrica (47,4%) e positiva (31,6%). No que se refere a curtose, houve o predomínio dos resultados leptocúrticos (42,1%) e platicúrticos (41,1%).

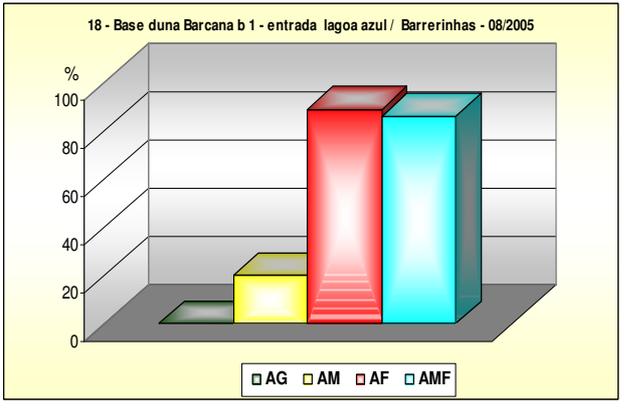
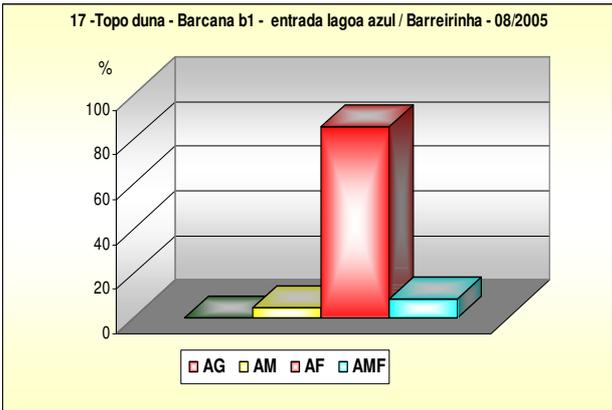
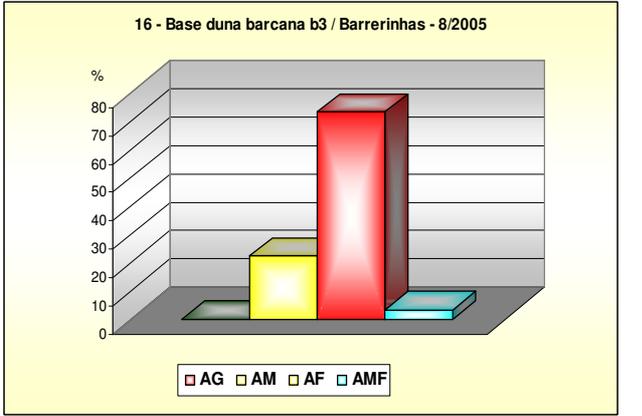
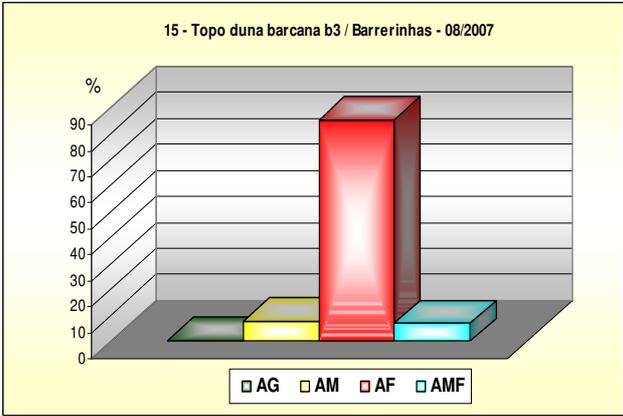
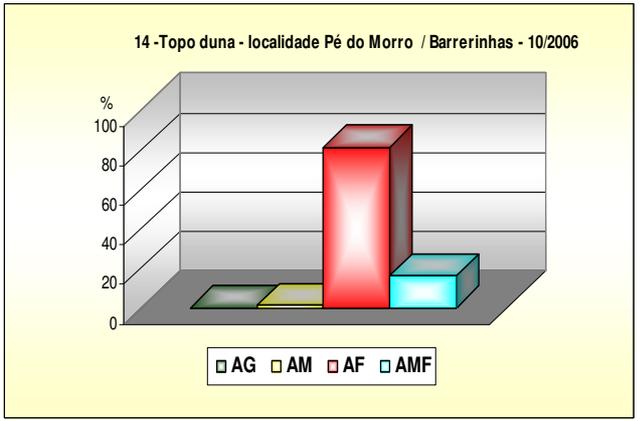
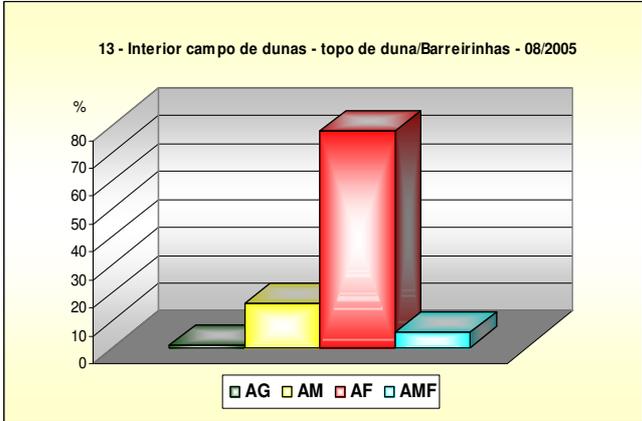
Mesmo ocorrendo a predominância da classe areia fina, constatou-se que em 58% das amostras analisadas tem-se a presença das areias médias, semelhantemente aos dados constantes do plano de manejo do PNLM (MMA/IBAMA, 2003). A existência de uma considerável porcentagem de sedimentos arenosos muito finos indica que o diâmetro médio das areias diminui à proporção que se afastam da linha de costa. Já a significativa presença de areias médias confirma a expressiva competência dos ventos alíseos de NE neste setor da planície costeira maranhense.

Texturalmente, o sedimento das dunas fixadas (fósseis), caracteriza-se também pelo predomínio da composição areia fina. Do total de doze amostras, oito (66,7%) apresentaram a presença de areia muito fina (Figuras 61 a 63). Nas quatro amostras restantes (33,3%), houve uma maior ocorrência da areia fina e média.



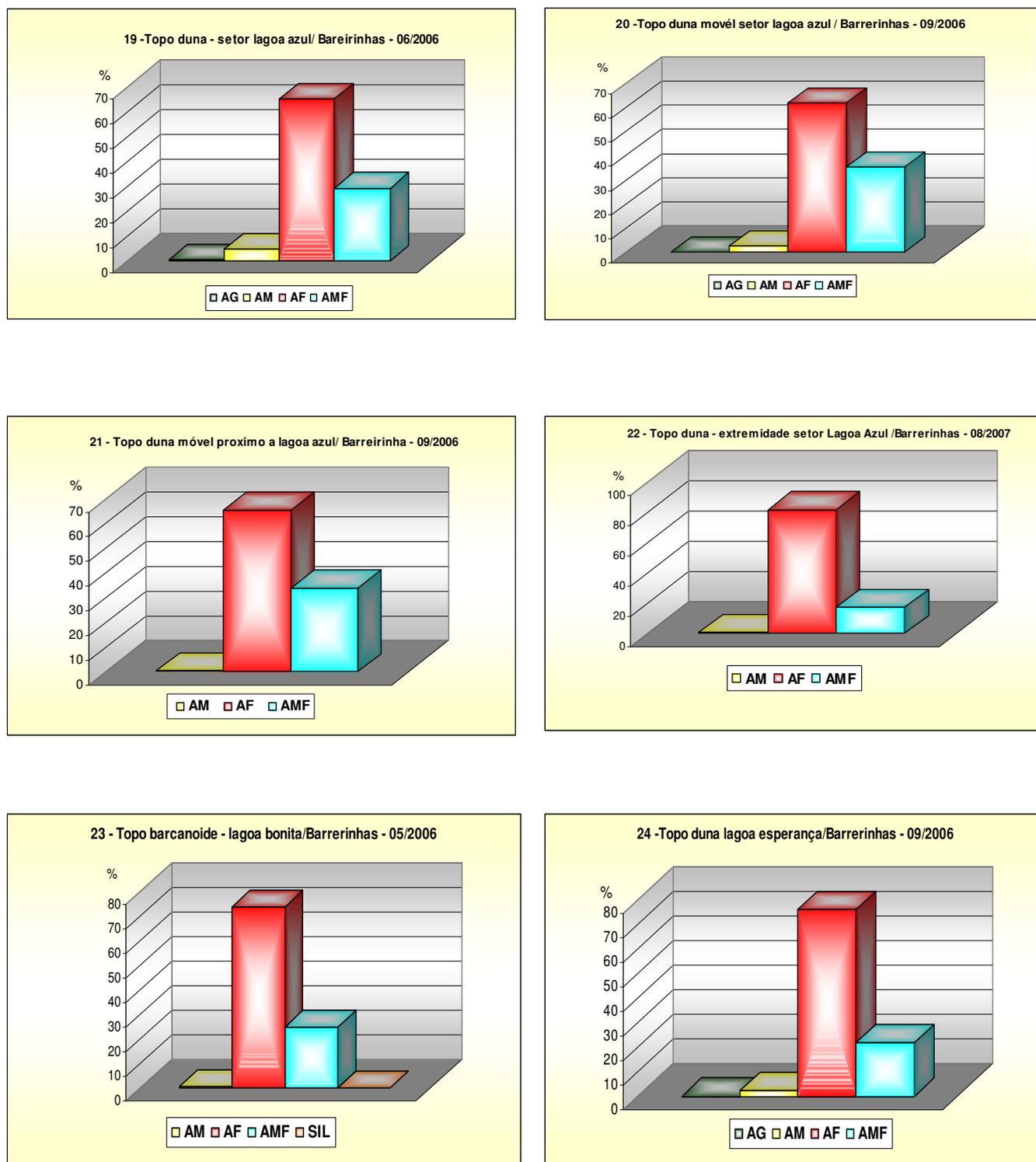
AG = Areia Grossa, AM= Areia Média, AF = Areia Fina, AMF = Areia Muito Fina

Figura 58 – Diâmetro médio das areias - unidades geomorfológicas (pós-praia, lençol de areia e dunas móveis) dos Lençóis Maranhenses.



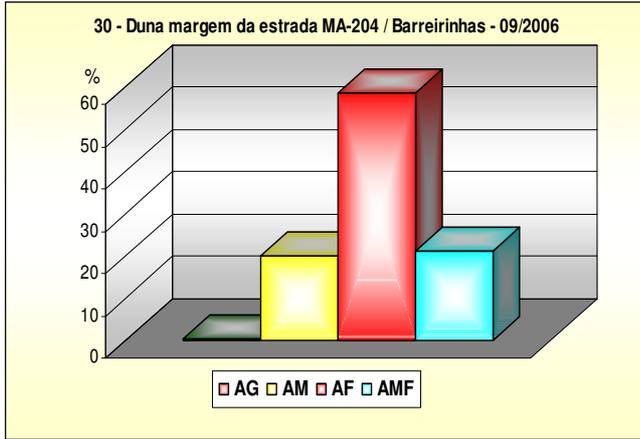
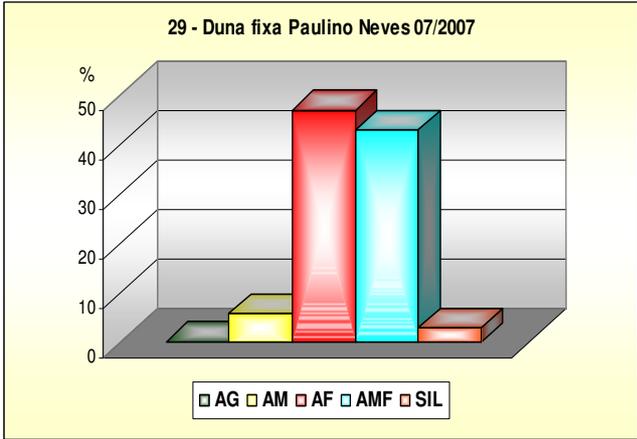
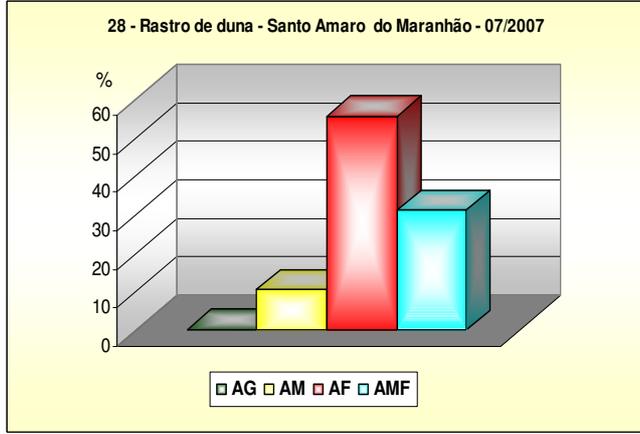
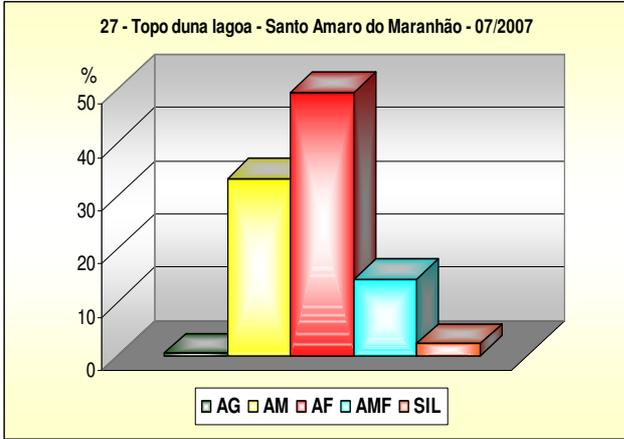
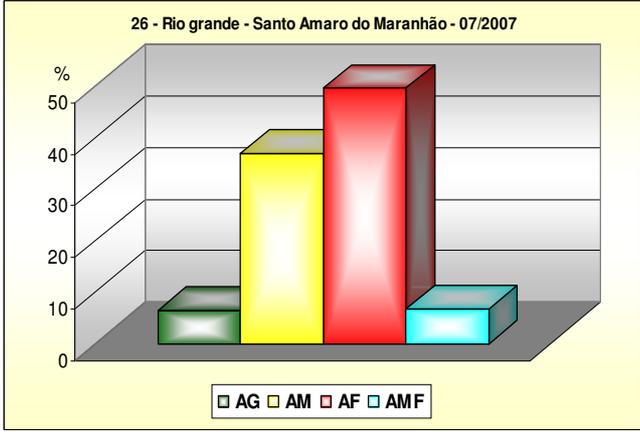
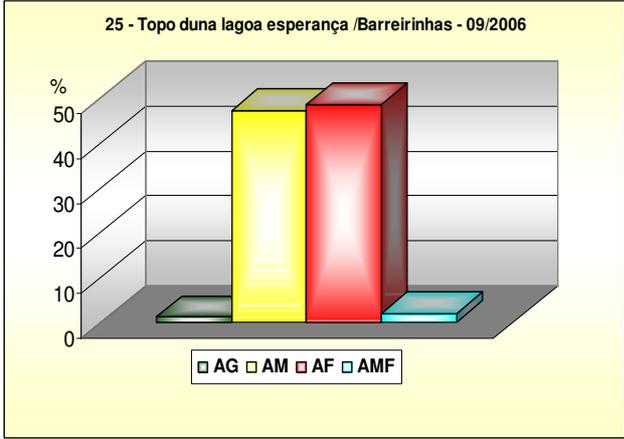
AG = Areia Grossa, AM= Areia Média, AF = Areia Fina, AMF= Areia Muito Fina

Figura 59 – Diâmetro médio das areias - unidade geomorfológica (dunas móveis) dos Lençóis Maranhenses.



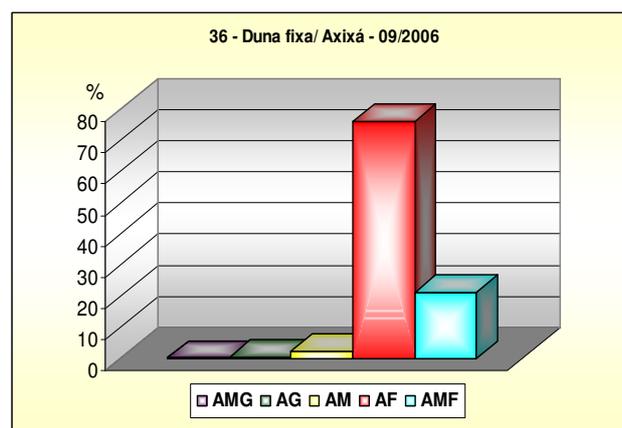
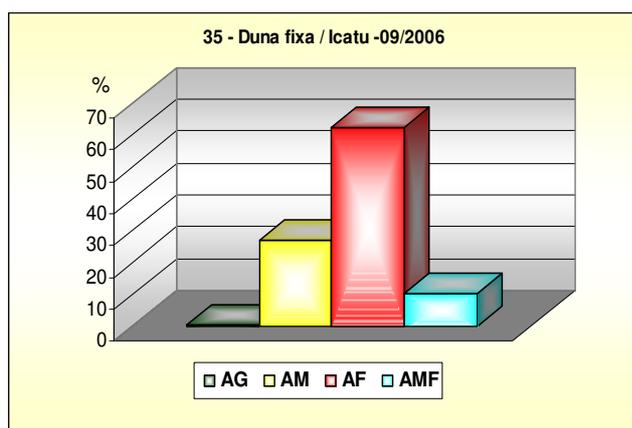
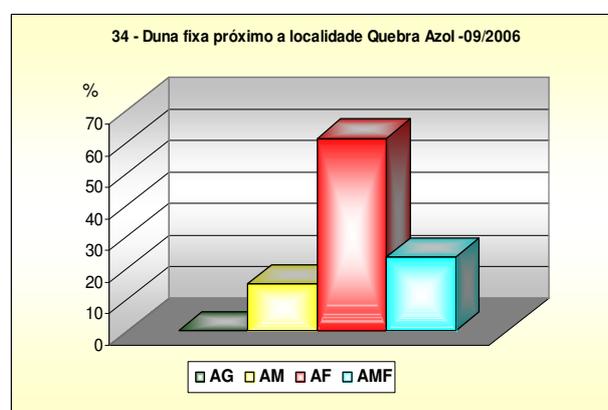
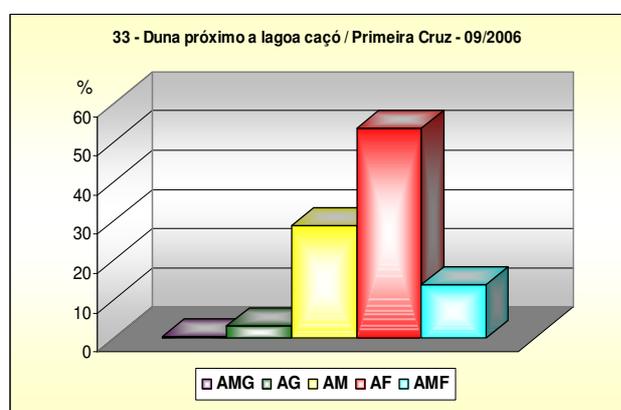
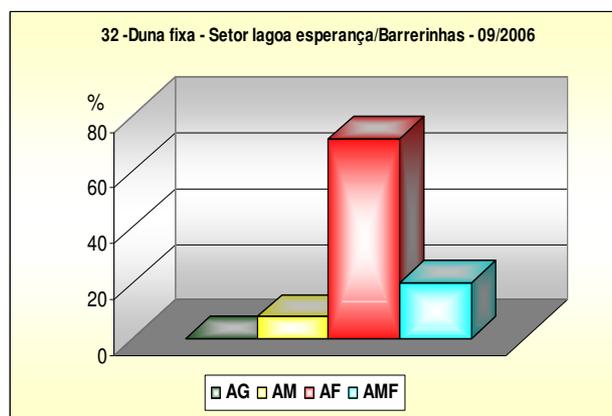
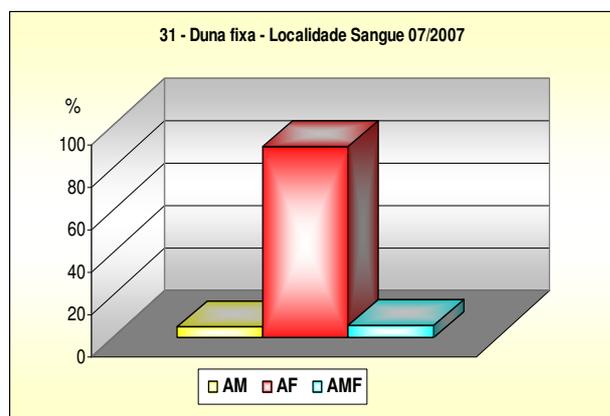
AG = Areia Grossa, AM= Areia Média, AF = Areia Fina, AMF= Areia Muito Fina

Figura 60 – Diâmetro médio das areias - unidade geomorfológica (dunas móveis) dos Lençóis Maranhenses.



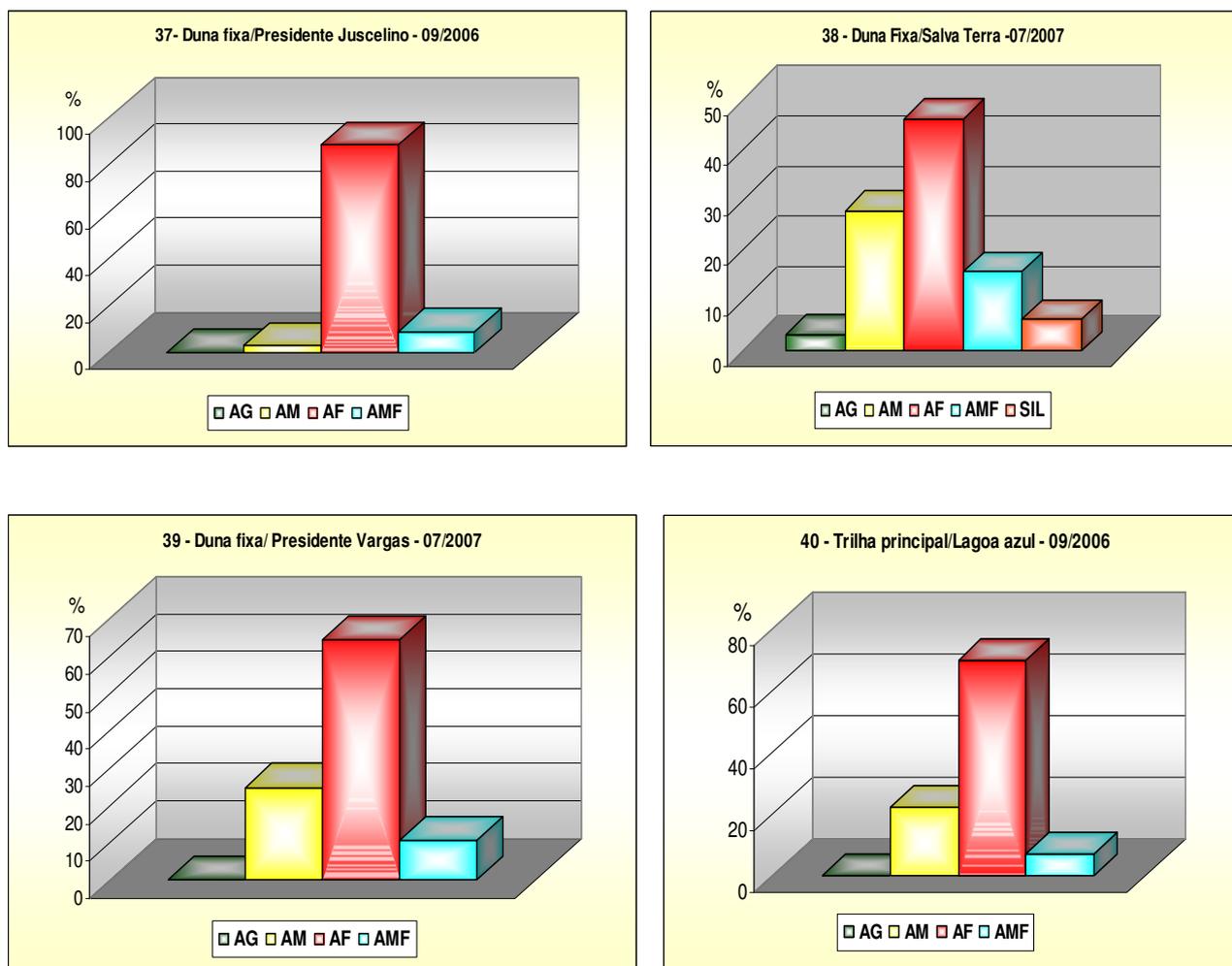
AG = Areia Grossa, AM= Areia Média, AF = Areia Fina, AMF= Areia Muito Fina, SIL= Silte

Figura 61 – Diâmetro médio das areias - unidades geomorfológicas (rastro de dunas, dunas móveis e fixas) dos Lençóis Maranhenses.



AMG= Areia Muito Grossa, AG = Areia Grossa, AM= Areia Média, AF = Areia Fina, AMF= Areia Muito Fina

Figura 62 – Diâmetro médio das areias - unidade geomorfológica (dunas fixas) dos Lençóis Maranhenses.



AG = Areia Grossa, AM= Areia Média, AF = Areia Fina, AMF= Areia Muito Fina, SIL= Silte

Figura 63 – Diâmetro médio das areias - unidades geomorfológicas (dunas fixas e planura arenosa) dos Lençóis Maranhenses.

Quanto ao selecionamento dos grãos, diferentemente dos sedimentos eólicos atuais, as areias das dunas fósseis se apresentaram moderadamente selecionadas (75%). A assimetria apresentou curvas de distribuição predominantemente positivas (50,0%), seguida pela muito positiva (33,3%), caracterizando maiores percentagens de areias finas e muito finas. No que se refere ao grau de agudez dos picos, as curtoses variaram de leptocúrtica (50,0%) a mesocúrtica (25,0%).

Embora o número de amostras seja considerado pequeno para estabelecer uma comparação definitiva das variações texturais dos sedimentos arenosos atuais com os pretéritos, destaca-se que todas as amostras apresentaram talhe arenoso (areia fina), conforme visualizado nos Gráficos 01 e 02.

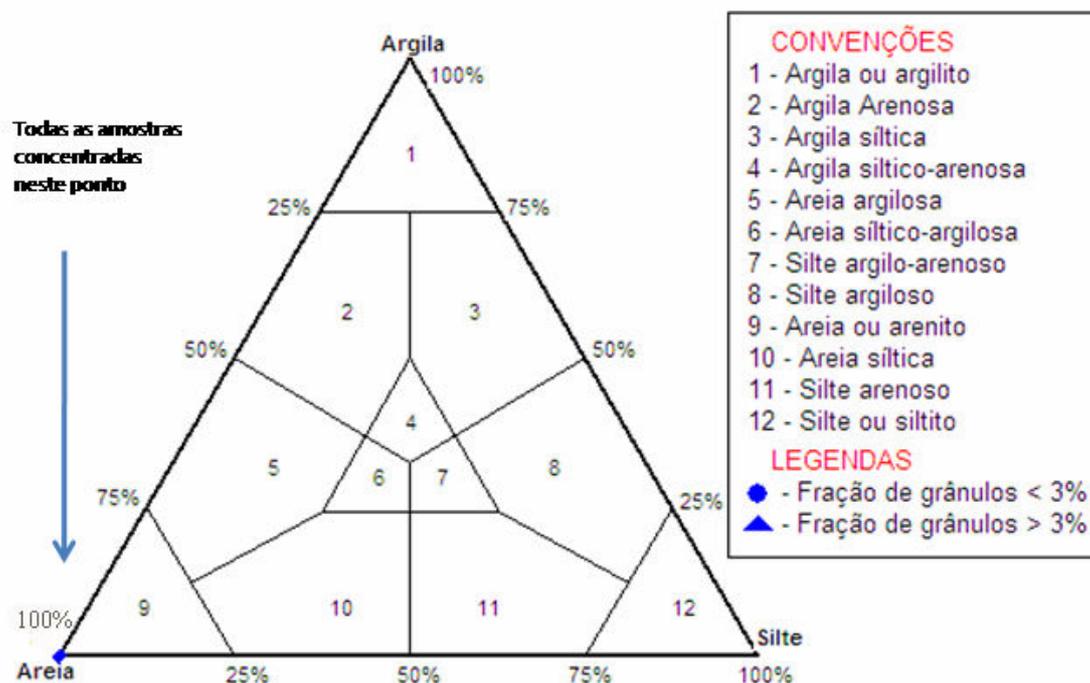


Gráfico 01 – Diagrama de Shepard demonstrando a classificação de 18 amostras de sedimentos arenosos do campo de dunas atual do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses - MA.

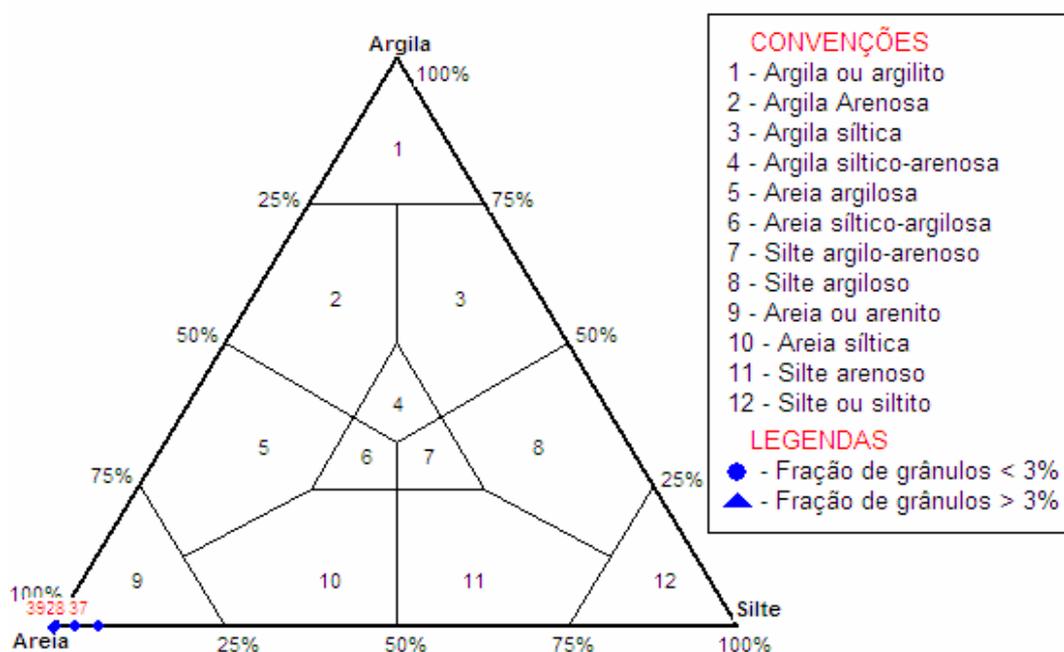


Gráfico 02 – Diagrama de Shepard demonstrando a classificação de 13 amostras de sedimentos arenosos do campo de dunas fóssil do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses - MA

De acordo com os dados obtidos e apresentados nos Gráficos 03 e 04, as areias do campo de dunas atual apresentaram selecionamento diferente das dunas pretéritas. Como se observa, as areias atuais caracterizam-se como bem selecionadas, enquanto que as pretéritas (Gráficos 05 e 06) são moderadamente selecionadas.

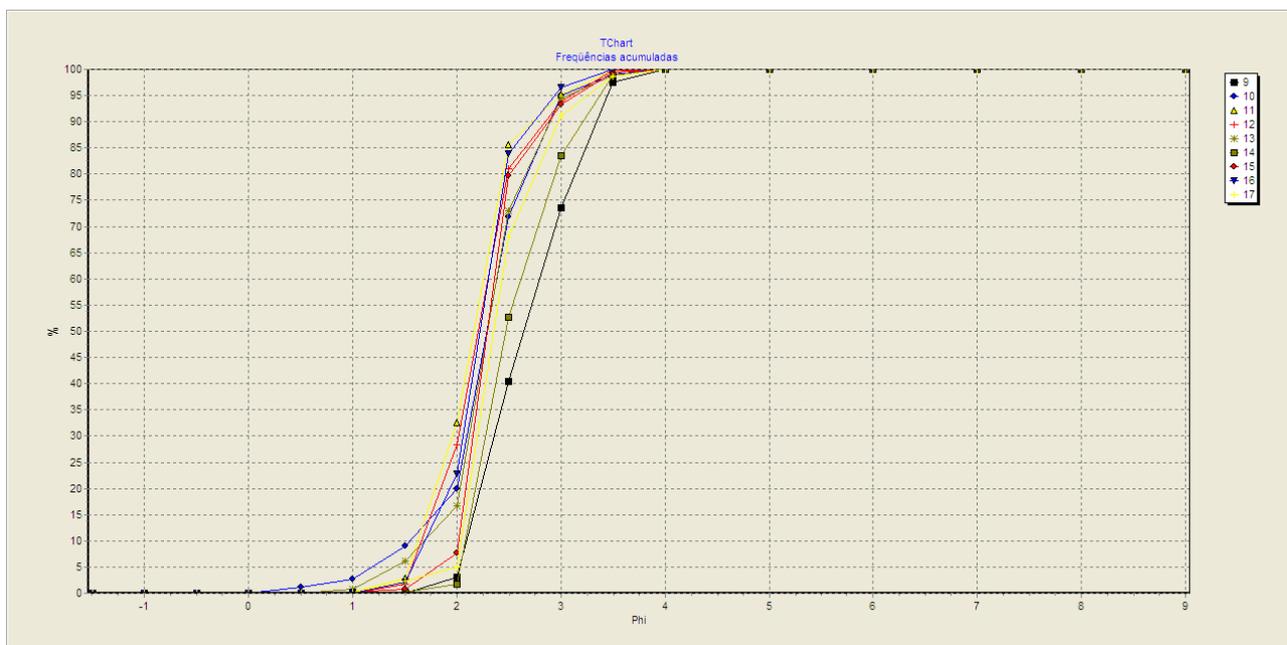


Gráfico 03 – Frequência acumulada de 09 amostras de sedimentos arenosos do campo de dunas atuais dos Lençóis Maranhenses - MA.

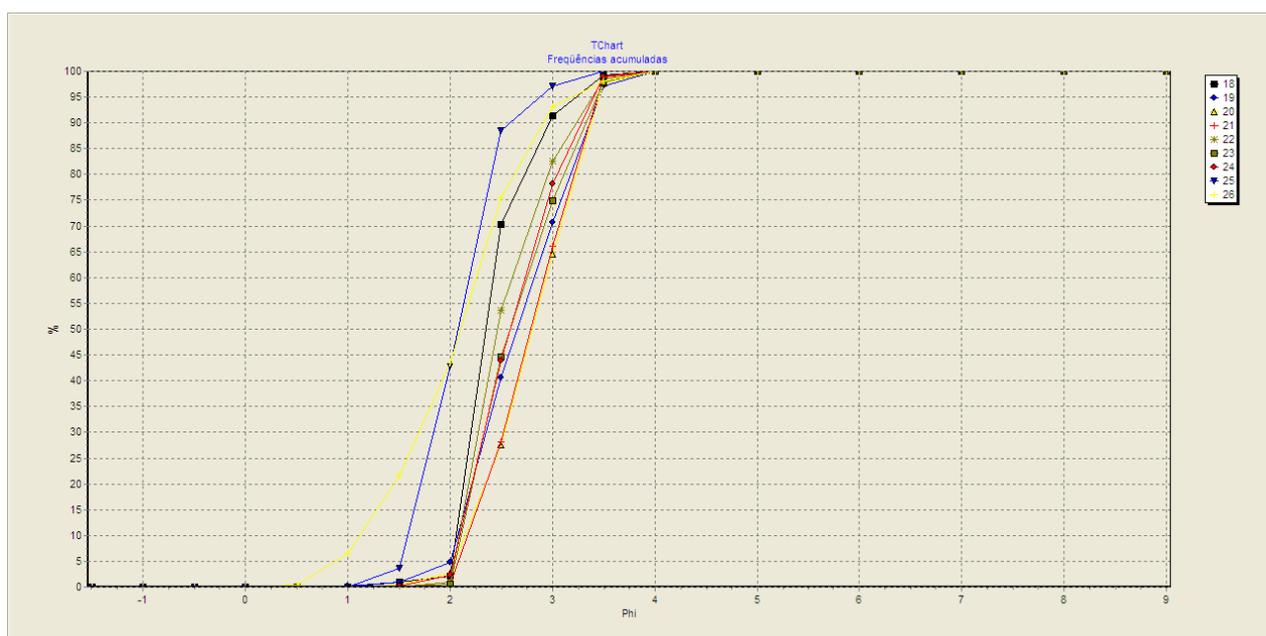


Gráfico 04 – Frequência acumulada de 09 amostras de sedimentos arenosos do campo de dunas atuais dos Lençóis Maranhenses - MA.

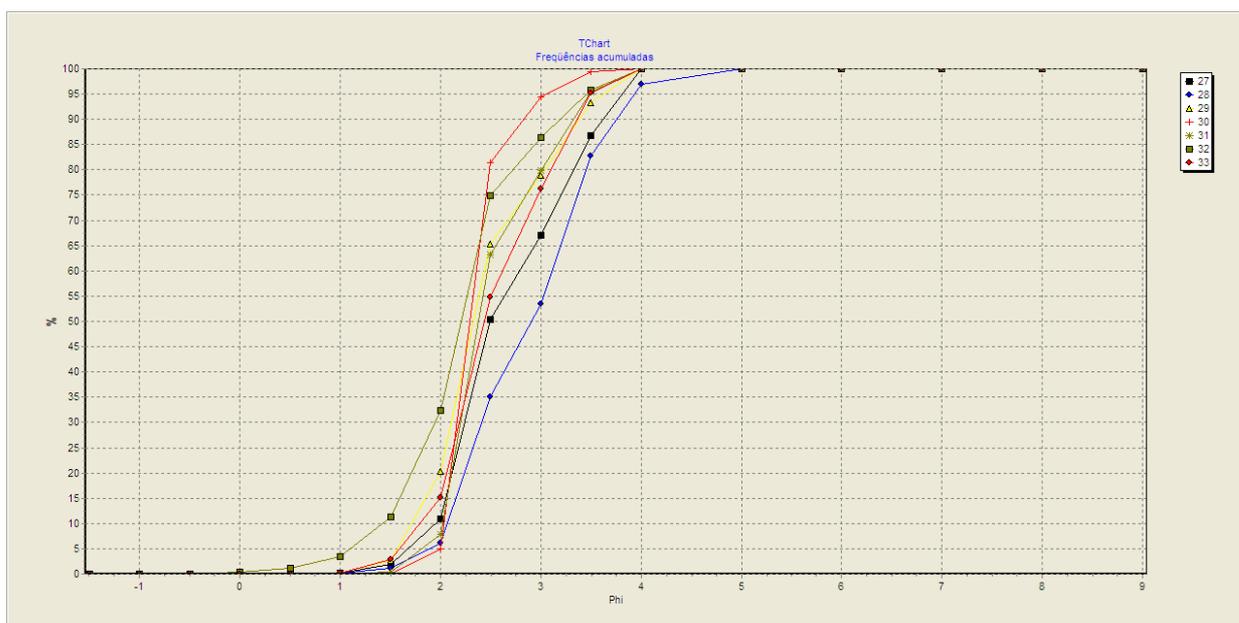


Gráfico 05 – Frequência acumulada de 07 amostras de sedimentos arenosos dos campos de dunas fósseis dos Lençóis Maranhenses - MA.

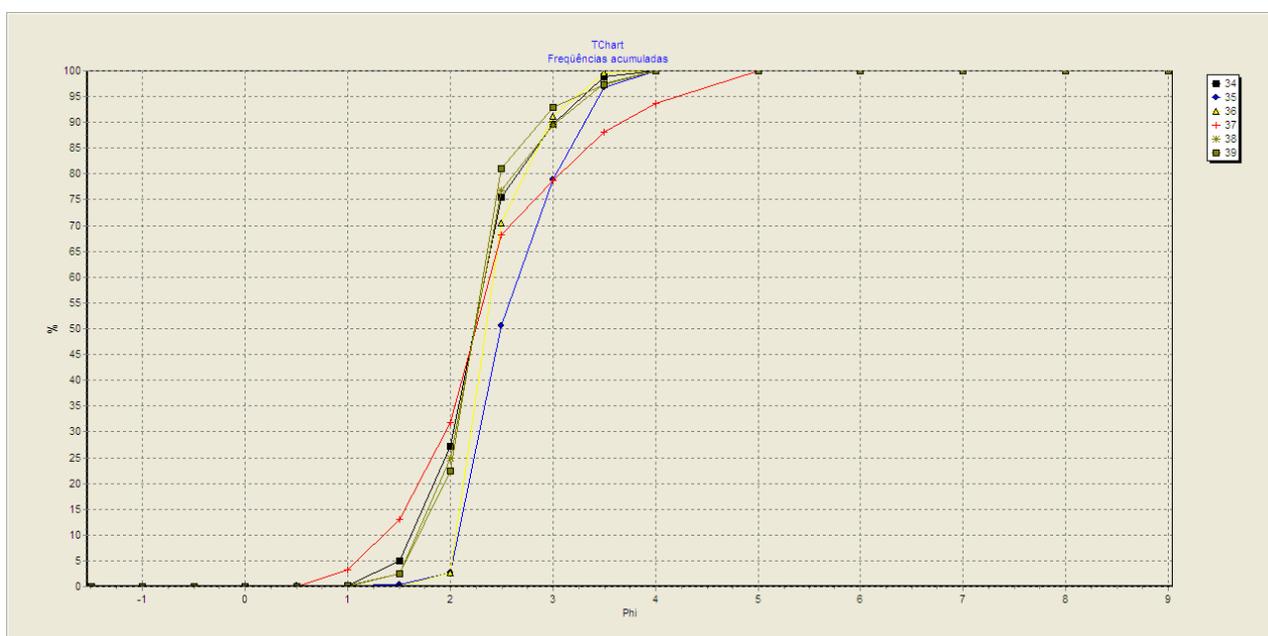


Gráfico 06 – Frequência acumulada de 06 amostras de sedimentos arenosos dos campos de dunas fósseis dos Lençóis Maranhenses - MA.

De acordo com Suguio (2003b), os coeficientes estatísticos quase sempre diferenciam, bem melhor os sedimentos de ambientes modernos que os de depósitos antigos. Ainda segundo o referido autor, tal fato pode ser, em parte, explicado pelas mudanças

granulométricas introduzidas por fenômenos pós-deposicionais, a exemplo dos processos diagenéticos. Outro argumento para o melhor selecionamento das dunas modernas do PNLM reside no fato das mesmas estarem sujeitas a níveis constantes de energia associados aos ventos atuais, aumentando o grau de seleção dos clásticos, ao contrário das dunas antigas, as quais se encontram fixadas pela vegetação e, conseqüentemente, protegida da ação dos ventos.

No que diz respeito à assimetria, destacou-se como aproximadamente simétrica para as amostras das dunas atuais e positiva a muito positiva nas dunas fósseis. Tal resultado caracteriza os depósitos arenosos pretéritos como originados pela ação eólica, uma vez que, de acordo com Suguio (2003b), é comum a presença da assimetria positiva em areias de dunas.

Os dois parâmetros estatísticos que apresentaram resultados diferentes quando da comparação entre os depósitos eólicos antigos e recentes (Quadro 17), foram a assimetria e o desvio padrão. Isto confirma os resultados encontrados nos Gráficos 07 e 08, nos quais se percebe uma maior concentração dos resultados para as dunas atuais centradas em torno dos valores 0,45 de seleção e 0,1 de assimetria e uma maior dispersão no tocante aos sedimentos arenosos antigos, que embora apresentem também a classe areia fina, mostram-se menos selecionados do que os depósitos eólicos atuais.

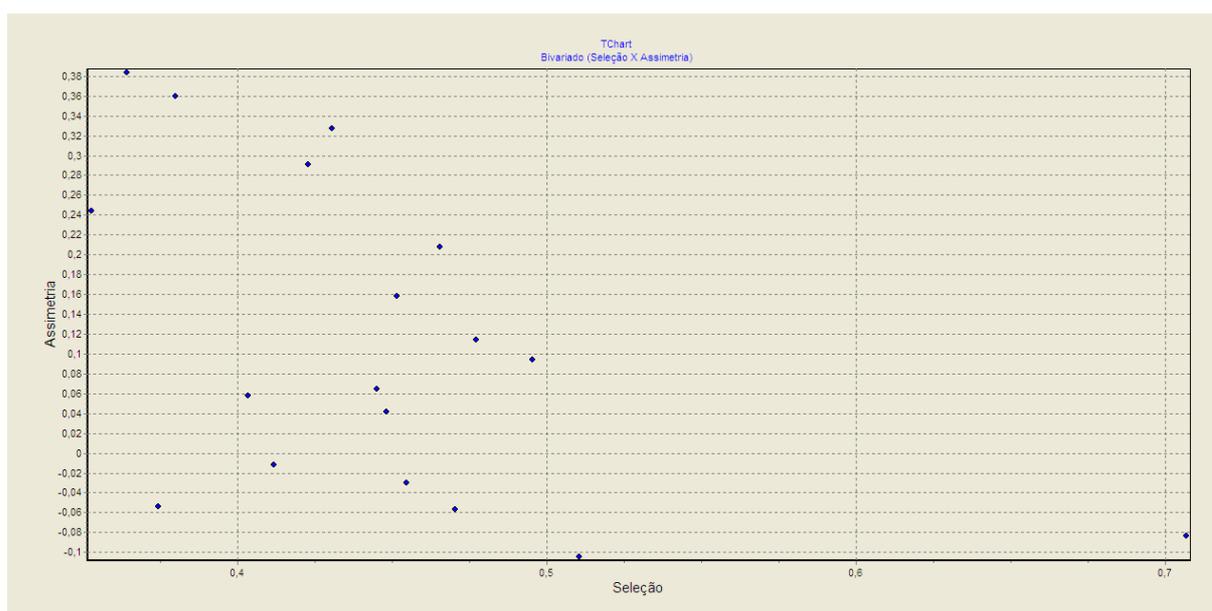


Gráfico 07 – Relação entre o desvio padrão e assimetria das 18 amostras de sedimentos arenosos do campo de dunas atual do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses - MA.

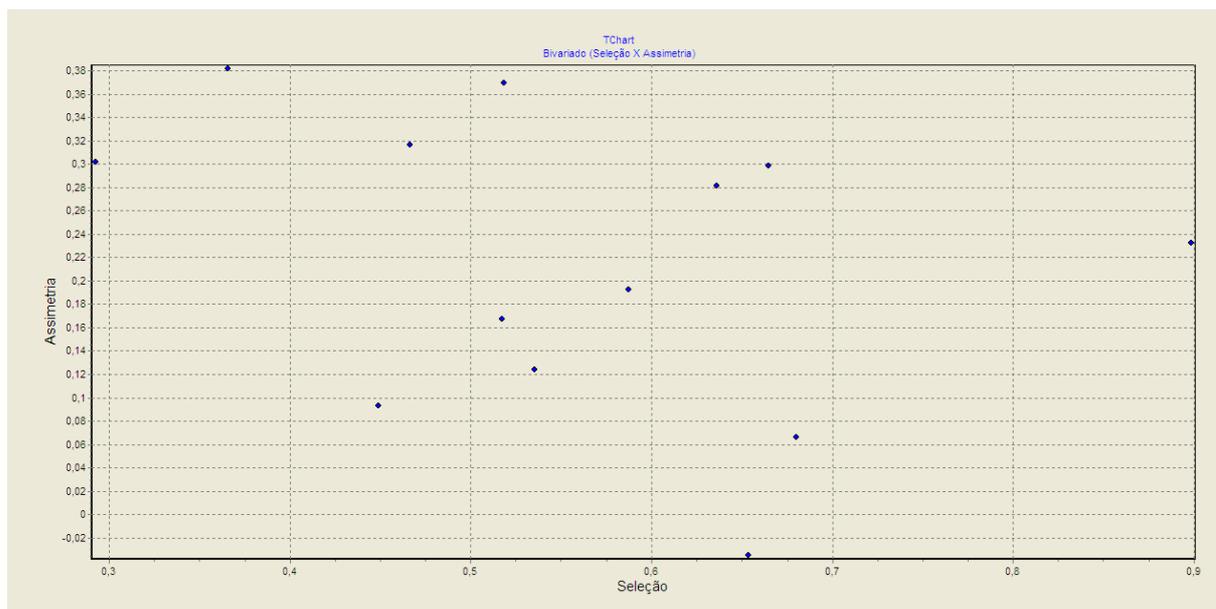


Gráfico 08 – Relação entre o desvio padrão e assimetria das 13 amostras de sedimentos arenosos dos campos de dunas fósseis dos Lençóis Maranhenses - MA.

De uma maneira genérica, os sedimentos analisados referentes aos distintos campos de dunas, apresentaram similaridade quanto ao tamanho dos grãos das areias quartzosas (Quadro 17) e certa diferença quanto ao grau de seleção (possivelmente herdada), sugerindo que tenha havido poucas alterações na capacidade de transporte dos sedimentos pelos ventos na referida área, refletindo uma provável homogeneidade no processo sedimentar no referido ambiente.

Quadro 17 – Média dos parâmetros estatísticos dos sedimentos arenosos dos campos de dunas atuais e fósseis dos Lençóis Maranhenses – MA.

Parâmetros estatísticos	Dunas atuais	Classificação	Dunas fósseis	Classificação
Média	2.431	Areia fina	2.461	Areia fina
Desvio Padrão	0.463	Bem selecionada	0.573	Moderadamente selecionado
Assimetria	0.103	Aproximadamente simétrica	0.224	Positiva
Curtose	1.105	Leptocúrtica	1.116	Leptocúrtica
Curtose normalizada	0.496	Leptocúrtica	0.521	Platicúrtica

Os tamanhos dos grãos de quartzo eólicos, no entender de Paisani (2007), não possibilitam precisar a velocidade dos ventos pretéritos, porém são indicativos da competência de transporte do vento que antecedeu a sedimentação de determinada fração. Este autor, estudando o poder do vento durante o último glacial na costa meridional brasileira, a partir da análise do tamanho de grãos eólicos da rampa arenosa na ilha de Santa Catarina, concluiu que o vento exibiu, naquele período, maior poder de transporte de grãos que no último interglacial.

Não foi possível inferir comentários a este respeito, sobre as amostras analisadas, devido a semelhança textural encontrada tanto nas amostras atuais, quanto nas mais antigas. Todavia, faz-se então necessário um maior número de coletas nas diferentes unidades geomorfológicas para obtenção de resultados que possam subsidiar este tipo de análise apresentado pelo autor acima mencionado.

O grau de arredondamento dos grãos na praia de Caburé apresentou-se como muito anguloso a subarredondado, como já era esperado devido a alta energia a que este ambiente está submetido. A amostra da pós-praia caracterizou-se por ser arredondada a subangulosa. Tal resultado, possivelmente esteja relacionado ao maior transporte das areias médias por rolamento.

As areias das dunas móveis variaram de angulosa a arredondada, notando-se o aumento dos grãos subarredondados nas amostras 13 e 22 e da classe arredondada na amostra 23, situada mais interiorizada que as anteriores, sendo, portanto transportada por uma maior distância (Figura 56). No tocante a textura superficial dos grãos, estes se apresentaram polidos e secundariamente foscos.

As dunas fixadas mais interiorizadas que as anteriores caracterizaram-se pelas classes de areias arredondadas a subarredondada e textura fosca. O melhor grau de arredondamento demonstrado ocorre provavelmente devido a longa distância a que foi submetida estas areias.

Devido à pequena quantidade de areias analisadas, esta análise preliminar deve ser complementada por um maior número de amostras, para se verificar se tal padrão de arredondamento dos grãos se comporta realmente desta maneira.

Quadro 18 – Grau de arredondamento dos grãos de diferentes unidades geomorfológicas dos Lençóis Maranhenses-MA.

Amostra N°	Muito angulosa %	Angulosa %	Subangulosa %	Subarredondada %	Arredondada %	Bem arredondada %
01 - (p)	25,7	29,2	20,0	18,5	5,4	1,2
07 - (PP)	-	-	11.55	28.2	32.05	28.2
13 -(DM)	10.71	21.4	35.7	25.71	5.71	0.71
22 -(DM)	8.66	18.05	36.10	30.32	6.14	0.72
23 -(DM)	-	6.37	26.11	29.30	31.85	6.37
33 -(DF)	-	-	17.61	28.93	31.45	22.01
37 -(DF)	-	3,45	29,31	43,10	13,79	10,35
39 -(DF)	2.38	3.97	17.46	40.48	26.19	9.52

Outra característica dos sedimentos eólicos, que segundo Barreto (1996), tem sido utilizada por alguns autores para estabelecer diferenças cronológicas entre gerações de dunas principalmente em áreas costeiras, refere-se à cor das areias.

Embora, esta correlação dependa de vários fatores intervenientes, como a porcentagem de minerais constituintes, quantidade de umidade, quantidade e tipo de argilas no interstício das areias, tipo e tamanho da cobertura vegetal, de uma maneira geral os sedimentos mais claros (branco, cinza claro e amarelo pálido) apresentam idades menores que as areias mais escuras, como constatado por Barreto (1996), no campo de dunas fixadas do médio rio São Francisco, em que as areias mais claras apresentaram idades entre 2.000 e 7.000 anos e as mais escuras se apresentaram com mais de 7.000 ate 28.000 anos.

Ao analisar esta característica, constatou-se que na área dos Lençóis Maranhenses, as amostras de grãos claros foram as que apresentaram a idade entre 1.080 e 8.950. As amostras de coloração mais escura apresentaram idades de 12.000 e 24.000. Todavia, duas amostras de tonalidades cinza e amarelo escuro apresentaram idades de 2.730 e 6.900 anos, respectivamente.

5.6 ENTIDADES E EVENTOS CONSIDERADOS

Para ressaltar a importância da seleção das entidades e eventos integrantes da presente tese, são apresentadas a seguir, com certa redundância quanto a textos de itens anteriores, diversas conceituações como uma introdução.

Os elementos principais com os quais se pode representar um sistema ambiental em um determinado período são as entidades e eventos nele registradas, que permitem a construção da imagem de uma situação ambiental (XAVIER- da- SILVA, 2007).

As entidades em conjunto representam os componentes espaciais de uma situação ambiental. As entidades, a título de exemplo, podem ser consideradas as formas de relevo, os diferentes tipos de uso do solo, ou seja, as diversas classes dos mapas temáticos como são as classes de declividade encontradas em uma determinada área.

Os eventos, de percepção mais sutil, ainda de acordo com Xavier-da-Silva (2000), seriam as instâncias dos processos ambientais que, atuando na dimensão tempo, são responsáveis em retrospecto, pela situação ambiental, sobre a qual agiram em convergência. Em outras palavras os eventos são fenômenos percebidos na dimensão tempo e podem apresentar ou não variações cíclicas de curto, médio ou longo período. Já as entidades constituintes de um determinado sistema ambiental, de acordo com a sua expressão territorial/funcional, podem ser classificadas em micro, meso ou macro entidades.

Independentemente da escala temporal ou espacial em que sejam registradas é lícito afirmar que há uma constante interação entre eventos e entidades, desde as escalas microscópicas até as escalas consideradas de maior porte (global ou regional), retratando assim a própria evolução da superfície terrestre.

Contudo, faz-se necessário destacar que, geralmente, é através da montagem experimental ou hipotética que são realizadas inferências sobre a atuação pretérita de eventos ambientais, muitos dos quais de reprodução e/ou experimentação impossível a exemplo das orogenias, mudanças climáticas pretéritas, terremotos, transgressões e regressões (XAVIER-da-SILVA, 2000) .

Ancorando-se nestas reflexões, ratifica-se a necessidade altamente relevante, quando da elaboração ou execução de projetos de pesquisa e/ou de modelos (hipotéticos e digitais do ambiente), de que sejam contempladas as entidades realmente importantes para a compreensão das seqüências de eventos (processos), responsáveis pela situação ambiental em análise.

Nas pesquisas geomorfológicas os cenários adotados, no entender de Xavier -da-Silva (2000, p.57), são de dois tipos:

- I) prospectivos, quando se referem a estimativas futuras, como são as estimativas das situações ambientais que poderão ocorrer na franja costeira caso ocorra a elevação do nível do mar ocasionada pelo degelo das calotas polares, como previsto pelo Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas;
- II) retrospectivos, quando referentes a situações passadas, a exemplo das reconstituições paleogeográficas para explicação de formas, depósitos e relacionamentos pretéritos.

As entidades geomorfológicas ditas herdadas (não explicáveis pelos processos hoje em atuação) podem ser identificadas na base de dados georreferenciada, e serem analisadas em termos de suas relações topológicas e funcionais (em particular proximidades e inclusões em sistemas pretéritos, como é o caso de paleoterraços associados a lagos extintos).

Embora, os eventos registrados ao longo do Quaternário, em alguns casos, apresentem escalas temporais e espaciais diversas, com ocorrência e/ou repetitividade variando desde horas até centenas ou milhares de anos, as suas evidências, muitas vezes, ficam registradas no relevo. Sendo assim, nesta pesquisa foram elencadas as principais entidades e eventos atuais e subatuais considerados importantes, que atuaram e/ou continuam atuando na área de estudo.

5.6.1 Principais entidades identificadas

As principais entidades identificadas e utilizadas neste texto, por sua importância e abrangência territorial na área ora analisada, foram as seguintes:

Macro entidades

- Bacia sedimentar do Maranhão/Piauí (Parnaíba - Barreirinhas), expressão continental onde atuaram e continuam atuando os eventos (processos);

- Plataforma continental interna, área receptora dos sedimentos erodidos pela drenagem continental, assim como fonte de suprimento de areias para o abastecimento das praias e conseqüentemente dos campos de dunas atuais e pretéritos.

Meso entidades

- Delta do Parnaíba com suas diferentes posições
- área costeira sub-litorânea de baixa altitude e rios perenes
- campos de dunas

Micro entidades (diretas)

- praia e pós-praia
- dunas transgressivas (barcanas, parabólicas, cadeias barcanóides, transversais e parabólicas, dunas de sombra, nebkas e frentes parabólicas)
- drenagem (canais atuais e abandonados)
- lagoas e lagunas
- planície de deflação atual e herdada com pistas de migração, rastros lineares (cômoros), montes residuais
- manguezais
- ilhas fluviais e ilhas barreiras
- pontais e bancos arenosos
- planície de inundação e flúvio-marinha

5.6.2 Descrição dos principais eventos considerados

Dentre os principais eventos atuantes e/ou responsáveis pela gênese das meso e micro entidades e seus respectivos relacionamentos, foram selecionados três para a realização de algumas considerações no tocante ao papel desempenhado na área, conforme descrição a seguir.

5.6.2.1 Transgressões e regressões

As flutuações do nível relativo do mar (NRM) resultam das variações reais do nível marinho (eustasia) e das modificações dos continentes (tectonismo e isostasia), associadas também às mudanças climáticas e pelas mudanças de posição do geóide que afetam o globo terrestre (SUGUIO et al., 1985).

De acordo com Suguio (2003a) e Silva et al. (2004), grandes oscilações do nível do mar ocorreram no período Quaternário e exerceram um papel preponderante na evolução das linhas de costa, ora expondo grande parte das atuais plataformas continentais, ora recobrando parcial ou completamente as atuais planícies costeiras.

No entender de Suguio et al. (1985) é evidente que durante a execução das pesquisas relacionadas à reconstrução de antigos níveis marinhos, estes se referem a posições relativas e não absolutas, pois eventos relacionados às variações eustáticas são considerados de elevada complexidade.

Durante o Quaternário, de acordo com Suguio et al. (1985) e Suguio et al. (2005), Tessler e Goya (2005), ocorreram dois principais ciclos transgressivos e regressivos que modelaram as planícies costeiras brasileiras, conforme resumido a seguir.

A Penúltima Transgressão (BITTENCOURT et al., 1979) identificada no Pleistoceno a pelo menos 120.000 anos AP, atingiu cotas de 8 ± 2 metros acima do nível médio atual, a qual foi denominado de Transgressão Cananéia, no litoral paulista, por Suguio e Martin (1978).

Posteriormente ao referido máximo transgressivo, o nível do mar desceu ate aproximadamente 110 metros abaixo do nível atual há cerca de 17.000 anos AP.

A partir do máximo regressivo, o nível do mar foi submetido a uma nova ascensão em que o nível médio atual do mar foi ultrapassado pela primeira vez entre 7.000 e 6.500 anos A.P.

Por volta de 5.500 anos AP., o nível do mar subiu entre três a cinco metros acima do atual. Esta última transgressão ficou conhecida no litoral de São Paulo como Transgressão Santos ou Santista (SUGUIO; MARTIN, 1978).

Há aproximadamente 3.900 anos AP., o paleonível do mar deve ter estado entre 1,5 e 2m abaixo do atual (MASSAD et al. apud SUGUIO et al., 2005).

Há cerca de 3.000 anos AP o nível do mar subiu entre 2 e 3m acima do atual.

Por volta de 2.800 anos AP. ocorreu novo descenso, atingindo um nível inferior ao atual.

Há cerca de 2.500 anos AP., foi atingido um paleonível de 1.5 a 2m acima do atual e, desde então, tem estado em rebaixamento contínuo, conforme estudos realizados por diferentes pesquisadores (Figuras 64, 65 e Anexo B).

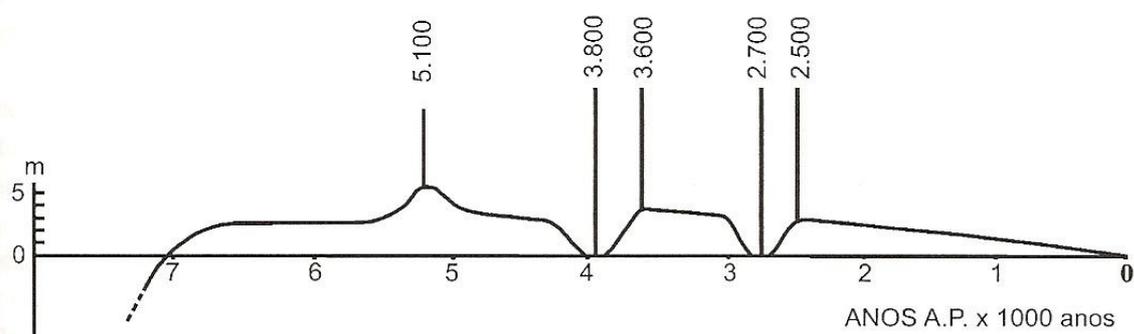


Figura 64 - Curva de variação do nível do mar no litoral brasileiro, modificada de Martin et al. (1979) e de Suguio et al. (1985).

Fonte: Silva et al., 2004

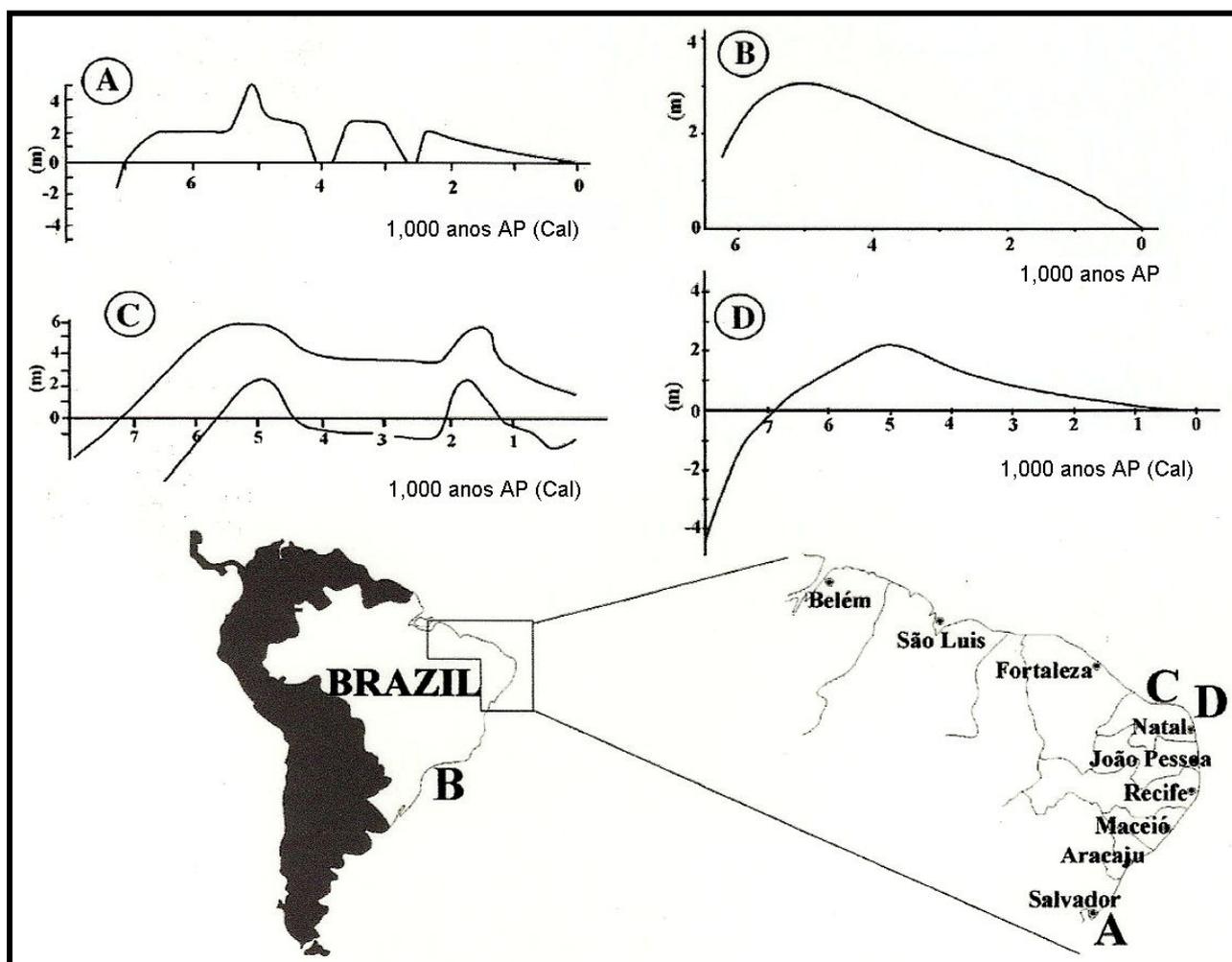


Figura 65 – Curvas de variação do nível do mar propostas para a costa brasileira e seus respectivos locais: (A) Martin et al. (2003); (B) Ângulo e Lessa (1997); (C) Bezerra et al. (2003); (D) Peltier (1998).

Fonte: Caldas et al. (2006), modificado por Santos, (2008).

I- Oscilações do nível do mar

- Ascensão do nível médio do mar entre 17.000 e 5.500 anos AP.:

a) geração das dunas identificáveis em imagens, hoje fixadas pela vegetação.

Evidência: datação menor que 17.000 anos.

b) remobilização das areias da plataforma pelo sistema de vagas refratadas, em regime transgressivo, gerando grande disponibilidade de sedimentos arenosos para o desenvolvimento de campos de dunas.

Evidência: identificação nas imagens de satélite e aerofotos de extensos campos de dunas, muitos com idades inferiores a 17.000 anos AP., numa área estimada de 4.500 km².

Ascensão do nível médio do mar entre 3m e 5m(5.500 anos AP):

a) Inundação de terras baixas, com afogamento de baixos cursos de rios e formação de estuários na linha de costa.

Descida para (zero metros) de 5.500anos AP aos dias atuais:

a) Truncamentos de pistas e campos de dunas pela drenagem. Ex: rio Preguiças superando obstáculos (dunas, pontais, pistas de dunas abandonadas e terraços) para chegar ao mar.

b) Deposição dos grandes e pequenos lençóis associados à foz do Parnaíba em Tutóia.

c) Abandono da foz do Parnaíba de Tutóia para a posição atual. Como consequência tem-se as pistas de migração em déficit de sedimentos, sendo então colonizadas pela vegetação de restinga de porte herbáceo-arbustivo.

Com relação a esta última situação hipotetizada, serão apresentadas algumas ilações.

5.6.2.2 Mudanças de posição da foz do rio Parnaíba e suas relações com os campos de dunas atuais e subatuais dos Lençóis Maranhenses

Reposicionamentos consecutivos da embocadura do Parnaíba podem ter causado a geração dos lençóis sucessivos. A geração e o posicionamento do atual campo de dunas podem estar relacionados ao abandono da barra de Tutóia, bastante recente, provavelmente a menos de 5.500 anos (paleonível do mar entre 3 e 5m e descida para o zero atual). Através da análise das imagens do referido delta, constatou-se a existência de pelo menos três bocas principais (a atual e duas em abandono), a saber:

1^a - Foz situada a leste - encontra-se nas imediações da cidade de Luís Corrêa, em cuja área urbanizada ocorre um canal distributário que ainda conduz águas para esta boca secundária do Parnaíba (Figura 66). Nesta área, é observável o truncamento do paleodelta por dunas e pistas de dunas mais recentes;

2^a - Foz situada a oeste - apresenta canais em processo de abandono, constituindo um complexo de embocaduras denominado Araióses/Tutóia.

O prolongamento desta embocadura complexa em direção ao interior é composto por pântanos, várzeas, diques marginais e meandros abandonados que se estende até as proximidades de uma ponte sobre o rio Parnaíba localizada a 03°05'41"S e 41°53'59"W. A cidade mais próxima (Buriti dos Lopes) encontra-se a 10 km ao sul do local em questão.

A partir da ponte mencionada anteriormente (área mais interiorizada deste complexo aluvial), as edificações que o acompanham em direção ao norte, estão situadas em um terraço com elevações entre 15 e 30m, enquanto que na referida área deposicional tem-se altitudes entre 6 a 9m. Áreas marginais próximas ao principal canal abandonado apresentam-se com numerosas lagoas, remanescentes de canais e pântanos aluviais de retaguarda ("backswamps"), como é esperado para um sistema deltaico em abandono. Após progredir em direção geral norte, por cerca de 20 km, o canal abandonado passa a receber águas de pequenos canais meandrantés, originados em depressões situadas entre outros canais e a calha atual do rio Parnaíba. A seguir o canal principal passa pelas cidades de Araióses e Tutóia, distantes aproximadamente 11 e 35 km, respectivamente da sua origem, ramificando-se em vários canais (atualmente apresentando três saídas entre Araióses e Tutóia), atuando, ainda, como via de descarga do rio Parnaíba, principalmente por ocasião de cheias;

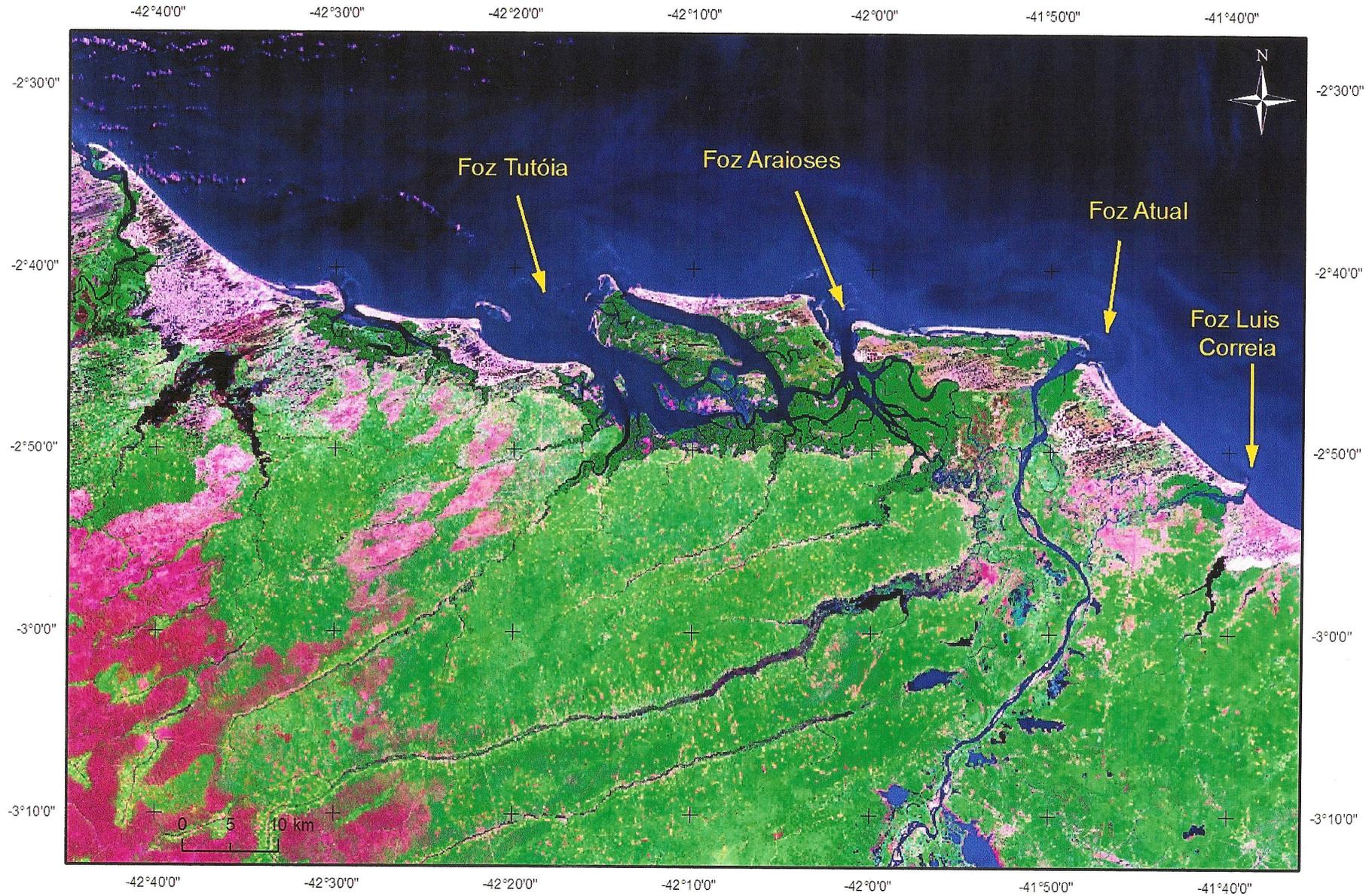


Figura 66 – Delta do Parnaíba com a identificação das principais desembocaduras existentes.

3ª desembocadura - é representada pela atual posição, tendo direção N/NE, constituindo a principal foz do Parnaíba. Entretanto, através da observação de imagens teledetectadas (Google Earth), constata-se que até hoje o complexo deltaico do Parnaíba não compreende apenas a sua foz atual, mais se estende por um complexo de campos de dunas e respectivas pistas de migração, feixes de restingas, ilhas, inúmeros bancos arenosos e manguezais, permeados por canais distributários que levam suas águas desde à proximidade da cidade de Luís Corrêa até à baía de Tutóia.

Com relação a estas desembocaduras, levanta-se a hipótese de que, no período da vigência plena da foz do Parnaíba em Tutóia/Araióses, havia um grande aporte de areia para a plataforma vizinha, o qual é compatível, em termos de volume de areias mobilizadas, com o extenso campo de dunas fixadas (vide posição e idade das amostras 1, 2, 3 e 4 Figura 52, datadas entre 3000 e 4400 anos (AP), contíguo ao campo de dunas livres atuais do PNLM. Corroborando esta hipótese, destaca-se que as dunas livres atuais estão progredindo sobre o campo de dunas fixadas, o que indica que o campo de dunas mais antigo estava aferido a uma situação ambiental diferente da atual, tendo sofrido colonização por vegetação no período entre a situação pretérita e a presente, quando está sendo soterrado. Reitera-se, em consequência, que o abandono da embocadura complexa de Tutóia/Araióses foi esta mudança ambiental subatual, sendo o campo de dunas presente resultante de um rearranjo das areias na plataforma, no qual areias oriundas da embocadura atual do Parnaíba voltaram a ser disponibilizadas para o abastecimento da linha litorânea de onde, hoje em dia, se projetam as dunas componentes do campo dunar atual.

Em adição à complexidade dos eventos anteriormente mencionados, pode ser lembrado que significativos detalhes da evolução dos campos de dunas atuais parecem estar ligados a uma antiga desembocadura do rio Preguiças. Fotografias aéreas de 1976 e imagens de satélites de 2004 e 2005, mostram uma possível desembocadura pretérita do citado rio (Figura 67) na posição $02^{\circ}37'50''S$. e $42^{\circ} 38'25''W$. Desta embocadura se projetam remanescentes de canais no rumo do rio Preguiças que está a cerca de 4 km para SW da desembocadura abandonada. Esta área hoje apresenta dunas em progressão, que chegam até às margens do rio Preguiças e dificultam a identificação de maior número de possíveis canais pretéritos.



Figura 67 – Vista da provável desembocadura do rio Preguiças, com largura de aproximadamente 280m e canais abandonados a retaguarda.

Fonte: Google Earth. Acesso em 16/02/2008

O abandono desta antiga embocadura do rio Preguiças pode estar relacionado a um novo aporte de areias na linha de praia (rearranjo de areias na plataforma, citado anteriormente), com a conseqüente formação das dunas migrantes do chamado Pequenos Lençóis, o que forçou um desvio para o N/NW do curso do rio, ao que se somou o efeito desviador associado ao desenvolvimento de um pontal arenoso (spit) na mesma direção. Tais condições de controle da área da foz do rio Preguiças são prevalentes até hoje e facilmente observáveis em imagens orbitais e aerofotos e permitem ilações adicionais, algumas das quais feitas a seguir.

Atualmente, o rio Preguiças apresenta duas desembocaduras com flagrante crescimento de linha de praia em direção noroeste (feixes de restinga), particularmente notáveis no banco aflorante que separa as duas desembocaduras. Este deslocamento do citado rio parece ser responsável pela presença de pistas abandonadas à retaguarda do principal campo de dunas livres do PNLM (Figura 68). Foi inferida a posição da linha de praia, na ocasião da origem das dunas, por uma análise regressiva efetuada com base num deslocamento das dunas a uma velocidade de 25 m/ano.



Figura 68 – Distância entre o canal atual e a possível foz anterior do rio Preguiças. A esquerda da imagem, presença de pistas de migração abandonadas à retaguarda do campo de dunas móveis do PNLN.

Fonte: Google Earth. Acesso em 16/02/2008.

Concluiu-se que as dunas percorreram aproximadamente 17 km de distância entre o início das pistas abandonadas e sua posição atual em cerca de 700 anos. Nesta ocasião passada infere-se que a boca pretérita mencionada do Preguiças, situada mais a SE, estava ativa e não havia ainda o spit acima descrito, o qual, uma vez existente, barraria o abastecimento da areia para as dunas, como ocorre presentemente.

A presença de pistas de migração das dunas abandonadas estão possivelmente relacionadas ao bloqueio da passagem das areias, devido ao desenvolvimento da restinga dos pequenos lençóis, propiciando um déficit sedimentar. Atualmente, constata-se que a migração das areias está ocorrendo na face da praia em direção ao interior do campo de dunas, nas proximidades do povoado de Atins. Tal fato pode sugerir a existência de ciclos

(deposicionais) no tocante ao aporte sedimentar na área, uma vez que a seqüência de pistas de migração no sentido S/N vai da mais antiga até a mais recente.

5.6.2.3 Considerações sobre as mudanças climáticas ocorridas nos Lençóis Maranhenses

A constância dos ventos de NE é indicada pela consistência da direção de migração das dunas atuais e das fixadas pela vegetação. A direção dos ventos nos Lençóis Maranhenses não parece ter sofrido significativas mudanças no Holoceno. Corroborando esta assertiva, registra-se que paleodunas distantes até cerca de 160km da linha de costa mantiveram a direção preferencial de deslocamento NE/SW, o que se deduz pelo fato destas paleodunas estarem situadas, em muitos casos, à frente de pistas abandonadas que se apresentam dispostas na citada direção.

No que se refere à vegetação, é razoável imaginar que a fixação das dunas se dê em conseqüência do aumento de chuvas, pois na área estudada extensos campos de dunas encontram-se fixados e por hipótese esta fixação se deu em período mais úmido ou pelo menos com uma estação úmida bem mais pronunciada. Evidências de oscilações climáticas desse tipo foram constatadas em trabalhos realizados por Sifedini et al. (2003) em estudos realizados na lagoa do Caçó.

Com relação às datações feitas nesta tese, às idades e respectivos deslocamentos referentes às amostras de Presidente Vargas e Rosário indicam possivelmente reativação da migração das areias de dunas já situadas no interior do continente que devem ter tido sua cobertura vegetal fixadora removida em condições de clima mais seco.

A presença das cadeias barcanóides e transversais relativamente preservadas (morfologia nítida) sugere a ocorrência de passagem recente de um clima mais seco para um mais úmido, propiciando a fixação destas formas eólicas na área estudada. A partir dos dados climáticos dos municípios situados mais distantes da linha de costa observa-se a existência de maiores índices pluviométricos se comparado com os municípios situados contíguos à praia.

5.7 ANÁLISES RETROATIVAS DAS DUNAS FIXADAS

Como um procedimento exploratório foram feitas estimativas de posição dos pontos de origem das dunas, fazendo regredir as formas eólicas a uma posição inicial de migração no litoral, a partir do uso de uma velocidade de migração, postulada como constante, ao longo de uma trajetória marcada pelas pistas de deslocamentos pretéritas percebidas em diferentes imagens.

Desta forma, a partir das idades das dunas amostradas calculou-se a distância que ela teria percorrido, a uma velocidade constante, estimando-se, assim, o seu ponto de origem na linha litorânea.

Para se ter uma estimativa da possível velocidade das dunas atuais, em adição às medidas obtidas em campo, já descritas, tomou-se por base a linha litorânea atual e, conhecendo-se a posição e a idade de algumas paleodunas (entre 4.400 e 3600 anos AP), para estimar-se a velocidade média de deslocamento. Isto foi feito para as amostras de números 02, 03 e 13. A escolha destas amostras com menos de 4.500 anos AP permitiu que fosse estimada a velocidade de migração a partir da idade das amostras e da distância até a linha de costa atual, que manteve-se, aproximadamente, na mesma posição de hoje, neste período (Quadro 19). Tem-se, assim, uma relação distância/tempo, a qual indica uma velocidade de deslocamento, no caso medida em metros/ano.

Quadro 19 – Valores de distâncias e idades utilizados para divisão e obtenção da velocidade média de deslocamento das dunas.

Amostra Número/local	Distância da duna Até a linha de costa	Idade da duna (anos AP.)	Velocidade de deslocamento
02 - Lagoa Esperança	40.500m	4.400	9.2m
03- Localidade Sangue	65.400m	3.840	17.0m
13- Paulino Neves	43.370m	3.600	12,0m
Velocidade média de deslocamento	-	-	12.7m

De acordo com o quadro 19 a média calculada ficou em 12,7 m/ano, (como mencionado anteriormente, obtida a partir de amostras com idades entre 4.400 e 3.600 anos AP). Este valor foi usado para estimar a provável distância de deslocamento de paleodunas com idade superior a estas (amostras nº: 05, 06, 07, 08, 09, 10 e 12 - Quadro 14), bem como para as de menor idade a exemplo das paleodunas nº 11 e 14.

Nestes casos multiplicou-se a idade obtida por termoluminescência (TL), pela velocidade de 12,7 m/ ano, obtendo-se assim a distância da duna fixada até a linha de praia, em um procedimento numericamente regressivo. A direção adotada para projetar retroativamente esta distância foi extraída das direções das pistas abandonadas associadas a cada local amostrado. Os resultados estão demonstrados na Figura 69, merecendo os seguintes comentários:

- a) As amostras 05, 09, 10 e 12 identificaram, retroativamente, a posição do litoral, dentro da plataforma continental. Tal identificação é particularmente importante por coincidir, em sua seqüência cronológica, com o sentido do deslocamento da linha de costa, quando da última grande ascensão do nível do mar.
- b) As amostras 11 e 14, referentes a Presidente Vargas e Rosário respectivamente, como já mencionado anteriormente, foram sinalizadas como oriundas de areia remobilizadas, uma vez que suas retroprojeções indicaram como seus locais de origem áreas atualmente emersas (devido as baixas idades obtidas por TL, se comparada as demais dunas fixadas). Possivelmente houve retomada da migração das areias, uma vez removida a vegetação fixadora das dunas;
- c) As amostras 06 (5.900 anos AP), 07 (7.200 anos AP) e 08 (6.860 anos AP), que foram lançadas no interior da planície costeira, tiveram como área de origem locais próximos entre si, situados ao sul da lagoa de Santo Amaro. Hipotetiza-se que as dunas marcavam a linha de costa, quando do último máximo transgressivo. Esta hipótese precisa ser verificada com maior número de datações.

Em observação aos diferentes campos de dunas pretéritos, registra-se que algumas amostras como demonstrado apontam para posições na plataforma continental interna, se forem retroprojetados segundo a direção das pistas abandonadas à sua retaguarda, em direção as possíveis desembocaduras preexistentes do rio Parnaíba.



Figura 69 – Localização das dunas fixadas (Amarelo) e seus prováveis: pontos iniciais de migração (verde) na plataforma continental e/ou reativação eólica no continente – Lençóis Maranhenses / MA.

Fonte: Google Earth. Acesso em 09/02/2008, adaptado pelo autor.

5.8 MODELO EVOLUTIVO DOS CAMPOS DE DUNAS DO PARQUE NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES

A região dos Lençóis Maranhenses, conforme mencionado várias vezes neste trabalho, é composta de campos de dunas atuais e fósseis (Figura 70), os quais, embora de grande extensão, apresentam características geológicas e geomorfológicas similares a outros campos de dunas do litoral setentrional do nordeste brasileiro.

Diante deste fato, foi utilizado neste trabalho o modelo de evolução desenvolvido e adotado por Castro (2001) em Paracuru no estado do Ceará, subsidiado pelas informações e terminologias contidas nos trabalhos de Tomazelli (1993), Gonçalves (1997), Gonçalves et al. (2005), Giannini (2005) e pelos dados e informações obtidos durante os trabalhos de campo, no período entre 2005 e 2007, os quais permitiram uma atualização do modelo anteriormente apresentado por Santos et al. (2005).

Os dados e informações constantes desta proposta foram obtidos a partir da interpretação das imagens de satélites LANDSAT - 7 (2000, 2001 e 2002), CBERS (2004 e 2005), SPOT - 4 (2005), SPOT-5 (2004), fotografias aéreas de 1976 (1:70.000) e 1999 (1:30.000), imagens de alta resolução disponíveis no Google Earth, análises granulométricas dos sedimentos, trabalhos de campo (período chuvoso e de estiagem), objetivando o levantamento das principais características geomorfológicas subsidiadas pela utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Nesta perspectiva, foram definidos para o PNLN e áreas circunvizinhas quatro sistemas encadeantes representados pelas: Zona de Alimentação, Zona de Entrada, Zona de Retenção e Zona de Saída, conforme descrição a seguir (Figura 71).

➤ **Zona de Alimentação**

Geograficamente, a plataforma continental brasileira, conforme Muehe e Garcez (2005), se estende por cerca de 8.000km, englobando diferentes zonas climáticas que se expressam, de forma intensificada, na área continental e no conseqüente aporte diferenciado à plataforma, da carga sólida e líquida do sistema hidrográfico.

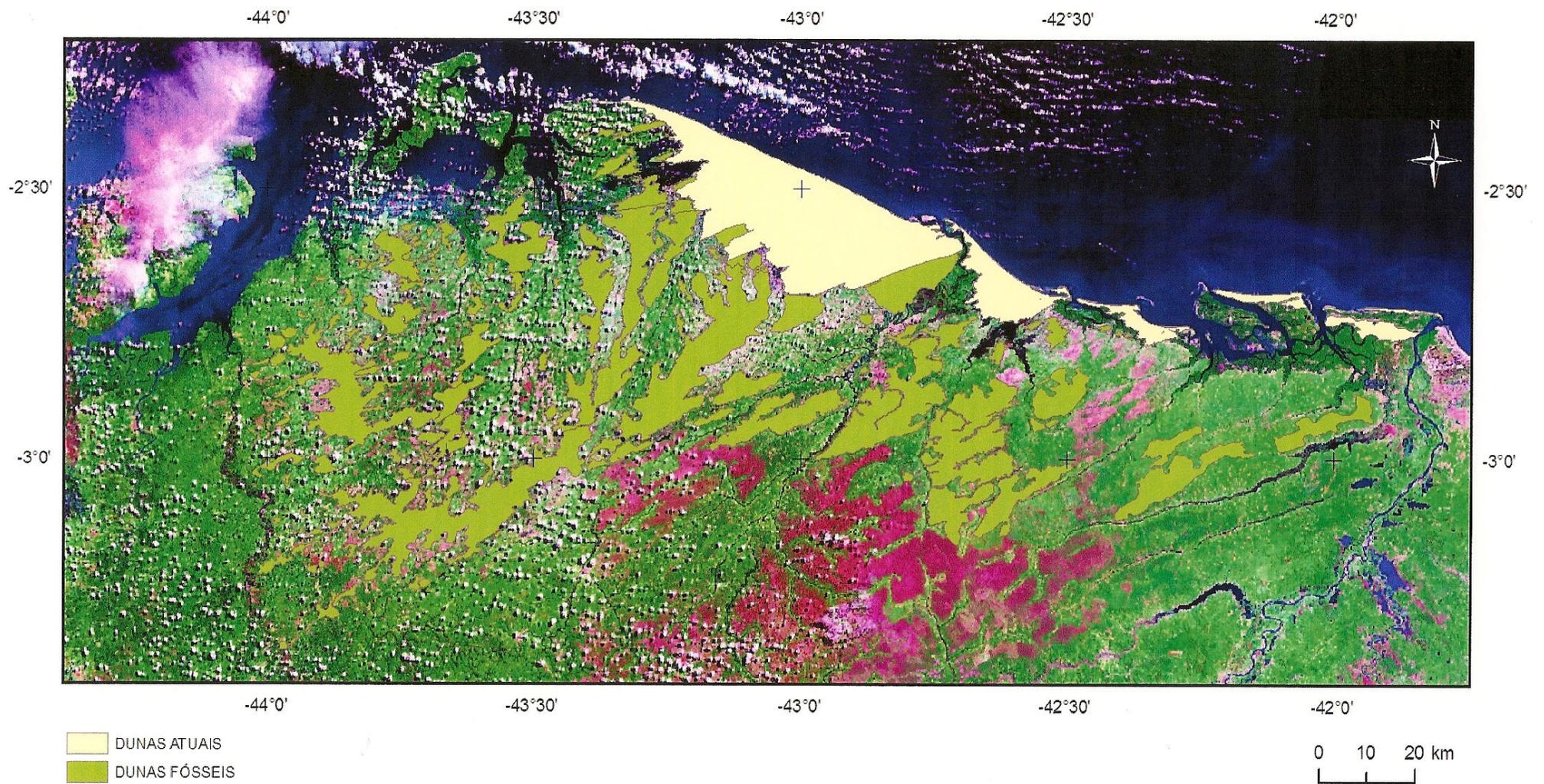


Figura 70 – Principais campos de dunas atuais e pretéritos dos Lençóis Maranhenses – MA.

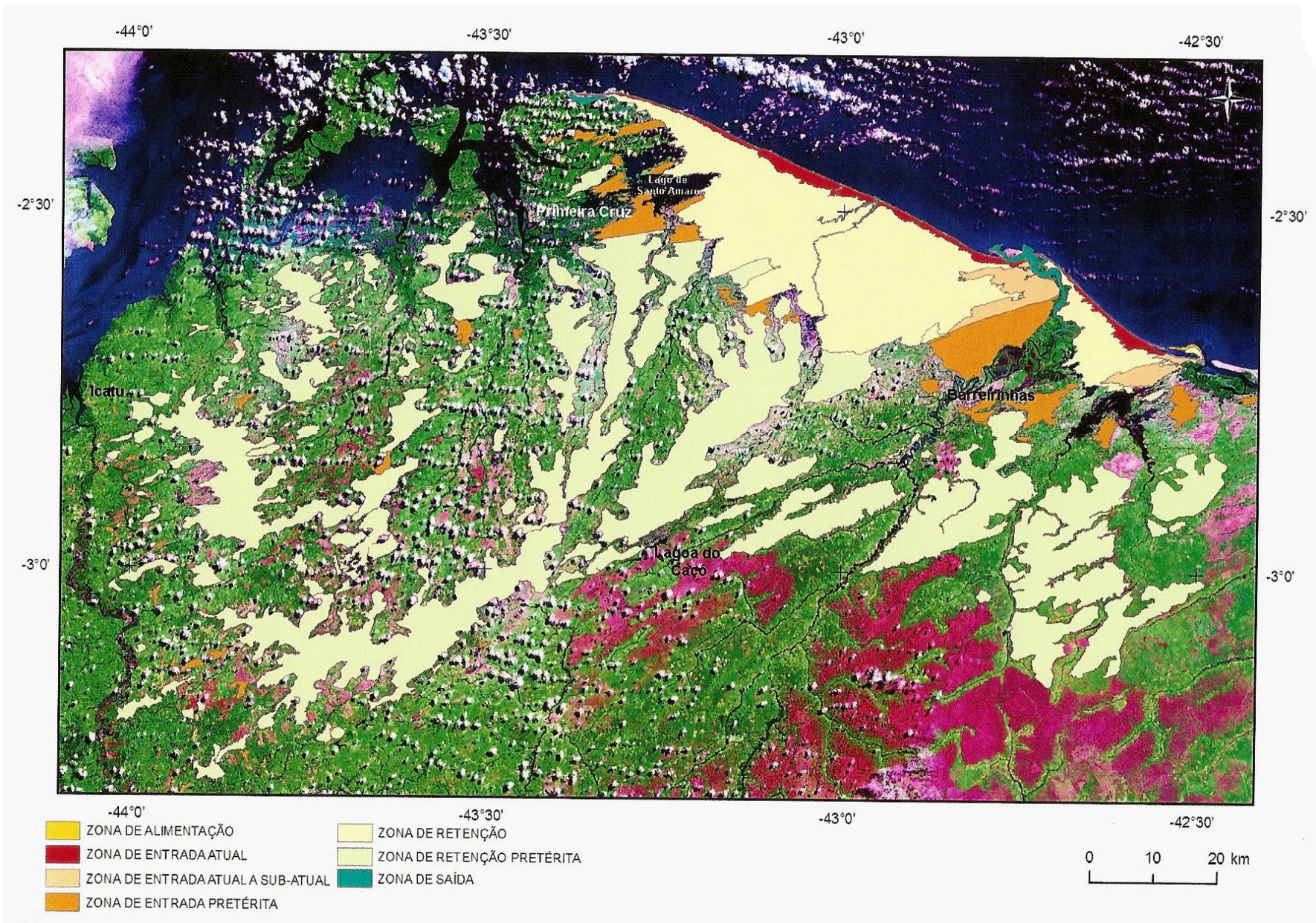


Figura 71 – Modelo evolutivo dos campos de dunas dos Lençóis Maranhenses com a identificação das zonas de: alimentação, entrada, retenção e saída.

A plataforma defronte aos Lençóis Maranhenses, receptora dos sedimentos oriundos principalmente do delta do Parnaíba, conforme Palma (apud MUEHE, 1998, P. 294) apresenta entre 70 e 80 km de largura, com profundidades de até 80m, cujo recobrimento é predominantemente de areias (Figura 72), chegando a formar ondas e dunas subaquáticas que se deslocam para oeste, obedecendo a direção predominante da deriva litorânea. Desta forma, o abundante estoque de areia levado pelas ondas e pela deriva litorânea é depositado nas praias dos pequenos e grandes Lençóis Maranhenses.

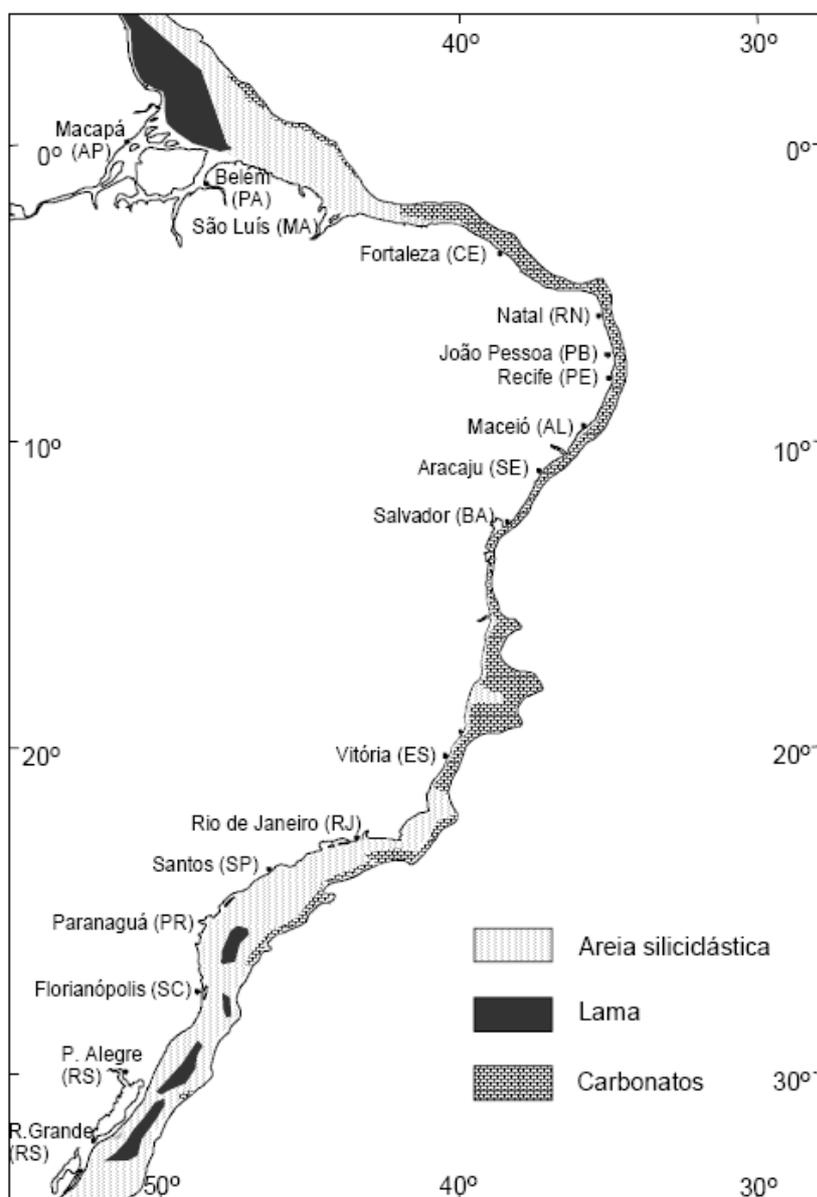


Figura 72 – Representação simplificada do recobrimento sedimentar da plataforma continental brasileira, segundo compilações de Kowsmann e Costa (1979) e Coutinho (1995).

Fonte: Muehe e Garcez, 2005.

As praias defronte ao PNLM são dissipativas, apresentando baixa declividade, com múltiplas arrebentações de ondas e largura entre 200 a 400m. Os sedimentos são constituídos predominantemente por areias médias (0,354 a 0,250mm) a finas (0,177 a 0,125mm), bem selecionadas. Todavia, de acordo com os resultados das análises granulométricas, percebe-se que a presença da areia grossa ocorre também na citada praia e, principalmente, na praia de Caburé, situada nos Lençóis Pequenos, devido provavelmente à remoção do material fino pelos ventos e pela maior proximidade de áreas fonte.

As praias defronte ao PNLM são dissipativas, apresentando baixa declividade, com múltiplas arrebentações de ondas e largura entre 200 a 400m. Os sedimentos são constituídos predominantemente por areias médias (0,354 a 0,250mm) a finas (0,177 a 0,125mm), bem selecionadas. Todavia, de acordo com os resultados das análises granulométricas, percebe-se que a presença da areia grossa ocorre também na citada praia e, principalmente, na praia de Caburé, situada nos Lençóis Pequenos, devido provavelmente à remoção do material fino pelos ventos e pela maior proximidade de áreas fonte.

A significativa área praial, com cerca de 20km², é receptora de material proveniente da plataforma continental interna e do sistema de drenagem representado pelos rios Parnaíba e Preguiças (SANTOS et al., 2005). Assim, os sedimentos arenosos depositados sobre a face praial, os quais, segundo Gonçalves et al. (2005), ficam expostos diariamente durante os ciclos de mesomarés (intervalos de 12 horas), são remobilizados em direção ao interior da planície costeira pelos ventos unidirecionais do quadrante nordeste.

➤ **Zona de Entrada**

Acima do ambiente praial, especificamente no setor norte do PNLM, tem-se a presença de uma extensa planície de deflação eólica com largura variando entre 1,0 a 2,5km, por onde a areia proveniente da praia é transportada. Durante o período chuvoso (janeiro a julho) a referida planície caracteriza-se por maior densidade de lagos e lagunas temporárias e cursos d'água intermitentes, reduzindo significativamente o transporte eólico (Figura 11). No período de estiagem (principalmente de agosto a dezembro), com o rebaixamento do lençol freático, verifica-se a ocorrência de areias soltas, dando origem aos lençóis de areia (Foto 20), como enfatizado também por Gonçalves et al (2003). No setor leste do PNLM, a planície de deflação eólica caracteriza-se pela presença de vegetação herbácea (gramíneas) e menor área de ocorrência dessas feições mantiformes (sand sheets), devido ao obstáculo natural representado pelo pontal existente na desembocadura do rio Preguiças, responsável pela

interrupção no aporte de sedimentos neste setor do parque e, conseqüentemente, pelo acúmulo de sedimentos na margem direita do citado rio.



Foto 20 – Presença dos lençóis de areia situados na pós-praia dos Lençóis Maranhenses, com presença de dunas nebkhas e de sombra.

Através da interpretação das fotografias aéreas de 1976 e 1999 (escalas de 1:70.000 e 1:30.000, respectivamente) e imagens de satélite de alta resolução, observou-se nitidamente sobre a planície de deflação as esteiras de dunas (pistas de deslocamentos pretéritos), identificadas inicialmente por Fortes (1992), as quais indicam o local de passagem das atuais dunas móveis (Foto 21).

Desta forma, a presença das esteiras permite inferir que grande parte do volume de areia, presente nas atuais dunas livres, foi transportado na forma de dunas barcanas, que por sua vez sofreram deformações em sua morfologia original para barcanóides, transversais, oblíquas e/ou parabólicas (SANTOS et al., 2005). Neste ambiente tem-se a presença das dunas de sombra, nebkhas (ao longo da pós-praia do PNLN) e dos rastros lineares e montes residuais na planície mais interiorizada.

➤ **Zona de Retenção**

Este subsistema caracteriza-se como o mais representativo de todos os subsistemas estudados e pode ser subdividido em zonas de retenção atual e pretérita.

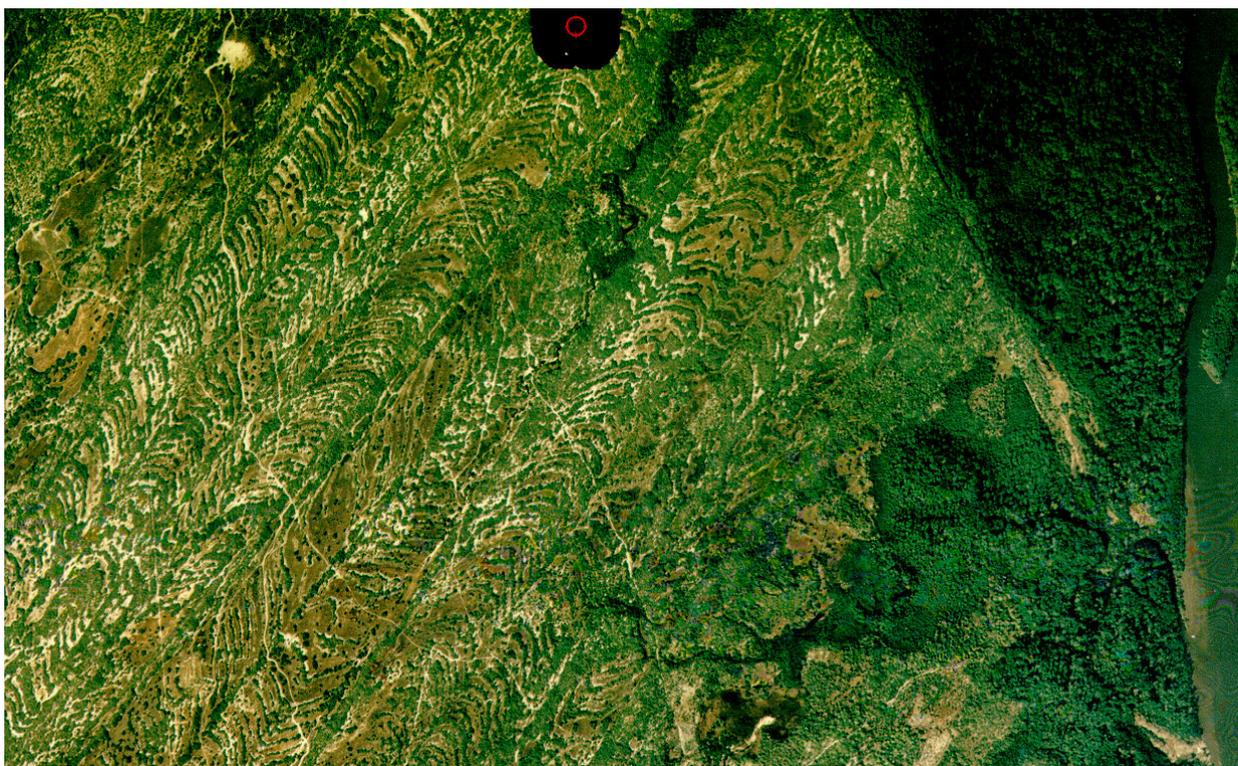


Foto 21 – Presença esteiras de dunas com a presença dos contornos de barlavento e dos cordões de areias limitantes das dunas barcanas, próximas ao povoado de Mandacaru – Barreirinhas/MA.

Fonte: Fotografia aérea – INPE, 1999.

A primeira é limitada ao norte e a leste pela planície de deflação, ao sul pelas dunas fixadas (preservadas e/ou deformadas) e pistas de migração pretéritas e, a oeste, pelo rio Perιά e os lagos de Travosa e Santo Amaro. A segunda limita-se ao norte com o campo de dunas atual, a leste com o rio Preguiças, ao sul pelos tabuleiros costeiros e a oeste com a baía de Tubarões e o rio Munim.

A zona de retenção atual, com 70km de extensão e área de aproximadamente 1.327,3 km² é constituída por dunas móveis, com uma topografia moderadamente ondulada, podendo atingir cotas de até 61m, no cômodo lateral situado entre os setores monitorados 1 e 2 (Figura 28), na localidade denominada Lavada do Sula.

O campo de dunas livres caracteriza-se pela ocorrência de sedimentos predominantemente finos (0,177 a 0,125mm), bem selecionados, tendo alinhamento nordeste-sudoeste.

Neste sistema registra-se a presença de inúmeras lagoas interdunares (temporárias e permanentes) e alguns canais de drenagens de 1^a e 2^a ordem.

Observou-se através de imagens de satélite, aerofotos e trabalhos de campo, que as dunas, à medida que avançam para o interior da planície costeira, vão em geral aumentando de altura e volume. A ausência de variação significativa do regime de vento no mesmo quadrante faz com que as dunas se empilhem dando origem às cadeias barcanóides e posteriormente, as dunas transversais. Destaca-se ainda, adicionalmente, que durante o período chuvoso tem-se o aumento do fluxo dos pequenos canais (interdunares) no interior do campo de dunas, os quais são responsáveis, segundo Gonçalves et al. (2003), pelo surgimento da cadeia de dunas oblíquas a partir de transformações ocorridas nas cadeias barcanóides (Foto 22).

A partir da observação “in situ” pode-se constatar que o aumento da quantidade de areia disponível nesse subsistema é inversamente proporcional à distância da fonte, ou seja, quanto mais distante da zona de alimentação maior é a altura das dunas, fato este, também constatado nos campos de dunas de Paracuru - CE e Però - RJ por Castro (2001) e Ramos et al. (2003), respectivamente.

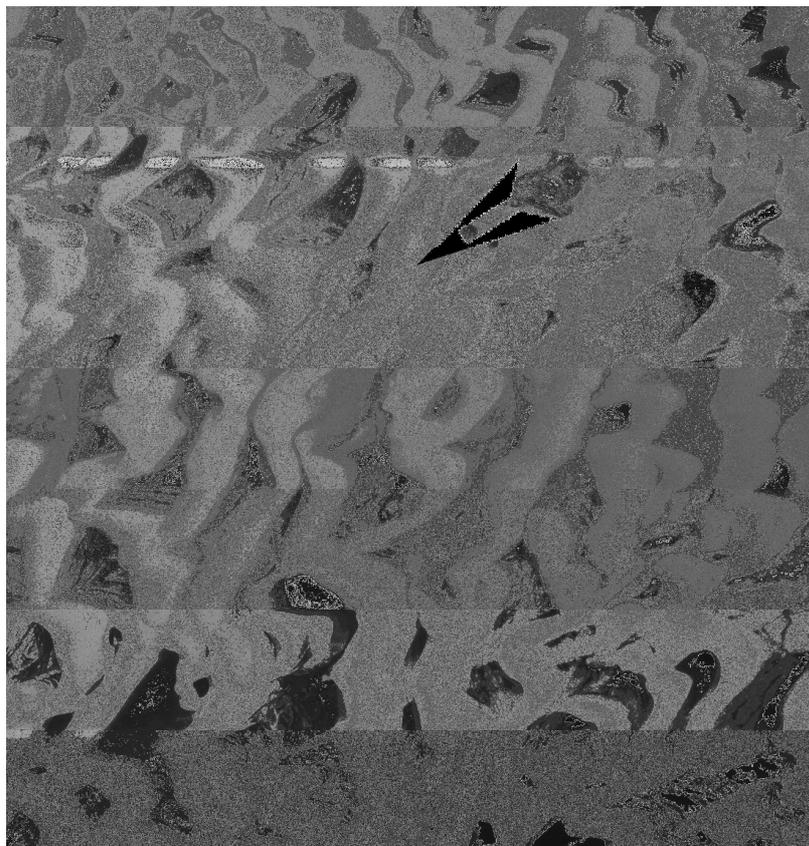


Foto 22 – Imagem com presença de dunas oblíquas originadas pela transformação das cadeias barcanóides.

Fonte: Fotografia aérea de 1976 (SACS).

A partir da comparação das fotografias aéreas multitemporais, observou-se que as dunas mais interiorizadas próximas ao campo de dunas fixas apresentam menor taxa de migração devido a uma série de fatores ambientais, dentre os quais se destacam: o maior volume e tamanho das dunas, a maior densidade de lagoas interdunares, a presença de canais de drenagens que bordejam o campo de dunas livres, a significativa distância em relação à área fonte, a maior ocorrência da vegetação nos setores mais interiorizados do parque e a expressiva quantidade de áreas alagadas sobre as pistas atuais de migração, durante o período chuvoso.

Dentre as principais formas eólicas existentes na zona de retenção em análise, em termos de ocorrência, registram-se as cadeias barcanóides e transversais, as barcanas e em menor proporção as dunas oblíquas e parabólicas, bem como os rastros lineares (cômoros limitantes), os montes residuais e as frentes parabólicas (Figura 73).

Quanto aos campos de dunas fixadas, também denominados de inativos ou fósseis (THOMAS e SHAW, 1991), estes se encontram estabilizados pela vegetação de estrato arbustivo-arbóreo, podendo apresentar morfologias nítidas ou tênues, caracterizando-se como o maior campo de dunas da zona costeira do estado do Maranhão.

Dessa maneira, o campo de dunas fósseis representa uma zona de retenção pretérita originada de acordo com as datações realizadas, tanto em condições do nível do mar mais alto quanto mais baixo que o atual, caracterizados por diferentes condições climáticas, como constatado por Nascimento et al. (2003). As principais formas eólicas identificadas nos campos de dunas fixadas, a partir da interpretação das imagens e aerofotos, foram: pistas de migração com vestígios de dunas parabólicas vegetadas, pistas de migração pretérita, dunas parabólicas vegetadas com vestígios de pistas, dunas transversais e barcanóides vegetadas e dunas dissipadas com eventuais dunas barcanóides e transversais nítidas (Figura 74).

Outra característica existente no citado campo de dunas, diz respeito à brusca variação altimétrica em determinadas áreas mais interiorizadas.

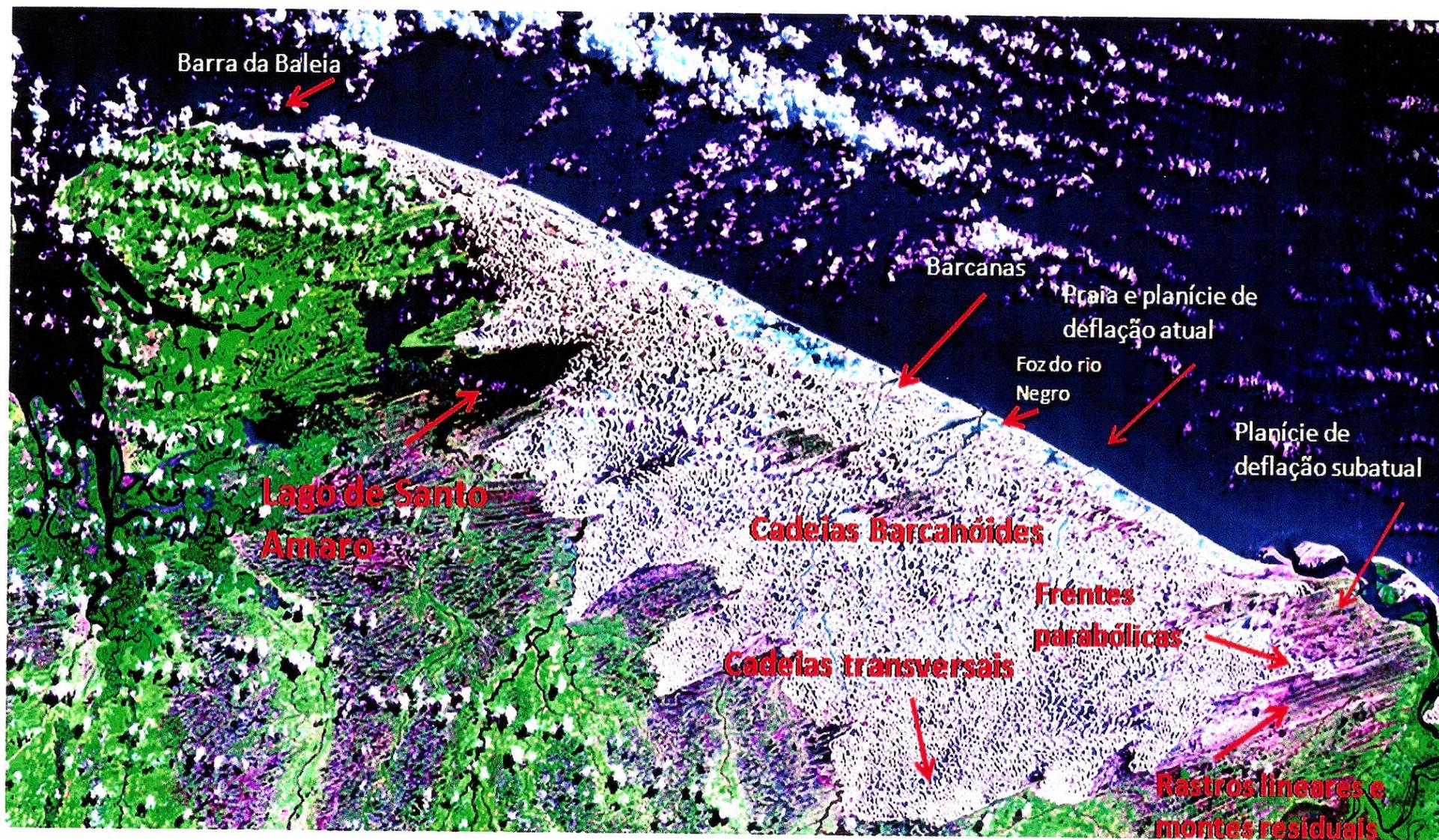


Figura 73 – Imagem do PNLM com a indicação dos locais com diferentes formas eólicas.

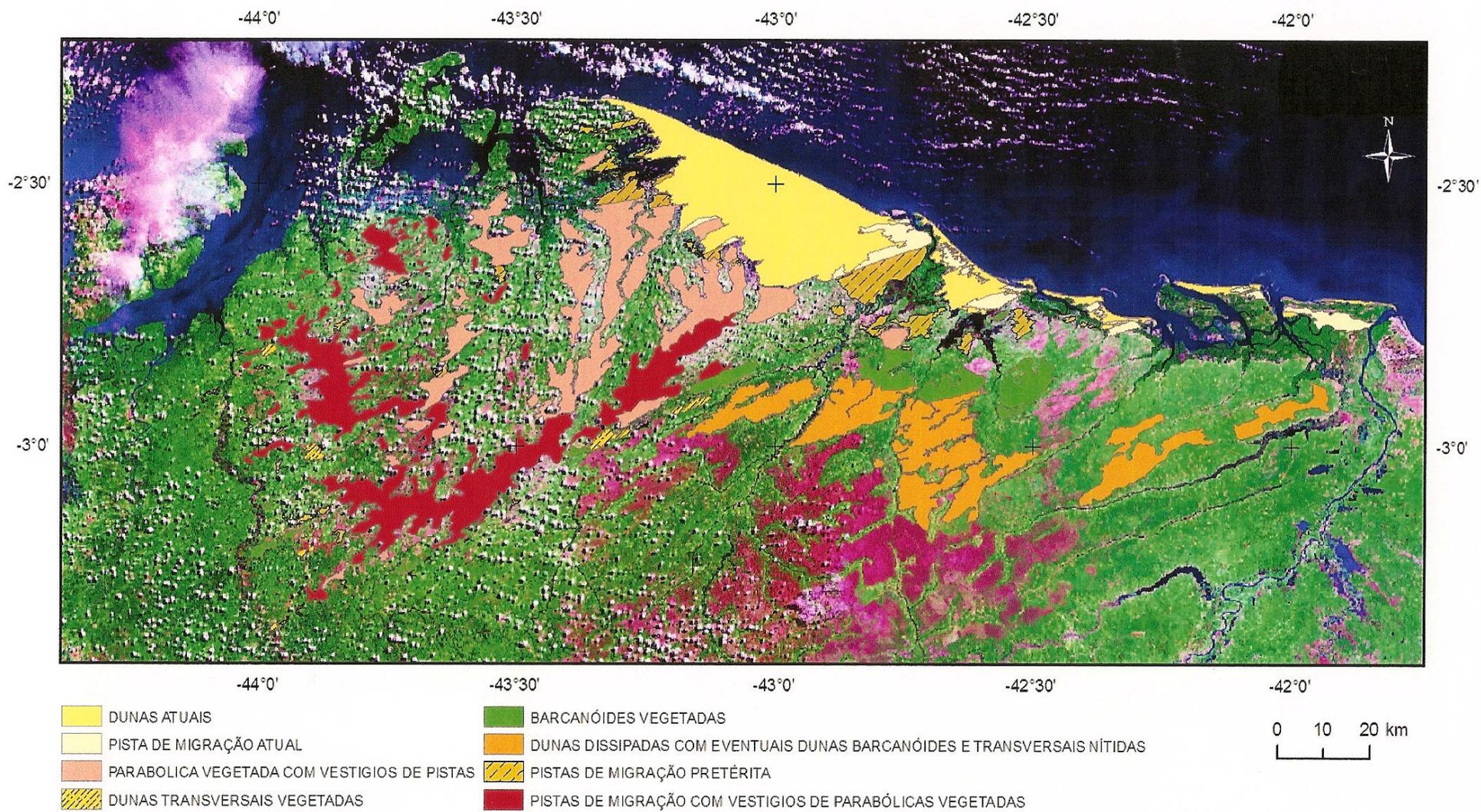


Figura 74 – Principais formas eólicas e pistas de migração identificadas nos campos de dunas dos Lençóis Maranhenses – MA.

Conforme observações realizadas através de cartas planialtimétricas (escala 1:100.000) e na carta imagem com isolinhas altimétricas (Figura 75), elaborada a partir dos dados do SRTM, verificou-se que os diferentes padrões de drenagens com direcionamentos opostos sugerem ter ocorrido reativações de falhas caracterizadas por processos neotectônicos.

A partir da interpretação das imagens orbitais, pôde-se constatar a presença de uma drenagem radial situada ao sul de Barreirinhas, pela ocorrência de um provável alçamento ocorrido na referida área (Figura 76). Outro aspecto que pode estar ligado também a estes alçamentos, diz respeito a ocorrência de paleodunas interiorizadas situadas entre as curvas de nível de 80 e 100m. Entre as principais formas eólicas identificadas tem-se as dunas parabólicas, cadeias barcanóides e transversais. A ocorrência destas duas últimas formas eólicas nítidas fixadas pela vegetação, próximas a Barreirinhas, pode indicar uma mudança relativamente rápida de um clima seco para um clima mais úmido.

➤ **Zona de saída**

O termo, “zona de saída” foi utilizado por Castro (2001) para designar ambientes soterrados por sedimentos eólicos (dunas), submetidos posteriormente a transporte fluvial em direção ao mar.

No PNLM foi facilmente constatado, a partir da interpretação de imagens de satélites e fotografias aéreas pretéritas, que os sedimentos eólicos encontram-se, em sua maioria, aprisionados no interior dos campos de dunas.

Contudo, no limite oeste da área de pesquisa, o rio Negro destaca-se como o principal responsável por pequena parcela do material eólico transportado em direção ao mar, principalmente no período chuvoso quando a vazão torna-se mais elevada (Foto 17).

Devido a este fato, inicialmente considerou-se o referido rio como a zona de saída do campo de dunas em questão (Figura 71). Todavia, considerando-se a pequena dimensão do rio em relação à grande área do campo de dunas (atuais e pretéritas) e, conseqüentemente, o pequeno fluxo de sedimentos em direção ao mar (no período de estiagem), o rio Negro não constitui uma zona de saída efetivamente importante em termos de transporte de areias do referido sistema eólico. No extremo oeste do PNLM, tem-se também, a saída de uma pequena parcela das areias em direção ao lago de Santo Amaro, Travosa e a barra da Baleia.

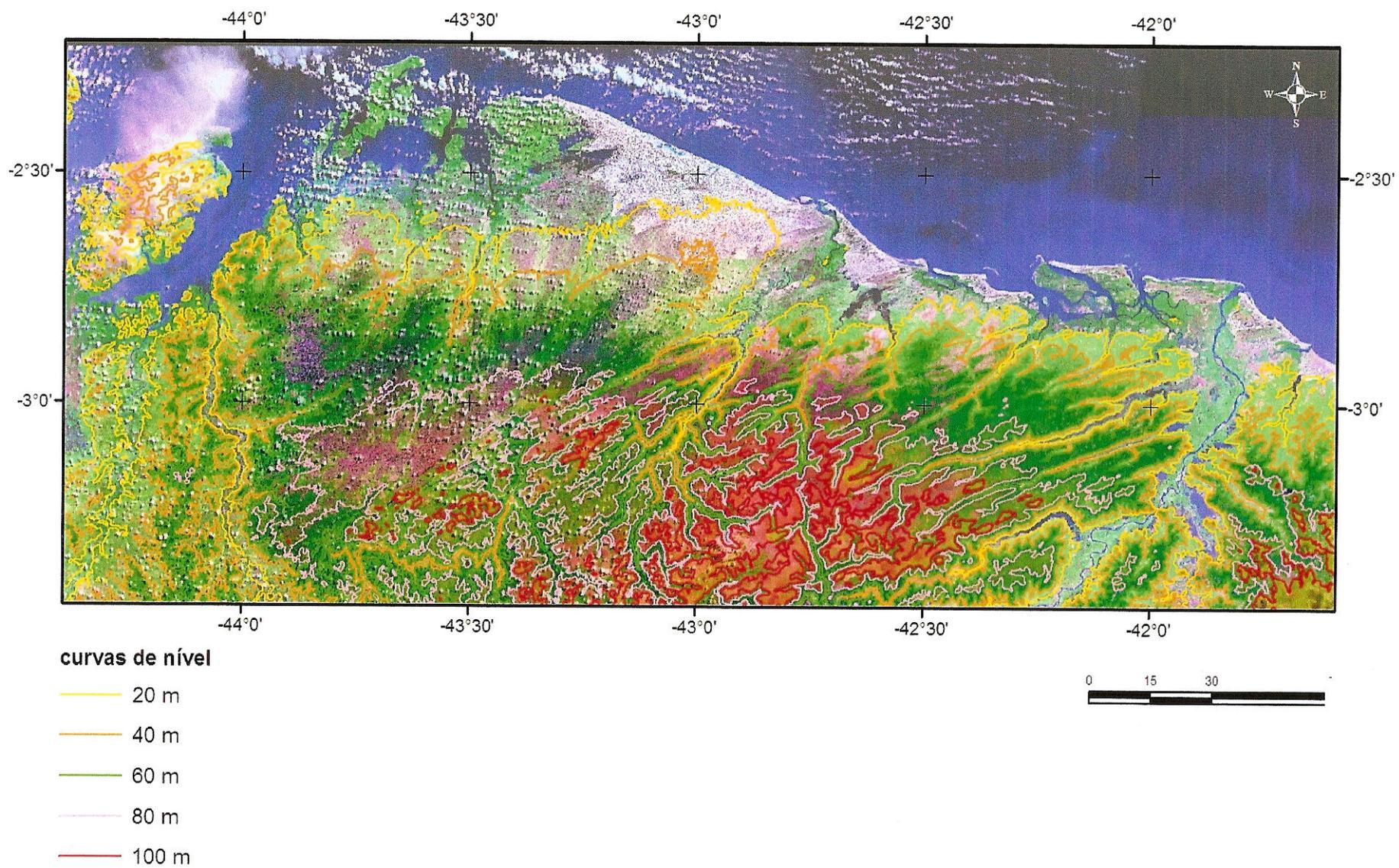


Figura 75 – Carta imagem do litoral oriental do estado do Maranhão com isolinhas altimétricas obtidas a partir da imagem SRTM.

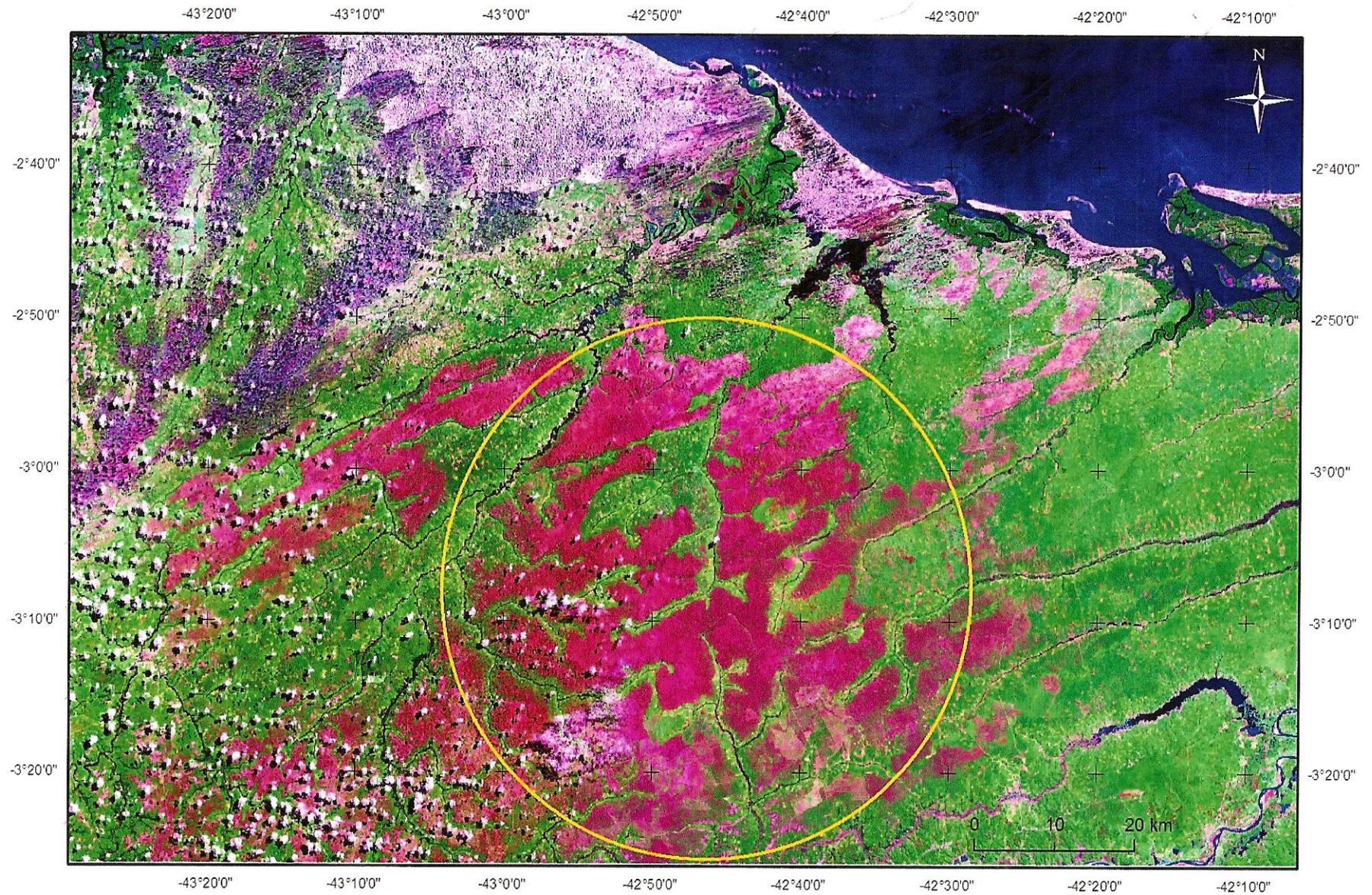


Figura 76 – Imagem da região dos Lençóis Maranhenses com presença de drenagem radial ao sul da cidade de Barreirinhas-MA.

Nos Pequenos Lençóis Maranhenses, o modelo proposto por Castro (2001), se adequa perfeitamente bem, tendo o rio Preguiças como a zona de saída do referido campo de dunas apresentando-se como satisfatoriamente adequado à realidade da área em questão.

Através deste trabalho, identificou-se, que os subsistemas presentes na área de estudo repetem-se em outras regiões situadas ao longo do litoral setentrional brasileiro. Assim, o modelo de evolução preliminar estabelecido para o setor leste do campo de dunas do PNLM poderá ser aplicado em projetos de planejamento e gestão ambiental, subsidiando a identificação de áreas de risco, evitando dessa forma que novas áreas agrícolas, estradas e vegetação nativa sejam atingidas por migração eólica (soterramento). Ressalta-se, no entanto, que a vegetação nativa e os recursos hídricos localizados nas áreas de pós dunas têm uma importância fundamental no controle da movimentação eólica (retenção). Com isso, o modelo proposto visa subsidiar e fornecer informações no intuito de colaborar para solução dos problemas decorrentes da migração de dunas que se processa nesse trecho do litoral.

Finalmente, considera-se este trabalho, como um ponto inicial para explicação dos processos de sedimentação eólica no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. Neste sentido, objetivando uma maior discussão e o aperfeiçoamento do referido modelo, estão sendo providenciadas maiores informações sobre estimativas de taxas de transporte eólico na citada área.

6 CONCLUSÕES

A região dos Lençóis Maranhenses é formada pela cobertura sedimentar quaternária costeira da bacia de Barreirinhas, cuja evolução tectono-sedimentar iniciou no Aptiano-Albiano, no Cretáceo. No decorrer do Quaternário, esta planície oriental do estado do Maranhão tem presenciado a geração de extensos campos de dunas, alguns ativos e outros fixados, sendo estes últimos os mais antigos e estendendo-se por mais de 150 km no sentido preferencial de migração das dunas (NE/SW).

A utilização do geoprocessamento, na identificação dos principais campos de dunas, no monitoramento das dunas atuais e na análise retroativa das dunas fixadas, demonstrou ser uma ferramenta eficaz no que se refere à manipulação dos dados georreferenciados quando da realização dos procedimentos diagnósticos (planimetrias e monitorias) e análises retrospectivas, possibilitando a apresentação dos diferentes cartogramas digitais com elevado rigor taxonômico e cartográfico da região dos Lençóis Maranhenses comprovando assim a segunda hipótese da página 6.

Nesta perspectiva, os resultados obtidos com as análises realizadas a partir da utilização das geotecnologias, datações geocronológicas por termoluminescência, associadas aos trabalhos em campo e em laboratórios, permitiram atender, de maneira satisfatória, aos objetivos gerais, norteadores da presente pesquisa, possibilitando as seguintes conclusões:

- a) o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical é de altíssima importância na definição da intensidade e frequência das temperaturas e chuvas na região dos Lençóis Maranhenses e qualquer alteração que possibilite o prolongamento do período de estiagem, favorece substancialmente o aumento da dinâmica eólica na área com o substancial aumento na taxa de deslocamento das dunas eólicas na referida planície costeira;
- b) constatou-se que dentre os quatro setores monitorados no setor sudeste do PNLM, o primeiro setor foi o que apresentou maior taxa de deslocamento das dunas, devido, provavelmente, a menor distância em relação à área litorânea, de ventos mais fortes e constantes, bem como pelo menor porte e densidade da cobertura vegetal, ao longo da planície onde ocorre a migração eólica;

- c) de uma maneira geral, pode-se inferir que a dinâmica eólica local é fortemente influenciada pelos fenômenos meteorológicos ocorrentes neste setor da franja costeira. Desta maneira, verificou-se que as dunas monitoradas b1 e b2 apresentam comportamentos semelhantes no tocante à velocidade de deslocamento ao longo do ano, com velocidades variando entre 11,7 e 13,9 m/ano nos 29 meses analisados, diferentemente da duna b3 que se destacou pela elevada progressão (23,9 a 25,8 m/ ano) se comparada com as anteriores;
- d) o avanço das referidas formas eólicas sobre a lagoa do Peixe, caso mantenha a velocidade média de migração de 15m/ano, tenderá a ocasionar o desaparecimento do referido ambiente lacustre num período de 8 a 10 anos. Nesta perspectiva, as atividades turísticas deverão sofrer o impacto deste processo, predominantemente natural, num menor espaço de tempo, pois antes da lagoa ser completamente soterrada, terá sua área e profundidade bastante reduzidas, com a conseqüente perda das características naturais que a tornaram ponto de visitação do PNLN;
- e) a determinação das taxas de migração das diferentes formas eólicas em distintas escalas espaciais e temporais, pelo emprego das três técnicas (utilização de imagens multitemporais, implantação de marcos em campo e caminhamentos com GPS topográfico) mostraram-se eficientes quanto à obtenção de informação relevante sobre a dinâmica existente na área de estudo. Caracteriza-se, assim, o atendimento ao segundo objetivo específico elencado no item 1.3.2. Contudo, destaca-se que a obtenção das medidas, a partir das fotos aéreas antigas, somente foi possível utilizando os dados do GPS topográfico, pois a inexistência de cartas topográficas em escala de detalhe, associada a dificuldade de se definir em campo pontos de controle com coordenadas confiáveis, certamente inviabilizaria o correto georreferenciamento das imagens e, conseqüentemente, a extração de medidas fidedignas;
- f) através das análises das 14 datações por termoluminescência, constatou-se preliminarmente que a área abrangida pelo Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses caracteriza-se pela presença de dunas móveis e fixas

holocênicas, havendo apenas uma amostra de idade pleistocênica de 23.800 anos AP, entre as formas eólicas encontradas neste estudo, a qual situa-se mais interiorizada, fora dos limites do referido parque. Outra constatação obtida refere-se à gênese de múltiplos campos de dunas, indicando um desenvolvimento segundo pulsações, desde antes do último máximo glacial até os dias atuais, de forma análoga à alternância de períodos secos e úmidos, durante os últimos 23.800 anos. Caracteriza-se, assim, o atendimento ao primeiro e terceiro objetivos específicos elencados no item 1.3.2;

g) a constância dos ventos de NE é indicada pela consistência da direção de migração das dunas atuais e das fixadas pela vegetação. A direção dos ventos nos Lençóis Maranhenses não parece ter sofrido significativas mudanças no Holoceno. Corroborando esta assertiva, registra-se que paleodunas distantes até cerca de 150km da linha de costa mantiveram a direção preferencial de deslocamento NE/SW, o que se deduz pelo fato destas paleodunas estarem situadas, em muitos casos, à frente de pistas abandonadas que se apresentam dispostas na citada direção. Caracteriza-se, mais uma vez, o atendimento ao primeiro objetivo específico elencado no item 1.3.2;

h) em relação à vegetação, é razoável imaginar que a fixação das dunas se dê em consequência do aumento de chuvas, pois na área estudada extensos campos de dunas encontram-se fixados, e por hipótese, esta fixação se deu em período mais úmido ou pelo menos com uma estação úmida bem mais pronunciada. Evidências de oscilações climáticas desse tipo foram constatadas em trabalhos realizados por Nascimento et al. (2003) na lagoa do Caçó;

i) com relação às datações feitas nesta tese as idades e respectivos deslocamentos referentes às amostras de Presidente Vargas e Rosário indicam possivelmente retomadas de deslocamentos das areias de campos de dunas já situados no interior que devem ter tido sua cobertura vegetal fixadora removida em condições de clima mais seco. Esta conclusão atende o segundo objetivo geral do item 1.3.1;

- j) reposicionamentos sucessivos da embocadura do Parnaíba podem ter causado tanto a geração do campo de dunas subatual, quanto o déficit sedimentar na referida área. A diminuição do aporte sedimentar num determinado período, até que houvesse uma retomada do fluxo de areias na direção W, bem como o posicionamento do atual campo de dunas, podem estar relacionados com o abandono da barra de Tutóia, bastante recente, provavelmente a menos de 5.000 anos (máximos secundários de 5 a 3m e descida para o zero atual). Através da análise das imagens do referido delta, constatou-se a existência de pelo menos três bocas (a atual e duas em abandono);
- k) a presença de pistas de migração das dunas abandonadas estão possivelmente relacionadas ao bloqueio da passagem das areias, devido ao desenvolvimento da restinga dos pequenos lençóis, propiciando um déficit sedimentar. Atualmente, constata-se que a migração das areias está ocorrendo na face da praia em direção ao interior do campo de dunas, nas proximidades do povoado de Atins. Tal fato pode sugerir a existência de ciclos (deposicionais) no tocante ao aporte sedimentar na área, uma vez que a seqüência de pistas de migração no sentido S/N vai da mais antiga até a mais recente;
- l) a partir de um procedimento exploratório foram feitas estimativas de posição dos pontos de origem das dunas fixada, fazendo regredir as formas eólicas a uma posição inicial de migração no litoral, a partir do uso de uma velocidade de migração, postulada como constante, ao longo de uma trajetória marcada pelas pistas de deslocamentos pretéritas percebidas em diferentes imagens. Como resultado desta análise retrospectiva preliminar, observou-se que algumas dunas fixadas, como demonstrado na figura 59, apontam para posições na plataforma continental interna, se forem retroprojetados segundo à direção das pistas abandonadas a sua retaguarda em direção as possíveis bocas preexistentes do rio Parnaíba.

As conclusões anteriormente apresentadas atendem ao primeiro objetivo geral elencado no item 1.3.1. Quanto às hipóteses formuladas no item 1.2, grandes massas de dados georreferenciados permitiram relacionar as dimensões espaciais e temporais das entidades e eventos do litoral oriental do Maranhão, através de suas identificações e da análise de correlacionamentos espaciais e temporais geradores de conhecimento sobre a gênese e evolução subatual dos campos de dunas móveis e fósseis existentes na região estudada. Estas hipóteses poderão ser consubstanciadas através de um maior aporte de recursos humanos e financeiros associados a futuras investigações ambientais. Certamente este será um caminho frutuoso para a obtenção dos conhecimentos indispensáveis ao planejamento e gestão de uma área geográfica peculiar e de alto valor turístico e científico.

REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A. N. Fundamentos da geomorfologia costeira do Brasil Atlântico Inter e Subtropical. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 1, n.1, p. 27- 43. 2000.
- ARAGÃO, J. O. R. de. A Influência dos oceanos Pacífico e Atlântico na dinâmica do tempo e do clima do Nordeste do Brasil. In: ESKINAZI-LEÇA, E. et al. (Orgs.). **Oceanografia: um cenário tropical**. Recife: Bagaço. p.131-184. 2004.
- ARENAS, J. S. A. **Datação de sedimentos da Ilha de Cananéia, SP e da duna de Pilão Arcado, Bahia, pelo método da Termoluminescência**. São Paulo: USP/IF, 89p. 1993. (Dissertação de Mestrado).
- ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: a Management Perspective**. Ottawa, Canadá. WDL Publications, 326 p. 1991.
- AYTA, W. E. F. **Estudo das propriedades termoluminescentes dos grãos de quartzo dos sedimentos marítimos**. São Paulo: USP/IF, 77p. 1996. (Dissertação de Mestrado).
- BAGNOLD, R.A **Physics of blown sand and desert dunes**. London: Ed. Methuen, 1941. 265p.
- BARBOSA, L.M. **Campos de Dunas Costeiras associados à desembocadura do rio São Francisco (SE/AL): origem e controles ambientais**. Salvador. Universidade Federal da Bahia. IGEO/PPGG. 1997.199p. (Tese de Doutorado).
- BARRETO, A. M. F. **Interpretação paleoambiental do sistema de dunas fixadas do médio rio São Francisco, Bahia**. São Paulo. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. 1996.174p. (Tese de Doutorado).
- BARRETO, A. M. F.; LIMA FILHO, M. F. MANSO, V. do A. V.; ALHEIROS, M. M.; TATUMI, S. H.; AYTA, W. E. F. ; WATANABE, S. Uso da datação por termoluminescência na diferenciação de sedimentos litorâneos pleistocênicos e holocênicos no estado de Pernambuco. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Belo Horizonte, 1998. **Anais...**, Belo Horizonte, 1998.
- BARRETO, A. M. F.; ÂNGULO, R. J.; TATUMI, S. H., WATANABE, S. ; AYTA, W. E. F. Datações por termoluminescência (TL) de sedimentos da planície costeira de Paranaguá, estado do Paraná. In: VII CONGRESSO DA ABEQUA, 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: ABEQUA, 1999.
- BARRETO, A. M. F.; TATUMI, S. H.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, P. E. de.; AYTA, W. ; WATANABE, S. As dunas costeiras inativas do Rio Grande do Norte datadas por termoluminescência e implicações paleoambientais. In: VII CONGRESSO DA ABEQUA, 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: ABEQUA, 1999.

BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, P. E. de. ; TATUMI, S. H. Campo de dunas inativas do médio rio São Francisco, BA: marcante registro de ambiente desértico do Quaternário brasileiro. In: **Brasil**. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos- SIGEP 56. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil: Editores Carlos Schobbenhaus... [et al.] - Brasília: DNPM, p. 223-231. 2002.

BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F. H. R.; TATUMI, S. H.; YEE, M. ; GIANNINI, P. C. F. Geologia e geomorfologia do quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v.4, n. 2, p. 1-12, 2004.

BARROS, R. S. de. ; CRUZ, C. B. M. Avaliação da altimetria do modelo digital de elevação do SRTM. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. P.1243-1250.

BAUER, B.O.; SHERMAN, D. J . Coastal dune dynamics: problems and prospects. In: GOUDIE, A. S.; LIVINGSTONE, I.; STOKES, S. (eds.) **Aeolian environments, sediments and landforms**. Chichester: John Wiley & Sons, p. 71-104. 1999.

BECKER, B.K.; EGLER, C.A.G. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: LAGET/UFRJ, 1997. 43p.

BIGARELLA, J. J. Structural characteristics of the dune, foredune, interdune, beach, dune ridge and sand ridge deposits. **Boletim Paranaense de Geociências.**, 28-29, p. 9-72, 1971.

_____. Eolian environments – their characteristics, recognition and importance. In: RIGBY, J. K. & HAMBLIN, W.K. EDS. Criteria for recognizing ancient environments. **Society of Eco Paleontologists and Mineralogists**, Spec. Pub., 16:12-62, 1972.

_____. The Lagoa dune field. In: McKee E. D. A. study of global sand seas. **Geological Survey Professional Paper**, 1052. United States Government Printing Office, Washington, 1. ed. 114-134, 1979.

BISPO, S. C.; BARBOSA, L. M.; DOMINGUES, J.M.L. Morfologia e atividade no campo de dunas costeiras da reserva Biológica de Santa Izabel, Sergipe, Brasil. In: X CONGRESSO DA ABEQUA: Qual a chave para o futuro? 2005, Guarapari. **Anais Eletrônicos...**, Guarapari: ABEQUA, 2005. 1 CD. 6 p.

BISPO, S. C.; BARBOSA, L. M.; SANTOS, C. F.; LIMA, C. C. U. de. ; CARVALHO, J. B. de. Variações em curto prazo nos campos de dunas ativas associados à foz do rio São Francisco. In: XI CONGRESSO DA ABEQUA: Os estudos do quaternário e a responsabilidade sócio-ambiental, 2007, Belém. **Anais...** Belém: ABEQUA, 2007.6p.

BITTENCOURY, A.C.S.P. et al. The marine formations of the coast of the State of Bahia, Brazil. In: SUGUIO, K.; FAIRCHILD, T.R.; FLEXOR, J.M. (EDS). International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary, São Paulo. Proceedings. Instituto de Geociências, p. 232-253, 1979.

BITTENCOURT, A. C. da. S. P.; DOMINGEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; SILVA, I. R. Uma aproximação de primeira ordem entre o clima de ondas e a localização, de longa duração, de regiões de acumulação flúvio-marinha e de erosão na costa norte do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, Salvador, v.33, n.2, p.159-166, jun.2003.

BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG: novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

BRANCO, M.P.N.C.; LEHUGEUR, L.G.O.; CAMPOS, J.E.G. Proposta de classificação para as feições eólicas do setor leste da região metropolitana de Fortaleza- Ceará- Brasil. **Geociências**, UNESP, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 163 – 174, 2003.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radam** Folha Sa. 23 São Luís e parte da folha SA.24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 1v (Levantamento de Recursos Naturais, 3) 1973.

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Informations Systems for Land Resources Assesment**. Oxford:Claredon Press, 1990. 194p.

CALDAS, L. H. de. O.; STATTEGGER, K.; VITAL, H. Holocene sea-level history: evidence from coastal sediments of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil. **Marine Geology**, 228, p. 39-53, 2006.

CÂMARA, G; MEDEIROS, J.S. **GIS para meio ambiente**. INPE. São José dos Campos, SP. 1998.

CARDOSO, A.G. A. et al. Caracterização geoquímica inorgânica dos sedimentos de superfície da lagoa do Caçó - Maranhão. . In: II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, IX CONGRESSO DA ABEQUA e II CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICAS, 2003, Recife. **Anais...** Recife, 2003. 1 CD ROM .

CARDOSO, A. G. A. **Reconstrução paleoambiental na lagoa do Caçó (Maranhão - Brasil) durante os últimos 21000 anos AP por marcadores e processos inorgânicos sedimentares**. Rio de Janeiro: PPGG/UFF. 127p. 2004. (Tese de Doutorado).

CARNEIRO FILHO, A; TATUMI, S. H.; YEE, M. **Des dunes fossiles en Amazonie**. Décourt, Palais de La DécoParis, França, v. 329, p. 64-71, 2005.

CARVALHO, A. M. **Dinâmica costeira entre Cumbuco e Matões Costa NW do Estado do Ceará. Ênfase nos processos eólicos.** Salvador: PPG/UFBA. 188p. 2003 (Tese de Doutorado).

CARVALHO, V.C. de. ; RIZZO, H.G. **A Zona costeira brasileira: Subsídios para uma avaliação ambiental.** Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. Brasileira, MMA, 1994.

CARVALHO, A. M.; DOMINGUEZ, J. M. L. Contribuição ao estudo da atividade eólica na Costa Cearense entre as localidades de Pecém e Enseada de Patos (Noroeste do Ceará). In: VII CONGRESSO DA ABEQUA, 1999, Porto Seguro. **Anais...**Porto Seguro: ABEQUA, 1999.

CARVALHO, A. M. de. ; RODRIGUES, S. A. Interação entre dinâmica eólica e deriva litorânea como base para a caracterização morfodinâmica do ambiente costeiro. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 10., 2005, Guarapari. **Anais Eletrônicos...** Guarapari: ABEQUA, 2005. 1 CD. 6 p.

CARVALHO, A. M.; MAIA, L. P.; DOMINGUEZ, J. M. L. Caracterização do processo de migração das dunas de Flexeiras, Baleia, Paracuru e Jericoacoara, costa noroeste do Ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.1, p.44-52, 2006.

CASTRO, J.W.A. **Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru-Ceará.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. IGEO/PPGG. 2001. 200p. (Tese de Doutorado).

CASTRO, J.W.A. Transporte eólico de sedimentos e migração de dunas sobre o promontório de Paracuru-litoral Setentrional do Nordeste Brasileiro. , Rio de Janeiro: **Bol. Mus. Nacional, Nova Série Geologia**, n.72, p.1-12, 2004.

_____. Impactos dos episódios El Niño e La Niña sobre dunas do litoral Setentrional do Nordeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMORFOLOGIA, 4., 2004, São Luis. **Anais Eletrônicos...** São Luis: UGB, 2004. 1CD. 6p.

CASTRO, J. W. A.; GONÇALVES, R. A. O processo de soterramento da cidade de Paracuru – Ceará, por dunas móveis transversais submetidas a regime de vento unimodal. In: IX CONGRESSO DA ABEQUA; II CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DE PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICAS e II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO NA ZONA COSTEIRA DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA. Recife: UFPE, 2003, **Anais...** Recife, v.1, p. 89-94. 2003.

CASTRO, J. W. A.; RAMOS, R.R.C. Idade das dunas móveis transversais no segmento entre Macau e Jericoacoara- Litoral Setentrional do Nordeste Brasileiro. **Arquivos do Museu Nacional**. Rio de Janeiro, vol. 64 (4), p. 361-367. 2006.

CHISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil. p. 415-416, 1998.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo. Ed: Edgard Blucher, 1999. 236p.

CLAUDINO-SALES, V.; PEULVAST, J. P. Dunes generations and ponds on the coast of Ceará state, northeast of Brazil. In: ALLISON, R. (Ed.) **Applied Geomorphology**. London: John Wiley e Sons, p. 421-440. 2002.

CPTC/INPE. El Niño e La Niña. Disponível em: <<http://www.cptc.inpe.br/enos/>>. Acesso em 18 de Jan. 2008.

CRUZ, C.B.M. **As bases operacionais para a modelagem e implementação de um Banco de Dados Geográficos em apoio a gestão ambiental – um exemplo aplicado a Bacia de Campos**. Rio de Janeiro. UFRJ/IGEO/PPGG, 2000. 377p. (Tese de Doutorado).

CRUZ, C.B.M.; PINA, M.F. de. **Leitura de mapas e técnicas de localização em campo**. Rio de Janeiro: NADC/UFRJ, 2000. 99p.

COSTA, J.B.S.; BORGES, M.S.; IGREJA, H.L.S.; PINHEIRO, R.V.L. Aspectos da tectônica Cenozoica na região do Salgado, litoral nordeste do Estado do Pará. In: III SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1991. **Anais...** Belém: SBG-Núcleo Norte. p.156-165. 1991.

COSTA, N.M.C. da. **Análise do Parque Estadual da Pedra Branca por Geoprocessamento: uma contribuição ao seu Plano de Manejo**. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro/IGEO, 2002. 310p. (Tese de Doutorado).

D' ANTONA, A. de O. **O verão, o inverno e o inverso: Lençóis Maranhenses, imagens**. Brasília: Edições IBAMA, 2002. 180p.

DAVIES, J.L. **Geographical variation in coastal development**. 2.ed. London: Logman, 1980. 212p.

DIAS, F.F. **Migração de dunas e transporte de sedimentos sobre a infra-estrutura urbana de Cabo Frio-RJ**. Rio de Janeiro: IGEO/UFRJ/PPGL, 2005. 120p. Dissertação (mestrado em Geologia).

DIAS, F. F.; CASTRO, J. W. A.; SEOANE, J. C. S. Problemas de soterramento decorrentes da movimentação de dunas no litoral de Cabo Frio – Estado do Rio de Janeiro. In: XI CONGRESSO DA ABEQUA: Os estudos do quaternário e a responsabilidade sócio-ambiental, 2007, Belém, **Anais...** Belém, 2007. 3p.

DHN. **Tábua de Maré**. Porto do Itaqui, Estado do Maranhão (2007).

DILLENBURG, S. R. **A laguna de Tramandaí: a evolução e aplicação do método geocronológico da termoluminescência na datação de depósitos sedimentares lagunares.** Porto Alegre: IG/UFRG, 1994.113p. (Tese de Doutorado).

DOMINGUES, J.M. L e MARTIN, L. Controles ambientais no desenvolvimento de dunas costeiras da região nordeste do Brasil. Texto on-line. Disponível em: <<http://www.cpgg.ufba.br/lec/dunas.html>>. Acesso em: 11 dez. 2007.

ECOLOGUS. **Relatório ambiental da operação de dragagem de manutenção no Terminal Portuário da Ponta da Madeira.** Climatologia. Ecologus Engenharia Consultoria. Companhia Vale do Rio Doce. São Luís. 13p. 2006.

EHLERS, M. Sensoriamento Remoto para usuários de SIG – Sistemas Sensores e Métodos: as Exigências e a realidade. In: BLASCHKE, T. e KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores.** São Paulo: Oficina de Textos. p. 11-18, 2005.

EL-ROBRINI, M.; SILVA, M. M. da.; EL-ROBRINI, M. H.; FEITOSA, A. C.; TAROUCO, J. E. F.; SANTOS, J. H. S. dos ; VIANA, J. R. Maranhão. In: DIETER, M. (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente/ Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, p. 87- 130. 2006.

EMBRAPA. Brasil em relevo: download do SRTM. Disponível em: <<http://www.relevo.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>>. Acesso em 10 de fev. 2008.

ESTEVES, L. S. et al. Utilização de Sistemas de Informações Geográficas no monitoramento de dunas costeiras. In: VIII CONGRESSO DA ABEQUA. 2001, Mariluz, Imbé , **Anais...** Mariluz Imbé, 2001.

FEIJÓ, F. J. **Bacia de Barreirinhas.** Rio de Janeiro: Boletim de Geociências da PETROBRÁS, n. 1, v. 8, p. 103-109, 1994.

FEITOSA, A. C. **Dinâmica dos processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da ilha do Maranhão.** Rio Claro – UNESP, 1996. 249p. (Tese de Doutorado).

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélites para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

FOLK, R.L. ; WARD, W.C. Brazos River bar: a study in the significance of grain parameters. **Journal Sedim. Petrol.** v.3, p. 3-32, 1957.

FORTES, F. P. As manchas solares e o passo das dunas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, 1992. v. 2, p. 297-298.

FRACASSO, P.; DIEHL, F. L.; KLEIN, A. H. F.; DIEHL, F. P. Instrumentos de gestão do sistema dunar- uma das estratégias da educação ambiental aplicada. In: II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, IX CONGRESSO DA ABEQUA e II CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICAS, 2003, Recife. **Anais...** Recife, 2003. 1 CD ROM .3 p.

FRYBERGUER, S. G. Dunes forms end wind regime. In: A study of global sand seas. **Geological Survey Professional Paper**, 1052 (1): 137- 169. 1979.

GARCIA, M.A.T. et al. Utilização de aerofotomosaicos multitemporais no estudo da dinâmica costeira no município de São Gonçalo do Amarante-CE. In: VIII CONGRESSO DA ABEQUA. 2001, Mariluz, Imbé , **Anais...** Mariluz Imbé, 2001. 97p.

GAMA, S.V.G. da. **Contribuição metodológica à gestão ambiental integrada de Unidades de Conservação – o caso do Maciço Gericinó-Mendanha na zona oeste do município do Rio de Janeiro**: IGEO/UFRJ/PPGG, 2002. 198p. (Tese de Doutorado).

GIANNINI, P. C. F.; SANTOS, E. R. Padrões de variação espacial e temporal na morfologia de dunas de orla costeira no centro-sul catarinense. **Boletim Paranaense de Geociências**, v.42, p. 73-96. 1994.

GIANNINI, P. C. F.; ASSINE, M. L.; BARBOSA, L. M.; BARRETO, A.M. F.; CARVALHO, A. M.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L. P.; MARTINHO, C. T.; PEAVLAVAST, J.P. ; SAWAKUCHI, A. O. ; TOMAZELLI, L. J. **Dunas e Paleodunas Eólicas Costeiras e Interiores**. In: SOUZA, C. R. de. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A M. dos S.; OLIVEIRA, P. E. de. (Orgs.) Quaternário do Brasil. São Paulo: Holos Editora, p. 235-257, 2005.

GOES, M.H.B. **Diagnóstico ambiental por geoprocessamento do município de Itaguaí-RJ**. Rio Claro: UNESP, 1994. 530p. (Tese de Doutorado).

GOLDSMITH, V. **The “vamp” coastal dune classification**. SRAMSDE. n. 143, p. 20-26, 1977.

GOLDSMITH, V. Coastal dunes. In: DAVIES, R. A., Ed., **Coastal Sedimentary Environments**. New York: Springer Verlag, p. 171-235. 1985.

GOMES, D. F.; FREIRE, G. S. S.; LEHUGEUR, L. G. de O. Dunas costeiras da região de Parajuru, município de Beberibe, Ceará. In: VII CONGRESSO DA ABEQUA, Porto Seguro, **Anais...**, Porto Seguro, 1999.

GONÇALVES, R.A. Sobre as grandes superfícies do sistema deposicional eólico costeiro da região dos Lençóis Maranhenses, Maranhão-Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE PROCESSOS SEDIMENTARES E PROBLEMAS AMBIENTAIS NA ZONA COSTEIRA DO NORDESTE DO BRASIL. 1995, Recife, **Anais...**, Recife, p.119-122,

GONÇALVES, R. A. **Contribuição ao mapeamento geológico e geomorfológico dos depósitos eólicos da planície costeira do Maranhão:** região de Barreirinhas e Rio Novo-Lençóis Maranhenses-MA-Brasil. Rio Grande do Sul: UFRGS, 1997. 235p. (Tese de Doutorado).

GONÇALVES, R. A.; LEHUGEUR, L.G.O.; CASTRO, J.W.de .A.; PEDROTO, A.E.S. Classificação das feições eólicas dos Lençóis Maranhenses-Maranhão-Brasil. Fortaleza: UFC. **MERCATOR**. Ano 2, n.3, p.99-112, 2003.

GONÇALVES, R. A.; SANTOS, J.H.S.; CASTRO, J.W.C. de. ; SANTOS, N. F. B. dos. O papel da dinâmica costeira no controle dos campos de dunas eólicas do setor leste da planície costeira do Maranhão-BR-Lençóis Maranhenses. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 10., 2005, Guarapari. **Anais Eletrônicos...**, Guarapari: ABEQUA, 2005. 1 CD. 5 p.

GUERRA, A.J.T. ; CUNHA, S. B. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 375-376. 1996.

GUERRA, N. C.; MANSO, V. do A. V. Beachsrocks (Recifes de Arenito). In: In: ESKINAZI-LEÇA, E. et al. (Orgs.). **Oceanografia: um cenário tropical**. Recife: Bagaço. p.109-130. 2004.

GURGEL, M. H. da C. **Fracionamento do fósforo sedimentar na lagoa do Caçó (Maranhão-Brasil)**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

HAYES, M.O. **Morfology of sand accumulations in estuaries**. In Cronin, L.E (ed) Estuarine Research, vol.2, Geology and Engineering. Academic Press, New York. P. 3-22. 1975.

HESP, P. A. Coastal sand dunes: form and function. Massey University., Nova Zelândia. CDNV Technical Bulletin, 4. 28p. 2000.

HESP, P. A gênese de cristas de praias e dunas frontais. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, ano. 1, n. 2, p. 119-125, 2002.

HESP, P. A.; HASTINGS, K. Width, height and slope relationships and aerodynamic maintenance of barchans. **Geomorphology**, 22, p. 193-204. 1998.

HOEFEL, F.G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica**. Itajaí: Editora da Univali. 1998. 92p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE. 1992. 92p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário Estatístico do Brasil**. Contagem da População 1996. Vol.1. Rio de Janeiro. 1997.

_____. **Censo demográfico 2000**. Resultados preliminares. Rio de Janeiro. 2001.

_____. **Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/> . Acesso em: out. 2007.

KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. Prentice-Hall, New Jersey. 1998. 417p.

KOWATA, E. A.; TATUMI, S. H.; SUGUIO, K. FATEC/SP – Laboratório de Vidros e Datação/LVD. Trabalhos e Conferências Nacionais. Datação de dunas litorâneas de Ilha Comprida/SP Disponível em: <http://www.fatecsp.br/faculdade/laboratorios/lvidro> Acesso em: 05 Mar.2006.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas 1985. 238p.

LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G. Aplicações do Sensoriamento Remoto na Geografia. In: VENTURI, L.A.B. (Org.). **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos. p. 33-53. 2005.

MABBUT, J.A. **Desert Landforms**. AC.Press, Canberra.1977. 340 p.

MAIA, L. P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): implicaciones para una gestion adecuada de la zona litoral**. Barcelona: Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia. 269 p. 1998. (Tesis Doctoral).

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

MARANHÃO. **Atlas do Maranhão**. Rio de Janeiro, IBGE. 1984.

_____. **Atlas do Maranhão**. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, Laboratório de Geoprocessamento-UEMA. São Luís: GEPLAN. 39 p. 2002.

_____. **Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão**. Fundação Sôsândrade de Apoio e Desenvolvimento da Universidade Federal do Maranhão. /IICA/ GEAGRO/LABOHIDRO. 242p. 2003.

MARCHETTI, D.A.B.; GARCIA, G.J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo: Nobel, 257 p. 1989.

MARQUES, J. S. Ciência geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (Orgs.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil. p. 23-50. 1994.

McKee, E. D. Introduction to a study of global sand seas. U. S. **Geological Survey Professional Paper**. 1052. p.1-19. 1979.

McKee, E. D. ; DOUGLAS, J.R. Growth and Movement of Dunes at White Sands National Monument, New Mexico. In: Geological Survey Research. Washington, U. S. **Geological Survey Professional Paper**, nº 750D) p. 108-114. 1971.

McKee, E. D.; BIGARELLA, J. J. Deformational structures in Brazilian costal dunes. **Journal of Sedimentology Petrology.**, (42 3): p. 670-681 1972.

MEDEIROS, R. A. et al. **Faciéis sedimentares**: análise e critérios para o reconhecimento de ambientes deposicionais. PETROBRÁS/CENPES: Rio de Janeiro, 1971.

MEDEIROS, J. S. de.; CÂMARA, G. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos: INPE, 2003. In: **Introdução ao Geoprocessamento**: Livro on-line. cap.10. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros.html>> Acesso em: 25 mai. 2004.

MELLO FILHO, J.A. **Qualidade de vida na região da Tijuca, RJ, por Geoprocessamento**. Rio de Janeiro. IGEO/PPGG/UFRJ. 288 p. 2003. (Tese de Doutorado).

MENDES, L.R.T. **Sistema de Informações Geográficas para Unidades de Conservação da Natureza de Proteção Integral-SIGUPI**. Rio de Janeiro. PPEC/GEOMÁTICA/UERJ. 109 p. 2003. (Dissertação de Mestrado).

MENEZES, P.M.L. de. **A Interface Cartografia-Geoecologia nos Estudos Diagnósticos e Prognósticos da Paisagem**: um Modelo de Avaliação de Procedimentos Analítico-Integrativos. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG. 260p. 2000. (Tese de Doutorado).

MMA. **Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil na Escala da União** Brasília: UFRJ/ FUJB / LAGET: Programa Nacional do Meio Ambiente. 280p. 1996.

MMA/IBAMA. **Plano de Manejo do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. São Luís, MA. 499p. 2003.

MME. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Ministério das Minas e Energia./ELETROBRÁS: Brasília, 2001.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (Orgs.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil. p. 253-308. 1994.

MUEHE, D. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 273-349. 1998.

MUEHE, D. ; GARCEZ, D.S. A plataforma continental brasileira e sua relação com a zona costeira e a pesca. Fortaleza: UFC. **MERCATOR**. Ano 4, n.8, p.69-88, 2005.

MOURA, A.C.M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: Ed. da Autora. 249p. 2003.

NASCIMENTO, L. R. do.; SIFEDDINE, A.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; TORGAN, L. C. ; GOMES, D. F. Estudo da evolução paleohidrológica do lago Caçó (MA-Brasil) nos últimos 20.000 anos inferido através das diatomáceas. In: II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, IX CONGRESSO DA ABEQUA e II CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICAS, 2003, Recife. **Anais...** Recife, 2003. 1 CD ROM .3 p.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher. 308p. 1992.

OLIVEIRA, P. E. de.; BEHLING, H.; LEDRU, M-P.; BARBIERE, M.; BUSH.; LABOURIAU, M. L.S.; GARCIA, M. J.; MEDEANIC, S.; BARTH, O. M.; BARROS, M. ^a de.; YBERT, R. S. **Paleovegetação e paleoclimas do Quaternário do Brasil**. In: SOUZA, C. R. de. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A M. dos S.; OLIVEIRA, P. E. de. (Orgs.) Quaternário do Brasil. São Paulo: Holos Editora, p. 52-74, 2005.

OTTMANN, F. **Introduction a la geologie marine et littorale**. Paris, Masson, 259p. 1965.

PAISANI, J. C. O poder do vento durante o último glacial na costa sul-brasileira a partir da análise do tamanho de grãos eólicos de rampa arenosa. São Paulo. UNESP, **Geociências**. V.26, nº 2. P. 127-133, 2007.

PAMPLONA, H.R.P. Litoestatigrafia da Bacia Cretácea de Barreirinhas. Rio de Janeiro. **Bol. Tec. Petrobras**, vol. 12, nº 3. 1969.

PARTELI, E. J. R.; SCHWAMMLE; HERRMANN, H. J.; MONTEIRO, L. H. U. ; MAIA, L. P. Measuring a transverse dune Field in the Lençóis Maranhenses. **Preprint Submitted to Elsevier Science**, v.1,p. 1- 22, ago.2005

PARTELI, E. J. R. **Sands dunes on Mars and on Earth**. Alemanha: Institut für Computerphysik der Universität Stuttgart/ Von der Fakultät Mathematik und Physik der universität Stuttgart. 171p. 2007.

PÉREZ, M. A. P. **Caracterização do aporte atmosférico das principais substâncias inorgânicas solúveis na lagoa do Caçó- norte do Maranhão.** 2003. 145p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

PEREIRA, D. de F. **Caracterização física e química das lagoas dos Lençóis Maranhenses, Brasil.** 1999. 16p. Monografia de Graduação. UFMA: CCS/DCB, São Luís-MA.

POUPEAU, G.; SOUZA, J. H.; SOLIANI JR, E. ; LOSS, E. L. Dating quartzose sands of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Brazil, by Thermoluminescence. **Pesquisas**, 16: 250-268. 1984.

POUPEAU, G.; SOLIANI JR, E.; 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: 11-24. 1988.

PYE, K. **Introduction: The nature and significance of aeolian sedimentary systems.** In: The dynamics and environmental context Aeolian sedimentary systems. London: The Geological Society Special Publication, n°72, p. 1-4. 1983.

PYE, K. ; TSOAR, H. **Aeolian Sand and Sand Dunes.** London, Unwin Hyman, 396p. 1990.

RAFFO, J. G. da G. Posicionamento de objetos sobre a superfície da terra. In: VENTURI, L.A.B. (Org.). **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 19-31.2005.

RAMOS, R. R. C. et al. Modelo evolutivo do campo de dunas (município de Cabo Frio/RJ) e cálculo de transporte eólico. In: II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, IX CONGRESSO DA ABEQUA e II CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICAS, 2003, Recife. **Anais...** Recife, 2003. 1 CD ROM .6 p.

RANGEL, F.E. **O Campo de Duna Escalonar na praia do Perú-Cabo Frio/RJ:** transporte de sedimentos, formas resultantes e impactos associados. Rio de Janeiro: IGEO/PPGL/UFRJ. 96 p. 2005. (Dissertação de Mestrado).

REGALI, M.S.P.; UESUGUI, N.; LIMA, E.C. Palinoestatigrafia e paleoambiente da Bacia de Barreirinhas, Maranhão, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8. Rio de Janeiro. **DNPM.** Geol. 27, Paleont. Estrat.1985.

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

RIBEIRO, A.Y. **Balanco sedimentar num sistema de dunas frontais sob regime de ventos dominantes da terra para o mar: praia de Massambaba, Arraial do Cabo-RJ.** Rio de Janeiro: IGEO/UFRJ/PPGG. 257p. 2000. (Dissertação de Mestrado).

RIBEIRO, G. P. **Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaço-temporal em ambiente costeiro**. Niterói: PPGG/UFF. 198 p.2005. (Tese de Doutorado).

RIBEIRO, G. P.; PEREIRA, C. Q.; SILVA, A.E. da. ; CASTRO, J. W. de A. Análise da configuração espacial e dinâmica das dunas de Atafona, São João da Barra (RJ). In: XI CONGRESSO DA ABEQUA: os estudos do quaternário e a responsabilidade sócio-ambiental, 2007, Belém, **Anais...**, Belém: ABEQUA, 2007. 3p.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor. 220p. 2000.

RODRIGUES, M. et. al. Taxa de migração e transporte eólico nas dunas da região Cauipe – Costa oeste do estado do Ceará. In: VIII Congresso da ABEQUA, 1999, Porto Seguro – BA. **Anais** do VIII Congresso da ABEQUA, 1999.

RODRIGUES, M. Introdução ao geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica da USP. 1990, p.1-26

SANTOS, J.H.S. dos. **Análise por geoprocessamento da ocupação na Franja Costeira ao Norte da Cidade de São Luís – MA**. Rio de Janeiro: IGEO/PPGG/UFRJ. 149 p.1996. (Dissertação de Mestrado).

SANTOS, J.H.S. dos. ; XAVIER-da-SILVA, J .Identificação por geoprocessamento de áreas com potenciais de urbanização e empreendimentos turísticos na franja costeira de São Luís-MA. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEORAFIA FÍSICA APLICADA- I Fórum Latino Americano de Geografia Física Aplicada, 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1997. 1 CD ROM, p. 1-8.

SANTOS, J. H.S. dos. ; PEREIRA, E. D. Caracterização geológica e geomorfológica do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, Maranhão-Brasil. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. 2001, **Anais...** 2001, p.196-197.

SANTOS, J. H. S. dos.; CASTRO, J. W. A.; GONÇALVES, R. A. ; SANTOS, N. F. B. dos. Modelo evolutivo do sistema de dunas eólicas do setor leste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses – MA/Brasil. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 10., 2005, Guarapari. **Anais Eletrônicos...** Guarapari: ABEQUA, 2005. 1 CD. 5 p.

SANTOS, J. H. S. dos. Determinação da taxa de migração das dunas no setor sudeste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses-MA por geoprocessamento. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA: Geomorfologia Tropical e Subtropical: processos, métodos e técnicas, 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SINAGEO, 2006.

SANTOS, M.A.dos. **Técnicas para diagnóstico ambiental: Sistemas de Informação Geográfica.** In: Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas. Rio de Janeiro: UFRJ; COPPE; Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais. p. 225-235. 2001.

SANTOS, N. F. B. dos. **Análise da cobertura vegetal do setor sudeste do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, Barreirinhas-MA, por geoprocessamento.** Rio de Janeiro: IGEO/PPGG/UFRJ. 110p. 2007. (Dissertação de Mestrado).

SANTOS, V. F. dos. **Ambientes costeiros amazônicos: avaliação de modificações por sensoriamento remoto.** Niterói: PPGG/UFF. 306p. 2006. (Tese de Doutorado).

SAWAKUCHI, A. O. et al. Episódios de deposição eólica quaternária no litoral centro-sul de Santa Catarina: correlação com variações do nível relativo do mar baseada em idades TL e LOE. In: II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, IX CONGRESSO DA ABEQUA e II CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICAS, 2003, Recife. **Anais...** Recife, 2003. 1 CD ROM .5 p.

SALES, V.C. ; PEULVAST, J.P. Dune Generation and Ponds on the Coast of Ceará State (Northeast Brazil).In: Allison, R.J. (Org.). **Applied Geomorphology: Theory and Practice.** 1ed. London. p. 443-460. 2002.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24 (3): p. 151-158. 1954.

SIFEDDINE, A. et al. **A 21000 cal years paleoclimatic record from Caçó Lake, Northern Brazil: evidence from sedimentary and pollen analyses.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 189, p. 25-34. 2003.

SIGOLO, J.B. Processos eólicos: a ação dos ventos. In: TEXEIRA et al. (Orgs.). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos. v.1. p. 247-260.2000.

SILVA, C.G. ; PATCHINEELAM, S. M. ; BAPTISTA NETO, J. A. ; PONZI, V. R. A. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: NETO, J.AB.; PONZI, V. R.A.; SICHEL, S.E. (Orgs). **Introdução à Geologia Marinha.** Rio de Janeiro: Interciência. p. 175-218. 2004.

SILVA, E. A. de J. **As dunas eólicas de Natal/RN: datação e evolução.** Natal: PPGG/UFRN. 111p. 2002. (Dissertação de Mestrado).

SOUZA, R.R.; GRUBER, N.L.S. Zoneamento do campo de dunas de Cidreira, considerando a sua dinâmica eólica. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 10., 2005, Guarapari. **Anais Eletrônicos...** Guarapari: ABEQUA, 2005. 1 CD. 6 p.

SUGUIO, K. Dicionário de geologia marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol. São Paulo: T. Queiroz, 1992.

_____. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais:** (passado + presente = futuro?). São Paulo: Ed. Paulo's, 1999.

_____. Tópicos de geociências para o desenvolvimento sustentável: as regiões litorâneas. São Paulo: **Revista do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo**. Geologia/USP, v.2, n.1. 40p. 2003a.

_____. **Geologia sedimentar**. São Paulo, Edgar Blucher. 400p. 2003b.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense (Quaternary marine formation of the state of São Paulo and southern Rio de Janeiro) In: International Symposium on Coast Evolution in the Quaternary, São Paulo, 1978. São Paulo, SBG/IGUSP, **Special Publication**, nº 1, 55p. 1978.

SUGUIO, K.; ÂNGULO, R. J.; CARVALHO, A. M.; CORRÊA, I.C.S.; TOMAZELLI, L. J.; WILLWOCK, J. A.; VITAL, H. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: SOUZA, C. R. de. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. dos S.; OLIVEIRA, P. E. de. (Orgs.) **Quaternário do Brasil**. São Paulo: Holos Editora, p. 114 – 129. 2005.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J-M. ; AZEVEDO, A. E. G. de. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v. 15, n.4, p. 273-286. 1985.

SUGUIO, K.; TATUMI, S.H.; BARRETO, A. M. F. Comparação entre os métodos do radiocarbono (^{14}C) e da termoluminescência (TL) na datação do Quaternário. In: II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, IX CONGRESSO DA ABEQUA e II CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICAS, 2003, Recife. **Anais...** Recife: ABEQUA, 2003, p. 171-175.

TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. y. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, n.17, p. 11-23, 2005.

TIBANA, P.; TONIATTI, G. **Estudo Petrogenético dos calcários da Formação Barreirinhas**. Salvador: PETROBRÁS, Relatório Interno. 1968.

THOMAS, D. S. G.; SHAW, P. A. "Relict" desert systems: interpretations and problems. **Journal of Arid Environments**, 20: 1-14. 1991.

TINLEY, K.L. Coastal Dunes of South África. **South African National Scientific Programmes**, report n°109, 300 p. 1985.

TOMAZELLI, L.J. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul com ênfase no sistema eólico**. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS. 1990. 270p. (Tese de Doutorado).

_____. O regime de ventos e a taxa de migração de dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, Porto Alegre: UFRGS, v. 20, n.1, p.18-26. 1993.

_____. Morfologia, organização e evolução do campo eólico costeiro do litoral norte do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, v.21, n.1.p.64-71.1994.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; STRIM, J. O Sistema de Dunas Eólicas Transgressivas do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: situação atual e definição de áreas prioritárias à preservação. In: II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, IX CONGRESSO DA ABEQUA e II CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICAS, 2003, Recife. **Anais...** Recife, 2003. 1 CD ROM .4p.

TSOAR, H. The formation of seif dunes from barchans: a discussion. *Zeit Geomorph*, NF 28, p.99-103. 1984. In: CASTRO J.W.A. **Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru-Ceará**. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. IGEO. 200p. 2001.

TSOAR, H. ; STOLER, Y. Elongation and migration of sand dunes. **Geomorphology**, v.57, p. 293- 302, 2004.

VEIGA JUNIOR, J. P. **Programa levantamento geológico básico do Brasil**. São Luís NE/SE, folhas SA23-X e SA 23-Z Estados do Maranhão e Piauí. Escala 1:500.000, Brasília: CPRM, 2000, 1CD ROM.

VILLWOCK, J.A. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul. Southern Brazil. A synthesis. **Pesquisas**, v.16. p.5-49.1994.

VILLWOCK, J. A.; LESSA, G. C.; SUGUIO, K.; ANGULO, R. J.; DILENBURG, S.R. **Geologia e geomorfologia de regiões costeiras**. In: SOUZA, C. R. de. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A M. dos S.; OLIVEIRA, P. E. de. (Orgs.) Quaternário do Brasil. São Paulo: Holos Editora, p. 94-113, 2005.

VILLWOCK, J.A. ; TOMAZELLI, L.J. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul**. Notas Técnicas do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica da UFRGS. V.8: p.1-45. 1995.

VINTEM, G.; TOMAZELLI, L.J.; KLEIN, A.H. da F. O efeito do tamanho de grão de areia no processo de transporte eólico dos campos de dunas transgressivas do litoral do estado de Santa Catarina – Brasil. In: II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, IX CONGRESSO DA ABEQUA e II CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICAS, 2003, Recife. **Anais...** Recife, 2003. 1 CD ROM .3 p.

WATANABE, E.A.; TATUMI, S. H. FATEC/SP – Laboratório de Vidros e Datação/LVD. Trabalhos e Conferências Nacionais. Datação de Sedimentos de Dunas do litoral Paulista, pelos métodos de Termoluminescência (TL) e Luminescência Ópticamente estimulada (LOE). Disponível em: <<http://www.fatecsp.br/faculdade/laboratorios/lvidro>> Acesso em: dez. 2007.

WATSON, A. Discussion on variations in wind velocity and sand transport on the windward flanks of desert sand dunes. **Sedimentology** 34. p.511-516. 1988.

WILSON, I.G. Aeolian bedforms – their development and origins. **Sedimentology**. 7 (1): p.3-69. 1972.

WRIGHT, L. D. e SHORT, A. D. Morfodinamic variability of surf zones and **beachs**: a synthesis. **Marine Geology**, 56, 93-118p. 1984.

XAVIER-da-SILVA, J. A digital model of the environment, an effective approach to areal analysis. In: **Anais** do International Geographic Studies. Rio de Janeiro: UGI/UFRJ, p. 17-22. 1982.

_____. Geoprocessamento e análise ambiental. **Revista Brasileira de Geografia, IBGE**. Rio de Janeiro, 54 (3) p.47-61. 1992.

_____. Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.1.nº 1. p. 48-58.2000.

_____. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. do Autor, 2001. 228p.

_____. Geoprocessamento em estudos ambientais: uma perspectiva sistêmica. In: MEIRELLES, M.S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C.M. (Orgs.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 22-53. 2007.

XAVIER-da-SILVA, J.; SOUZA, M.J.L. **Análise ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ. 1988. 200p.

XAVIER-da-SILVA, J.; CARVALHO-FILHO, L.M. Sistemas de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. In: IV CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1993, **Anais...**, São Paulo: EDUSP. 1993. p.609-628.

XAVIER-da-SILVA, J.; ZAIDAN, R.T. **Geoprocessamento e Análise Ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 363p. 2004.

XAVIER-da-SILVA, J. et al. Geoprocessamento para análise ambiental. In: **Apostila do curso de Especialização em Geoprocessamento**. Rio de Janeiro: CEGEOP/UFRJ. Vol.4, 1999, p.1-31.

ANEXOS

ANEXO A – Tabela Terminology of basic dune types and eolian deposits

Form	Number of slipfaces	Name used in ground study of form, slipface, and internal structure	Block diagram figure numbers (Chapter A)	Name used in space-imagery and air-photo study of pattern and morphology (Chapters J, K)	Examples from Landsat imagery 0 16 MILES 0 25 KILOMETRES
Sheetlike with broad, flat surface	None	Sheet	None, flat surface	Sheet ¹	
Thin, elongate strip	None	Stringer	None, flat surface	Streak ¹	
Circular or elliptical mound	None ²	Dome	For detail see fig. 7	Dome-shaped	(³)
Crescent in plan view	1	Barchan	For detail see fig. 3	Crescentic Barchan	(³)
Row of connected crescents in plan view	1	Barchanoid ridge	For detail see fig. 4		
Asymmetrical ridge	1	Transverse ridge	For detail see fig. 5		
Circular rim of depression	1 or more	Blowout ⁴	For detail see fig. 8	Not recognized	(³)
"U" shape in plan view	1 or more	Parabolic ⁴	For detail see fig. 9	Parabolic	
Symmetrical ridge	2	Linear (seif)	For detail see fig. 10	Linear	
Asymmetrical ridge	2	Reversing	For detail see fig. 12	Reversing	
Central peak with 3 or more arms	3 or more	Star	For detail see fig. 11	Star	

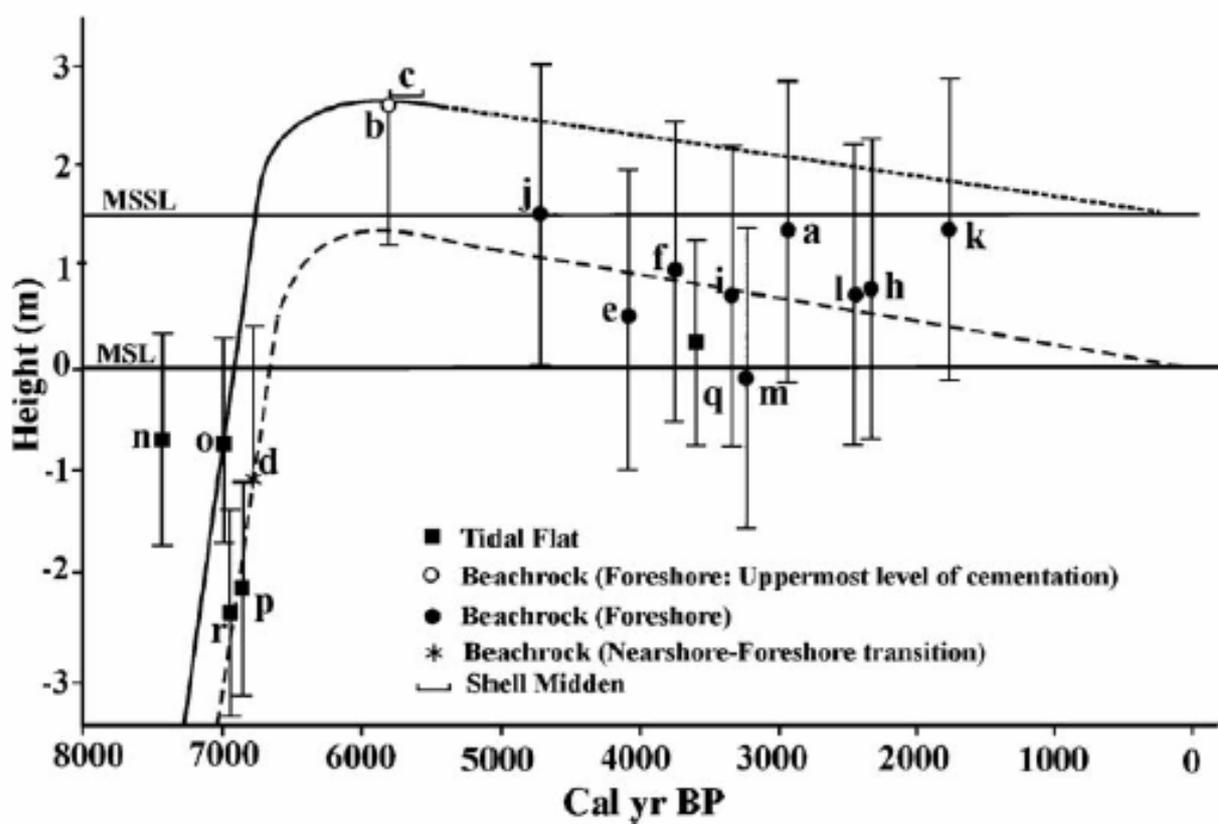
¹May include mounds and other features too small to appear on Landsat imagery.

²Internal structures may show embryo barchan-type with one slipface.

³Because of their small size, dome dunes, blowout dunes and individual barchan dunes are difficult to distinguish on Landsat imagery.

⁴Dunes controlled by vegetation.

ANEXO B – Holocene sea-level curve for the studied area. MSSL=modern maximum spring-tide sea-level, MSL= modern mean sea-level.



Fonte: Caldas et al., 2006.

S237L

Santos, Jorge Hamilton Souza dos.

Lençóis Maranhenses atuais e pretéritos: um tratamento espacial. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 2008.

248 f.: Il.

Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGG/IGEO, 2008.

Orientador: Jorge Xavier -da - Silva

1. Campos de dunas 2. Lençóis Maranhenses 3. Análise espacial 4. Dinâmica de dunas, Paleoambientes 5. Geoprocessamento.

I. Xavier da Silva, Jorge. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geografia. III. Título.

CDD 551.41