



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MAPEAMENTO DA ZONA COSTEIRA PROTEGIDA POR
ARENITOS DE PRAIA (*BEACHROCKS*)
EM NÍSIA FLORESTA - RN**

Autor:

ANTÔNIO VICENTE FERREIRA JÚNIOR

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo Farias do Amaral (DG/PPGG-UFRN)

Co-orientador:

Prof. Dr. Francisco Hilário Rego Bezerra (DG/PPGG-UFRN)

Natal – RN, agosto de 2005.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MAPEAMENTO DA ZONA COSTEIRA PROTEGIDA POR
ARENITOS DE PRAIA (*BEACHROCKS*)
EM NÍSIA FLORESTA - RN**

Autor:

ANTÔNIO VICENTE FERREIRA JÚNIOR

*Dissertação de Mestrado
apresentada em 29 de agosto de
2005, para obtenção do título
de Mestre em Geodinâmica
pelo Programa de Pós-
Graduação em Geodinâmica e
Geofísica da UFRN.*

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Farias do Amaral (DG/PPGG-UFRN)

Prof. Dr. Francisco Hilário Rego Bezerra (DG/PPGG-UFRN)

Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles (DG/UFC)

Natal – RN, agosto de 2005.

RESUMO

O enfoque deste trabalho é o mapeamento detalhado da zona costeira do litoral sul do Estado do Rio Grande do Norte, com ênfase nos corpos de arenitos de praia e nas feições do meio físico a eles associadas. O mapeamento dos arenitos de praia e das feições litorâneas adjacentes justifica-se, dentre outros aspectos, pelo fato de que os arenitos de praia constituem um importante agente de proteção contra a erosão marinha. Eles dissipam a energia das ondas e possibilitam o aprisionamento de sedimentos no estirâncio. Na área estudada, constituem-se de faixas descontínuas, paralelas à linha de costa, apresentando-se emersos em alguns locais, mesmo durante as marés mais altas, quando ficam totalmente submersos ou parcialmente soterrados por sedimentos litorâneos. Esses arenitos compõem a paisagem de boa parte do litoral estudado e são responsáveis pela dissipação parcial da energia das ondas sobre a costa. A metodologia utilizada no presente trabalho constou de diferentes técnicas, como o uso de fotografias aéreas de pequeno formato (FAPEFs), aquisição de dados de sistema de posicionamento global (GPS) e, posteriormente, elaboração de mapas temáticos e de modelos digitais de terreno (MDTs). Os resultados obtidos no mapeamento de uso e ocupação do solo, demonstram a existência de forte pressão humana na zona costeira (lotes edificadas e não edificadas), abrangendo cerca de 54,74% de áreas ocupadas. Essa pressão tem levado a riscos de degradação devido à expansão inconseqüente de loteamentos e empreendimentos turísticos. O MDT apresentou-se como um excelente recurso, tanto visual como funcional, sendo possível visualizar vários ângulos e representar em três dimensões o relevo da área em estudo, bem como identificar as feições presentes na zona costeira. Dada a importância dos corpos de arenito de praia como um agente de proteção contra a erosão costeira, foram delimitadas faces nos arenitos com base em critérios geométricos, classificando-os em, face central, face externa, face interna, quebras ou barretas e incisões basais (*undermiming*). Estes dois últimos estão associados à erosão e solapamento na base destes corpos. Dados de campo indicam claramente que o processo mais importante no

fraturamento dos corpos está associado a mecanismos relacionados à gravidade, sendo as juntas formadas por processos de deslizamento gravitacional. Finalmente, o mapeamento da zona costeira a partir de fotografias aéreas de pequeno formato permitiu a identificação dos elementos que compõem a faixa de praia, por realizar com maior nível de detalhamento e por apresentar um melhor monitoramento da dinâmica da zona costeira.

ABSTRACT

The goal of this work comprises the detailed mapping of the coastal zone of the south coast of the State of Rio Grande do Norte. The emphasis of the study is the units of beachrocks and the features of the physical environment associated. The mapping of the beachrocks and of the adjacent coastal features is justified, among other aspects, by the fact that the beachrocks constitute an important protection agent against the sea erosion. By one side, they dissipate the energy of the sea waves and make possible the imprisonment of sediments in the foreshore. The beachrocks in the studied area are constituted of discontinuous strips, parallel to the coast line presenting emerged in some places, even in the highest tides, entirely submerged or partially buried by coastal sediments. These sandstones compose the landscape of big part of the coast and they are responsible for the partial dissipation of the energy of the waves on the studied coast. The methodology used in this work consisted of different techniques were used, as the use of aerial pictures of small format (FAPEFs), acquisition of data of system of global positioning (GPS) and later elaboration of thematic maps and of digital models of soil (MDTs). The results obtained in the mapping of the use and occupation of the soil, demonstrate the existence of strong human pressure in the coastal area (built lots and no built), occupying about 54,74% of built areas. This problem has been taking to degradation risks due to the inconsequent expansion of divisions into lots and tourist enterprises. The MDT came as an excellent resource, as visual as functional, being possible to visualize several angles and to act in three dimensions the relief of the area in study, as well as to identify the present features in the coastal area. By the importance of the bodies of beachrocks as a protection agent against the coastal erosion, faces were delimited in the sandstones based in geometric criteria, classifying them in, central face, outside face, inside face, break and undermiming. These last two associates to the erosion and washout in the base of these bodies. Field data indicate clearly that the most important process in the fracturing of the bodies is associated with mechanisms related to the gravity, being the joints formed by

processes of gravitational sliding. Finally, the mapping of the coastal zone starting from aerial pictures of small format it made possible the identification of the elements that compose the beach strip, for accomplishing with larger detailed level and by presenting a better monitoring of the dynamics of the coastal zone.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, devo os meus mais sinceros agradecimentos aos professores Ricardo Farias do Amaral e Francisco Hilário Rego Bezerra, pelos momentos disponibilizados na orientação, por suas críticas, sugestões e paciência.

A Ewerton Sena e Filipe Augusto, pela ajuda na elaboração das figuras e no mapeamento de fraturas nos arenitos de praia.

A Kleiton Cassimiro, Oswaldo de Freitas, Fagner França, pelo apoio no levantamento de dados com o GPS Geodésico.

Agradeço ainda a Alfredo Grigio, Aduino Gomes, Ana Paula Pelosi, Ana Pauletti, Fernanda Lima, Luís Gustavo, Júlio Almeida, Maria da Guia, Marco Diodato, Paola Fracasso, Zuleide Maria e Vladimir Cruz, por terem, cada um a seu modo, contribuído para que meu trabalho fosse realizado com êxito.

Agradecimento especial à Nilda de Araújo Lima, Secretária do PPGG, pela competência prestada frente à Secretaria, sempre disposta a ajudar a todos sem distinção.

Finalmente, agradeço à CAPES e ao PPGG, pelo suporte financeiro e institucional que possibilitou a realização desta pesquisa.

ÍNDICE

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	v
1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Relevância do Tema.....	2
1.3 Localização da Área de Estudo.....	3
1.4 Aspectos Fisiográficos.....	3
1.4.1 Clima.....	3
1.4.2 Vegetação.....	5
1.4.3 Hidrografia.....	6
1.4.4 Solos.....	6
1.5 Aspectos Oceanográficos.....	7
1.6 Contexto Geológico.....	8
1.6.1 Contexto geológico regional.....	9
1.7 Contexto Geomorfológico.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Arenitos de Praia.....	16
2.1.1 Origem e ambiente de formação dos arenitos de praia.....	17
2.1.2 Arenitos de praia como indicadores da variação do nível do mar.....	19
2.1.3 Arenitos de praia no litoral oriental do Rio Grande do Norte.....	24
2.2 Utilização de Geoprocessamento.....	27
2.2.1 Modelo digital de terreno.....	28
2.2.2 Aquisição de dados.....	29
2.2.3 Modelagem.....	30
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	31
3.1 Etapa Preliminar.....	31
3.2 Trabalho de Campo.....	33
3.2.1 Caracterização da zona de praia.....	33
3.2.2 Caracterização dos arenitos de praia.....	36
3.3 Trabalho de Gabinete.....	37
3.4 Etapa Final.....	38

4 MORFOLOGIA DOS ARENITOS DE PRAIA E FEIÇÕES ADJACENTES	39
4.1 Introdução	39
4.2 Mapas temáticos	40
4.2.1 Uso e ocupação do solo.....	40
4.2.2 Geologia e geomorfologia.....	46
4.3 Mapa de Contorno do Relevo	52
4.4 Perfis de Terreno	52
4.5 Modelo Digital de Terreno	57
4.6 Volume de Inundação	62
5 ANÁLISE DOS ARENITOS DE PRAIA	65
5.1 Arenitos de Praia de Barreta e Camurupim	65
5.2 Feições Superficiais dos Arenitos de Praia	69
5.3 Faces Longitudinais do Corpo de Arenito	73
5.4 Padrão de Fraturamento	76
5.5 Evidências Paleontológicas	82
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização da área de estudo.....	1
Figura 1.2 - Localização da Bacia Paraíba e suas subdivisões (modificado de Mabeoone e Alheiros, 1988 e Lima Filho, 1998)	9
Figura 1.3 - Mapa geológico simplificado do litoral sul do Rio Grande do Norte (Modificado de Bezerra <i>et al.</i> , 2001).....	10
Figura 1.4 - Mapa geomorfológico simplificado do litoral sul do Rio Grande do Norte. (modificado de Amaral, 2000).....	14
Figura 2.1 – Curva relativa do nível médio do mar construída por Angulo e Lessa (1997). Esta curva foi elaborada apenas com datações de vermitídios.....	21
Figura 2.2 – Curva do nível do mar (área cinzenta) para o litoral do Rio Grande do Norte (modificado de Bezerra <i>et al.</i> 2003)	22
Figura 2.3 – Sobreposição da curva do nível do mar elaborado por Bezerra <i>et al.</i> (2003), com a (A) curva relativa do nível do mar para a costa central do Brasil de Bittencourt <i>et al.</i> (1979) e de Suguio <i>et al.</i> (1985) e (B) com à predição glácio-isostática de Peltier (1998).....	23
Figura 2.4 - Mapa do arenito de praia no município de Natal, realizado por Branner (1904).....	25
Figura 3.1 - Fluxograma da metodologia de trabalho proposta para todas as etapas desta pesquisa.....	32
Figura 3.2 - Posição dos pontos na área de trabalho (estação 1 a 3), adquiridos com uso do GPS Geodésico.	34
Figura 3.3 - Posição dos pontos na área de trabalho (estação 4 a 6), adquiridos com uso do GPS Geodésico.....	34
Figura 3.4 - Posição dos pontos na área de trabalho (estação 7 a 9), adquiridos com uso do GPS Geodésico.....	34
Figura 3.5 - GPS geodésico de receptor com base estática, localizado no município de São José de Mipibú.	35
Figura 3.6 - A: GPS geodésico de receptor com base móvel, coletando pontos sobre a duna. B: Levantamento de linhas transversais ao corpo de arenito.	36
Figura 3.7 - Localização das medidas de fraturas no arenito de praia da estação 1, na praia de Barreta, à estação 9, na praia de Camurupim.	37

Figura 4.1 - Sistema de classificação utilizado para o mapeamento de uso e ocupação do solo.....	40
Figura 4.2 - Mapa de uso e ocupação do solo, setor 1.	43
Figura 4.3 - Mapa de uso e ocupação do solo, setor 2.	44
Figura 4.4 - Mapa de uso e ocupação do solo, setor 3.	45
Figura 4.5 - A: Retirada de areia da zona de estirâncio para fins de construção civil. B: Construção irregular à beira-mar com muro de concreto e enrocamento de pedras soltas.....	46
Figura 4.6 - Sistema de classificação utilizado para o mapeamento geológico e geomorfológico.....	47
Figura 4.7 - Mapa de Geologia e Geomorfologia, setor 1.	49
Figura 4.8 - Mapa de Geologia e Geomorfologia, setor 2.....	50
Figura 4.9 - Mapa de Geologia e Geomorfologia, setor 3.	51
Figura 4.10 - A: Utilização de enrocamento de pedras para minimizar efeitos da erosão costeira. B: Erosão intensa sobre o berma praiial, em área com ruptura do arenito de praia e sob forte pressão pelo uso e ocupação antrópica.....	48
Figura 4.11 - Mapa de contorno do relevo da estação 1 a 3.....	53
Figura 4.12 - Mapa de contorno do relevo da estação 4 a 6.....	54
Figura 4.13 - Mapa de contorno do relevo da estação 7 a 9.....	55
Figura 4.14 - Perfis transversais nas praias de Barreta e Camurupim (ver localização dos perfis nas Figuras 4.9, 4.10 e 4.11).	56
Figura 4.15 - FAPEFs sobreposta ao MDT da estação 1 a 3, praia de Barreta.....	59
Figura 4.16 - FAPEFs sobreposta ao MDT da estação 4 a 6, praia de Camurupim.....	60
Figura 4.17 - Visualização 3D oblíqua da praia de Camurupim.....	60
Figura 4.18 - FAPEFs sobreposta ao MDT da praia de Camurupim entre as estação 7 a 9.....	61
Figura 4.19 - Visada longitudinal da praia de Camurupim.....	62
Figura 4.20 - A: Estrutura sedimentar conhecida como marca de ondas. B: Cúspide praiial ou <i>beach cusps</i>	63

- Figura 5.1** - Fotografia aérea oblíqua, evidenciando a disposição dos arenitos nas praias de Barreta e Camurupim.66
- Figura 5.2** - Fotografia aérea oblíqua da praia de Camurupim. No final do arenito há uma interrupção no corpo, o que possibilitou a formação de uma baía.....67
- Figura 5.3** - Seção colunar dos arenitos de praia. Perfis aa' e bb' apresentam a altura do arenito em relação à linha de costa da praia de Barreta e os perfis cc' e dd' da praia de Camurupim.....68
- Figura 5.4** - A: Observa-se uma estratificação cruzada de baixo ângulo disposta sobre a estratificação cruzada acanalada. B: Estratificação cruzada acanalada em planta.....69
- Figura 5.5** - A: Bacias de dissolução encontradas ao longo de todo o corpo de Barreta e Camurupim. B: Aspecto típico no arenito Camurupim, uma área positiva (cista elevada) acompanhada de uma área negativa (poça de terraço)70
- Figura 5.6** - A: Feições pontiagudas encontradas na superfície do arenito Barreta e interpretadas como pináculos. B: Superfície enrugada no arenito Camurupim.....71
- Figura 5.7** - Incisões basais ou *underminings* encontrados ao longo de toda a área estudada...72
- Figura 5.8** - Interpretação das fotografias aéreas com classificação das faces, delimitação dos *underminings* e localização das estações apresentadas na fig. 5.11 (modificado de Ferreira Júnior *et al.*, 2004 e Sena *et al.*, 2004).....74
- Figura 5.9** - Representação esquemática das fases evolutivas dos corpos de arenito de praia; nmm, nível médio do mar (modificado de Amaral, 2000).75
- Figura 5.10** - A: Separação do arenito nos dois *sets* principais, abertura de J_1 e o cisalhamento de J_2 . B: Fotografia aérea evidenciando três *sets* de juntas.....77
- Figura 5.11** - Mapa dos traços dos *sets* de juntas na superfície dos arenitos Camurupim e Barreta.....79
- Figura 5.12** - Diagrama de roseta de frequência das juntas. Cada 1 m nos traços das juntas medidas nas FAPEFs equivale a uma unidade de medida nos diagramas. TM = total de medidas; PM = número de medidas da pétala maior; PPM = percentual de medidas da pétala maior.....80
- Figura 5.13** - A: Modo I ou fratura extensional (J_1). O deslocamento relativo é perpendicular ao plano da junta. B: Modo III ou zona de cisalhamento (J_2). O deslocamento relativo é paralelo ao mergulho do plano.....78
- Figura 5.14** - A: Junta encontra-se parcialmente preenchida por um vermitídeo recente. B: Juntas preenchidas por duas gerações de vermitídeos.....81

Figura 5.15 - Vista em perfil de *Ophiomorpha nodosa* no arenito Barreta.....83

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Idades ^{14}C obtidas em conchas de arenitos praias. (1) Barreto *et al.* (2004). (2) Bezerra *et al.* (1988)24

Tabela 4.1 - Uso e ocupação do solo do setor 1.....42

Tabela 4.2 - Uso e ocupação do solo do setor 2.....42

Tabela 4.3 - Uso e ocupação do solo do setor 3.....42

Tabela 4.4 - Cálculo de volume de inundação nas áreas estudadas.....63

Tabela 5.1 - Sumário da orientação e geometria dos sets de juntas.....78

CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

A zona costeira brasileira possui uma extensão aproximada de 8,5 mil km, sendo uma área ocupada desde o período da colonização e de acordo com dados do IBGE, concentra cerca de 22% população brasileira. De um modo geral, as áreas costeiras estão passando por um processo de degradação que compromete a qualidade estética e ambiental desses sistemas, que estão sujeitos a modificações constantes de ordem natural, como a mobilização de grandes quantidades de areias e a elevação gradual do nível do mar.

As áreas costeiras possuem vários ecossistemas de alta relevância ambiental, como praias, mangues, restingas, dunas, lagoas, estuários e recifes de corais. No entanto, o processo atual de ocupação desordenada vem colocando em risco esses ambientes.

Em função desta problemática, a gestão e o uso adequado da zona costeira devem ser guiados por um conjunto de ações que envolvam o conhecimento dos agentes e processos que atuam na dinâmica destas regiões, servindo como subsídio para a minimização e saneamento dos danos provocados às mesmas. Nesse sentido, o mapeamento da zona costeira é de extrema relevância para o conhecimento do uso e ocupação do solo.

O enfoque desse trabalho é o mapeamento detalhado da zona costeira do litoral sul do Estado do Rio Grande do Norte, com ênfase nos corpos de arenitos de praia e nas feições do meio físico a eles associadas.

O estudo dos arenitos de praia é uma ferramenta eficaz na compreensão da atual morfologia costeira e possibilita a interpretação de paleoambientes. Outra justificativa para seu estudo é a disposição dos arenitos de praia na linha de costa, geralmente retilíneos e servindo como um sistema de proteção natural à costa.

1.2 Relevância do Tema

No litoral do Nordeste do Brasil, os arenitos de praia ou *beachrocks* são registros significativos da sedimentação holocênica. A esse respeito, já em 1904, Branner publicou um dos primeiros trabalhos referentes aos *beachrocks* do Nordeste, sendo considerado um marco nos estudos mais detalhados desses corpos. Segundo este autor, “não existe fenômeno mais notável na costa nordestina do que os recifes rochosos”.

Outros autores que deram uma contribuição ao estudo de arenitos de praia no Nordeste foram Mabesoone (1964), Morais (1967), Bigarella, (1975), Coutinho e Farias (1979), Assis *et al.* (1990), entre outros.

No litoral do Rio Grande do Norte, Oliveira *et al.* (1990) fizeram uma descrição e caracterização detalhada dos arenitos de praia. Dentre outros autores, Amaral e Mendonça (1997) mapearam no litoral do Rio Grande do Norte, as feições do relevo continental adjacente, associando-as aos processos de erosão costeira, além de problemas relativos ao uso e ocupação do solo. Amaral e Bezerra (1996) e Bezerra *et al.* (1998), por sua vez, apresentaram uma revisão dos dados geocronológicos, acrescida de novas datações e mapeamento geológico de detalhe, indicando informações mais precisas sobre a geometria, sistema deposicional e a idade desses corpos. Ademais, Amaral e Bezerra (2004) descreveram o processo de fraturamento e erosão dos arenitos de praia com o uso de fotografias aéreas de pequeno formato, sugerindo modelos de evolução atual dos corpos de arenito.

O mapeamento dos arenitos de praia e das feições litorâneas adjacentes justifica-se, dentre outros aspectos, pelo fato de que estes arenitos constituem um importante agente de proteção contra a erosão marinha, uma vez que eles dissipam a energia das ondas e possibilitam o aprisionamento de sedimentos no estirâncio.

Esta pesquisa visa contribuir na elaboração de um modelo evolutivo costeiro, a partir de observações presentes na estrutura e estratigrafia dos corpos de arenitos

de praia, podendo ser utilizada para auxiliar no monitoramento ambiental destas áreas.

1.3 Localização da Área de Estudo

A área objeto de estudo está incluída no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte e abrange o município de Nísia Floresta, possuindo os seguintes limites físicos: a leste, o Oceano Atlântico; a sul, a laguna de Guaraíras; a oeste, campos de dunas parabólicas e as falésias da Formação Barreiras; e, a norte, a Ponta de Tabatinga (Fig. 1.1).

1.4 Aspectos Fisiográficos

1.4.1 Clima

Segundo a classificação climática de W. Köppen, a região possui clima As', quente e úmido com chuvas de outono e inverno. A temperatura média anual do estado do Rio Grande do Norte está em torno de 26°C, com a pluviometria média de 1.455 mm por ano e a umidade relativa média anual se apresenta em torno de 76% (IDEC, 1991).

A área em estudo está situada no cruzamento direto de dois sistemas de circulação atmosférica. O sistema do sul, ao qual pertencem à Frente Polar Atlântica (fPa) e o sistema de leste, representado pela Massa Equatorial Atlântica (mEa) e alísios de sudeste. A Massa Equatorial Atlântica é constituída pelos alísios de sudeste provenientes do Atlântico. Nimer (1989) assegurou que a mEa é composta por duas correntes, uma inferior fresca e carregada de umidade oriunda da evaporação do oceano, e outra superior quente e seca, de direção idêntica, mas separadas por uma inversão de temperatura, a qual não permite o fluxo vertical do vapor, assim barrado, assegurando o bom tempo.

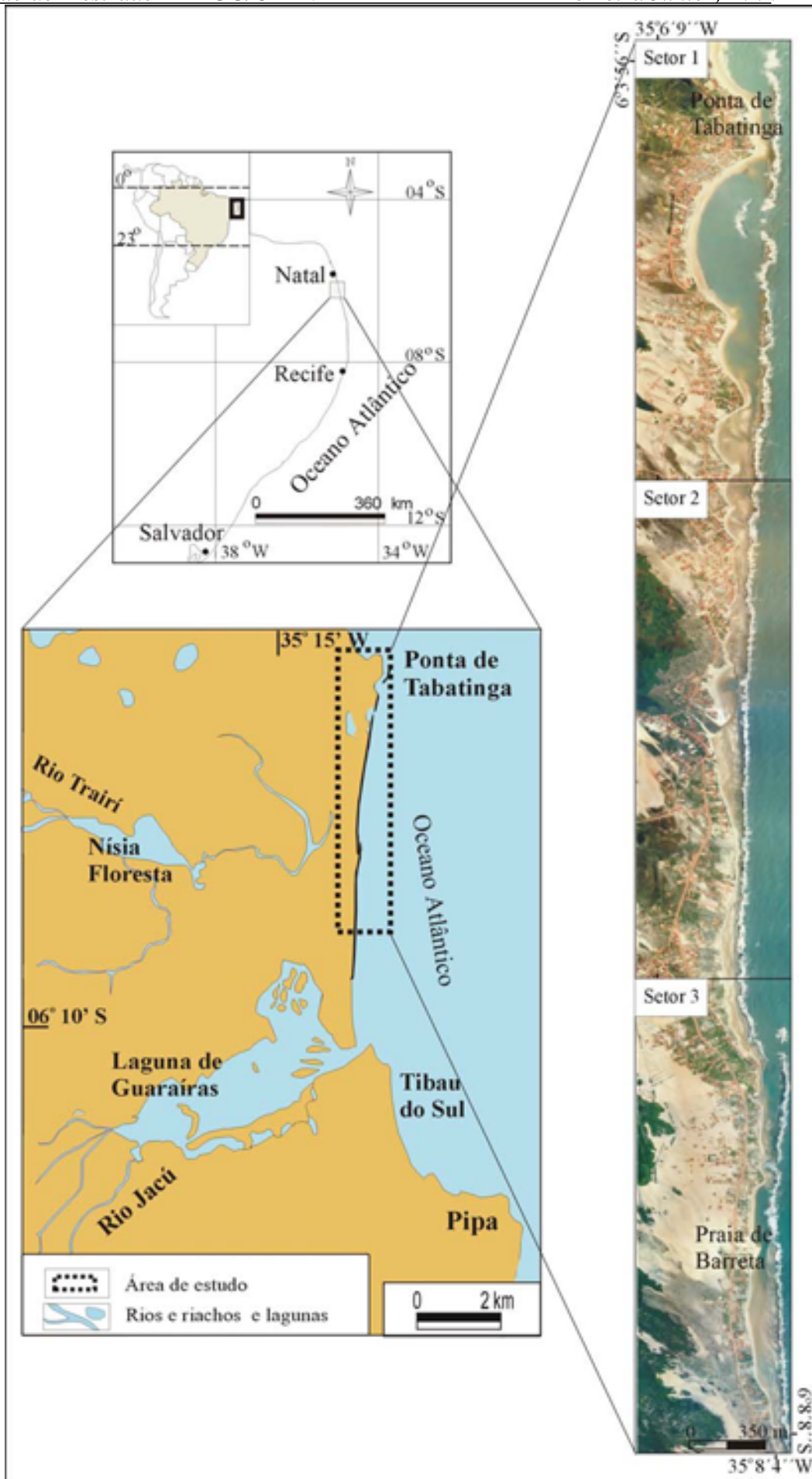


Figura 1.1 - Localização da área de estudo.

De acordo com dados fornecidos pela Estação Meteorológica do CATRE/DPV, localizada na cidade de Parnamirim (RN), a temperatura média do litoral leste do estado, entre os anos de 1971 a 2000, variou entre a mínima de 24,7° e a máxima de 27,4 °C e uma média anual de 26,3°C. Nestes 29 anos de dados de temperatura, as médias mensais mais baixas encontradas ocorreram durante os meses de junho a setembro (24,7° a 25,7 °C) e as mais altas durante os meses de dezembro a março (27,2° a 27,3 °C).

A precipitação pluviométrica do litoral oriental do Rio Grande do Norte, no período de 1971 a 2000, mostrou uma média de 1.466 mm, destacando-se a precipitação máxima de 2.658 mm, verificada no ano de 2000 e a mínima de 783 mm, ocorrida no ano de 1981 (CATRE/DPV).

1.4.2 Vegetação

A cobertura vegetal nativa do litoral oriental do Rio Grande do Norte é representada por cobertura de Mata Atlântica (mata de dunas litorâneas densas e mata ciliar, mata de dunas litorâneas ralas e abertas, mata subcaducifolia densa-rala de tabuleiros) e ecossistemas associados (manguezal e tabuleiro litorâneo) (IDEC, 1991).

A vegetação de dunas está associada às feições morfológicas existentes (dunas móveis e fixas). Nas praias e dunas móveis, as espécies predominantes são salsa-de-praia (*Ipomea pescaprae*), capim de areia (*Panicum racemosum*) e capim praturá (*Paspalum vaginatum*). Nas dunas fixas, as espécies que se destacam são a flor-de-seda (*Calotropis procera*), o pinhão branco (*Jatropha urens Muelli*) e a salsa roxa (*Ipomea pescaprae*). Estas são formações rasteiras que se apresentam de formas espaçadas em função do solo pobre em nutrientes e com altura aproximada de 30 cm.

No entorno de lagoas e nas dunas antigas a vegetação é representada por espécies de porte médio, destacando o jatobá (*Hymenaceea sp.*), imbaúba (*Cecropia*

sp.), pau-darco (*Caesalpinia sp.*), mangabeira (*Hancornia speciosa*), cajueiro (*Anacardium occidentale*), angelim (*Andira sp.*), coqueiro (*Cocos nucifera*), entre outras (IDEC, 1991).

1.4.3 Hidrografia

A hidrografia da área em estudo está inserida na Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso, engloba uma área de 187,7 km², de acordo com dados da Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte, tendo como principal curso d'água o riacho Boa Cica, que deságua na praia de Tabatinga.

1.4.4 Solos

De acordo com o novo sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999), a área é caracterizada por três tipos de solos: Argissolo vermelho - amarelo, Latossolo amarelo e Neossolos quartzarênico. Abaixo são apresentadas algumas das principais características de cada classe de solo encontrada na região.

Argissolos – Compreendem solos constituídos por minerais, que têm como características diferenciais argila de atividade baixa e horizonte B textural, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial. São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, com cores que variam entre amareladas e avermelhadas.

Latossolos – São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultados de enérgicas transformações no material constitutivo. Os solos são destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo. Variam de forte a bem drenados, e em geral, são muito profundos, com espessura raramente inferior a um metro e apresentam cores variando desde amarelas até vermelho- escuro-acinzentados.

Neossolos – Solos pouco evoluídos e em vias de formação, seja pela reduzida atuação dos processos pedogenéticos ou por características inerentes ao material orgânico. Compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 30 cm de espessura.

1.5 Aspectos Oceanográficos

Um dos principais agentes que atuam na dinâmica costeira são as ondas, marés e correntes. Ao longo da costa do Rio Grande do Norte, os ventos predominantes são do cinturão de ventos alísios. São ondas com direção E-SE, alturas médias entre 1 e 1,5 m e períodos de 5 a 7 segundos, em quase todo o ano.

Os dados fornecidos pela DHN (1993) apontaram as ondas de SE, com altura de 1,5 m e período de 6,5 seg. como as mais freqüentes, correspondendo a cerca de 45% do total, seguidas das ondas de E, com altura de 1,0 m, período de 5 seg. e freqüência de 42%, das ondas de S, com altura de 1,0 m, período de 5 seg. e freqüência de 8% e das ondas de NE, com altura de 1,0 m, período de 5 seg. e freqüência de 5%. As ondas de S são de pouca relevância para a costa oriental potiguar, face à sua linha de costa apresentar uma orientação geral N-S.

Registros de marés para a região abrangida no presente estudo são raros, limitando-se apenas à região de Natal e, ainda assim, restritos à área do estuário do rio Potengi. Estudos realizados pela HIDROCONSULT (1979), mostraram que o nível máximo variou de 2,85 a 2,95 m, com nível médio de 1,4 m e com um nível mínimo entre -0,05 e -0,25 m, identificando a maré local como do tipo mesomaré de regime semidiurno, com periodicidade em torno de 12:42 horas.

As correntes costeiras podem ser estimadas indiretamente, a partir do conhecimento da direção dos ventos superficiais e da observação da orientação geral e dos indicadores geomórficos na linha de costa. Desta forma, é previsível uma orientação geral da corrente longitudinal no sentido de Sul para Norte, no litoral oriental do Rio Grande do Norte.

1.6 Contexto Geológico

A faixa costeira oriental do Rio Grande do Norte apresenta seqüência sedimentar acumulada na Bacia Paraíba. Esta bacia limita-se a norte pelo Alto de Touros com a Bacia Potiguar, a sul pelo Lineamento Pernambuco na Bacia Pernambuco (Fig. 1.2). O primeiro autor que descreveu de forma enfática as diferenças entre a Bacia Pernambuco/Paraíba foi Lima Filho (1999), com base em diferenças estratigráficas e estruturais. Para este autor, na bacia Pernambuco ocorre uma expressiva seção rifte, vulcanossedimentar, a qual não é observada ao norte, na Bacia Paraíba. Nesta última, ocorrem várias exposições de plataformas carbonáticas neocretáceas e paleógenas, principalmente entre Recife (PE) e João Pessoa (PB).

Em recente estudo publicado por Barbosa *et al.* (2003), sobre a Bacia Paraíba, os referidos autores limitaram a bacia até o Alto de Mamanguape (PB), onde são interrompidos o arenito Beberibe, a Formação Itamaracá e a seqüência carbonática, não ocorrendo uma continuidade de suas unidades a partir dessa região. O norte da Bacia Paraíba, que envolve a sub-bacia Canguaretama, faz parte de uma área de transição. Tendo maior afinidade com a sub-bacia Natal e com a Bacia Potiguar (Fig. 1.2).

A Bacia Paraíba encontra-se depositada sobre o embasamento pré-cambriano, constituído predominantemente por gnaisses, migmatitos, micaxistos e granitóides diversos. Internamente é composta por unidades sedimentares (rochas carbonáticas e areníticas) com idades que variam do Cretáceo ao Terciário, reconhecidas apenas em sub-superfícies, já que seus depósitos encontram-se recobertos por sucessões sedimentares mais jovens (Formação Barreiras e sedimentos quaternários).

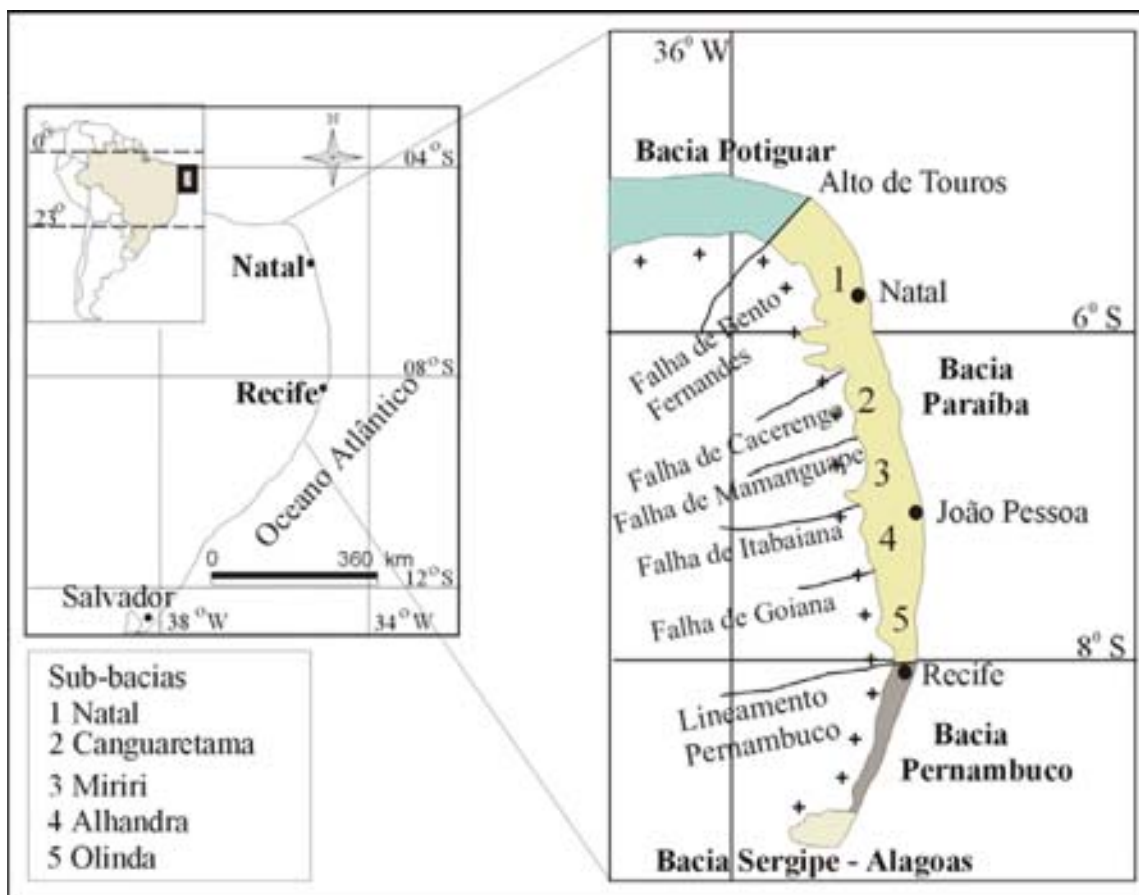


Figura 1.2 - Localização da Bacia Paraíba e suas subdivisões (modificado de Mabesoone e Alheiros, 1988 e Lima Filho, 1999).

1.6.1 Contexto geológico regional

Os depósitos sedimentares estudados no presente trabalho ocorrem sobre as rochas cretáceas e terciárias da sub-bacia Natal. Esta sub-bacia limita-se a norte com o Alto de Touros pela falha de Bento Fernandes, e ao sul com a sub-bacia de Canguaretama pela falha de Cacerengo (Fig 1.2).

A área mapeada é caracterizada por depósitos tércio-quartenários, representadas por rochas da Formação Barreiras, depósitos de sedimentos eólicos (paleodunas e dunas móveis), depósito de sedimentos aluvionares e lacustres, depósitos atuais de praia e arenitos praias (Fig. 1.3).

Formação Barreiras

O termo “Barreiras” foi denominado pela primeira vez por Branner (1902) que estudou o litoral brasileiro, classificando as rochas desta unidade como sedimentos clásticos, de textura diversa, variando de argilitos a conglomerados.

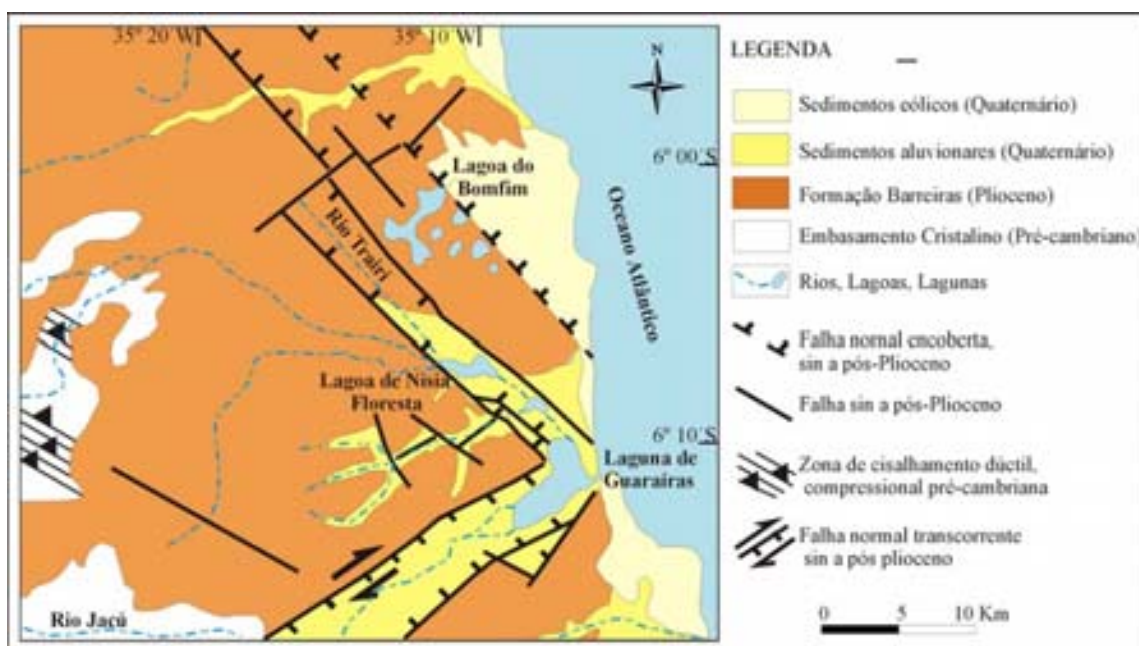


Figura 1.3 - Mapa geológico simplificado do litoral sul do Rio Grande do Norte (Modificado de Bezerra *et al.*, 2001).

Na região estudada no presente trabalho, a Formação Barreiras aflora por toda a extensão norte-sul da porção central da área mapeada, confinando-se a oeste pelos terrenos do embasamento pré-cambriano, sendo recoberto a leste pelos depósitos quaternários.

A Formação Barreiras é constituída, principalmente, por quartzo-arenitos a sub-arcóseos, de colorações variadas (creme, vermelho, laranja, roxo etc.), moderadamente selecionados, com aspecto maciço, ocasionalmente com níveis argilosos e silticos intercalados (Alheiros e Lima Filho, 1991).

Quanto à litologia, predominam rochas areno-argilosas, com intercalações de siltitos e conglomerados. Os argilitos por vezes se apresentam puros e em grandes extensões, podendo formar, nestes casos, depósitos economicamente viáveis de

caulim. A coloração pode variar de tons avermelhados a esbranquiçados, estando ou não intercalados. São de modo geral sedimentos pouco consolidados. No entanto, apresentam lentes de arenito fino a grosso, fortemente cimentados por óxido de ferro, observáveis principalmente ao longo das falésias e nos vales dos rios principais (Gomes *et al.* 1981). Estas zonas de arenito têm grande importância no desenvolvimento morfológico atual do litoral, como se verá mais adiante.

Depósitos Quaternários

Conforme mencionado anteriormente, além da Formação Barreiras, a área estudada é composta por diversos depósitos sedimentares quaternários (Fig. 1.3), incluindo depósitos de praia, eólicos, aluvionares, lacustres e arenitos de praia (*beachrocks*). Nos itens a seguir, apresentaremos uma breve descrição destas unidades sedimentares quaternárias.

Depósitos de sedimentos eólicos

Os depósitos eólicos quaternários incluem paleodunas e dunas móveis, que se desenvolveram pela interação de vários fatores, tais como: variação do nível do mar, mudanças climáticas e processos dinâmicos costeiros. As paleodunas são sedimentos eólicos atualmente fixados pela vegetação. Por outro lado, as dunas móveis são aquelas que, por serem destituídas de vegetação, estão sujeitas ao retrabalhamento eólico. Estes depósitos estão presentes em praticamente em toda a extensão do litoral potiguar, constituindo campos expressivos contínuos ao longo deste litoral.

Morfologicamente, as paleodunas formam cordões com direção NW/SE, que se estendem por mais de 10 km continente adentro. Estas dunas se apresentam arrasadas, podendo atingir cotas semelhantes às do topo da Formação Barreiras (Gomes *et al.* 1981).

As paleodunas são constituídas predominantemente por areias quartzosas, bem selecionadas e com grãos de granulometria média com cor creme alaranjada, enquanto as dunas móveis são compostas predominantemente por grãos de quartzo

subarredondados a subangulosos, de granulometria média a fina, apresentando uma coloração creme clara a esbranquiçada. Na área estudada, as dunas móveis localizam-se na porção leste e as paleodunas encontram-se confinadas entre a Formação Barreiras e dunas móveis recentes.

Barreto *et al.* (2004), estudando os depósitos eólicos do litoral do Rio Grande do Norte, dataram algumas dunas costeiras, utilizando o método da termoluminescência. Eles encontraram idades que formam seis intervalos principais: 390.000 – 326.000 anos; 270.000 – 240.000 anos; 210.000 – 150.000 anos; 63.000 – 24.000 anos; 11.000 – 9.000 e, 6.500 anos – até o presente. Segundo os autores, essas idades sugerem sua deposição tanto durante estágios glaciais como interglaciais, relacionados, respectivamente, a níveis relativos de mar baixo e alto.

Depósito de sedimentos aluvionares e lacustres

Estes depósitos encontram-se distribuídos em todo o litoral potiguar e estão associados aos sistemas fluviais e lacustres atuais. São encontrados nas desembocaduras dos rios que atingem o litoral e se compõem de sedimentos areno-argilosos, no geral constituídos por areias quartzosas, de coloração branco-acinzentada, cuja granulometria varia da fração areia fina à fração conglomerática.

Os principais rios que deságuam no litoral sul potiguar são os rios Trairi, Jacu, Curimataú e Guaju, responsáveis pelo desenvolvimento das faixas de sedimentos aluviais que, no geral, são depositadas sobre sedimentos preexistentes da Formação Barreiras. O sistema lacustre de Nísia Floresta destaca-se no litoral oriental por ser constituído por seis grandes lagoas de áreas quilométricas.

Depósitos atuais de praia

São depósitos modernos constituídos predominantemente por areias quartzosas, variando desde areia fina a grossa, cascalhos, conchas de moluscos, entre outros. Correspondem a uma zona de transição entre o ambiente aquático e o terrestre. Apresentam-se como uma faixa estreita e de forma retilínea e ocorrem

diretamente na linha de costa, podendo ser mais desenvolvidas em função da maior disponibilidade de sedimentos.

Estes depósitos de praia se desenvolvem em ambientes altamente dinâmicos que constantemente se ajustam às condições da energia de ondas geradas pelos ventos, das correntes litorâneas, das marés e de suas oscilações de longos períodos. Desta forma, a zona da praia tem uma importância fundamental na proteção da zona costeira, já que sofre uma ação direta da energia do oceano.

Arenitos de praia

Os arenitos de praia foram descritos pela primeira vez na região por Darwin (1841), que se referiu aos arenitos calcíferos com fragmentos de conchas e raros seixos, alinhados paralelamente à linha de costa. Contudo, foi Branner (1904) quem propôs que os arenitos de praia representariam antigas linhas de praia, consolidadas por carbonato de cálcio, conforme veremos mais adiante (Capítulo 2).

1.7 Contexto Geomorfológico

Os primeiros estudos detalhados sobre a geomorfologia regional do nordeste foram aqueles apresentados no Projeto RADAMBRASIL (Prates *et al.* 1981). Tendo como base a análise das feições geomorfológicas, dos traços gerais da evolução da área e seu posicionamento altimétrico relativo, Prates *et al.* (1981) identificaram sete grandes unidades geomorfológicas: (i) Tabuleiros Costeiros, (ii) Depressão Sertaneja, (iii) Chapada do Araripe, (iv) Planalto Sertanejo, (v) Planalto do Ibiapaba, (vi) Planaltos Residuais e (vii) Planalto da Borborema.

Dentre essas unidades geomorfológicas, no Rio Grande do Norte destaca-se o Planalto da Borborema, no interior do estado, e os Tabuleiros Costeiros, que se estendem por toda sua faixa litorânea.

Na área de estudo, o relevo da faixa sedimentar costeira pode ser dividido nas seguintes unidades morfológicas: (i) os Tabuleiros Costeiros; (ii) as dunas, que recobrem os tabuleiros; (iii) os vales fluviais; e (iv) a zona de praia (Fig. 1.4).

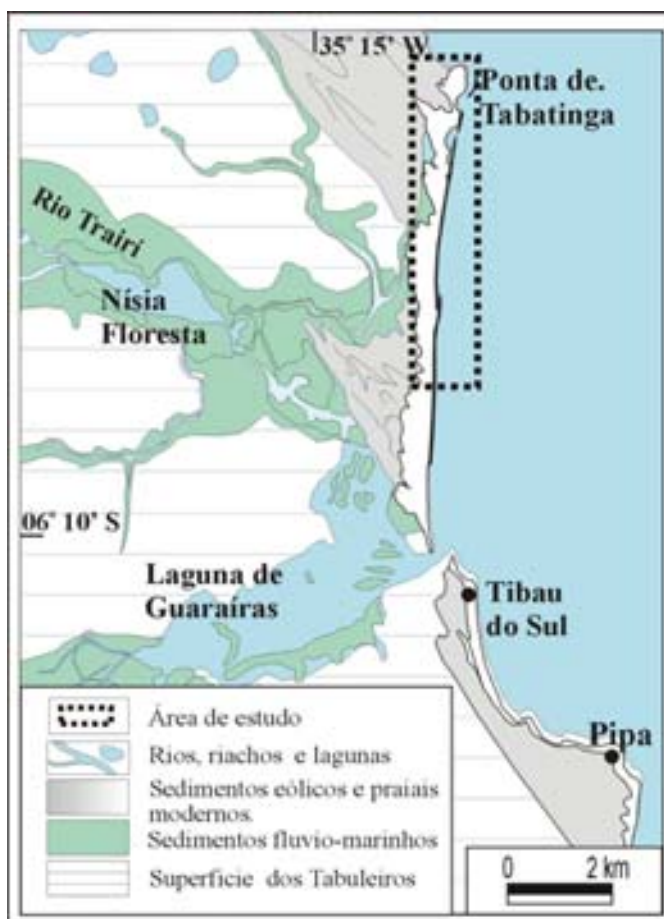


Figura 1.4 - Mapa geomorfológico simplificado do litoral sul do Rio Grande do Norte (modificado de Amaral, 2000).

Os Tabuleiros Costeiros são constituídos por uma superfície planar composta por rochas sedimentares em camadas subhorizontais, que, no Rio Grande do Norte encontra-se encaixada entre o relevo dissecado do Planalto da Borborema e as praias atuais. Essas rochas sedimentares são, em sua maioria, pertencentes à Formação Barreiras. Esta unidade geomorfológica prolonga-se em direção norte até a foz do Rio Açu e apresenta diferentes intensidades de dissecção. Da Ponta de Touros (RN) até o Rio Gramame (PB), as formas tabulares têm uma extensão média de 12 km e o entalhe de drenagem é significativo. O contato entre os tabuleiros e a Depressão

Sertaneja apresenta um desnível importante nessa região. A partir do Rio Curimataú, este contato é assinalado por ressaltos topográficos voltados para oeste e entalhes mais pronunciados (Prates *et al.* 1981).

As dunas estão presentes ao longo de todo o litoral estudado. Na zona de praia, ocorrem dunas primárias não vegetadas atuais. Ao passo que, no continente, destacam-se duas formações. Primeiramente, dunas parabólicas não vegetadas e, em seguida, dunas parabólicas vegetadas. Ambas desenvolvem-se sobre a superfície dos Tabuleiros Costeiros.

De sul para norte, as áreas baixas são formadas pelos vales dos rios Curimataú, Jacu e Trairi, e pela planície costeira. A rede de drenagem principal apresenta-se aproximadamente paralela, cuja dissecação desenvolve feição geomorfológica na região em mesetas, que são superfícies planas e horizontais. Em virtude da dinâmica fluvial, os vales são largos e profundos, com fundos chatos e vertentes com declividades elevadas.

A drenagem apresenta um padrão paralelo e sua densidade varia na direção norte-sul, apresentando-se mais concentrada no extremo meridional. Os rios principais podem apresentar planícies aluviais com até 4 km de largura e 15 km de extensão. Sobre a Superfície dos Tabuleiros, alguns cursos de água foram barrados por areias, dando origem às lagoas, como a de Bonfim (Prates *et al.* 1981).

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os caminhos percorridos na busca de respostas para indagações básicas sobre os arenitos de praia. Neste sentido, serão discutidos a sua origem e o ambiente de formação e como eles se inserem enquanto indicadores de variação do nível do mar. No segundo momento, é proposta uma discussão a respeito da ferramenta norteadora deste trabalho, ou seja, o uso de geoprocessamento que permitiu a viabilização desta pesquisa.

2.1 Arenitos de Praia

Os arenitos de praia ou *beachrocks* são sedimentos litificados na zona intermaré e cimentados por carbonato de cálcio. Estão dispostos paralelamente à linha de costa e apresentam uma forma alongada e estreita. De acordo com Russel (1962), a ocorrência desses corpos está restrita às regiões tropicais e subtropicais ou ao cinturão quente entre as latitudes de 35° N e 35° S.

Os primeiros estudos sobre os arenitos de praia foram promovidos por Darwin (1841) e Branner (1904). Posteriormente, surgiram diversos trabalhos que se dedicaram ao estudo dos arenitos de praia no Nordeste brasileiro, com destaque para os trabalhos de Andrade (1955), Van Andel e Laborel (1964), Mabessone (1964), Morais (1967), Ferreira (1969), Bigarela (1975), Coutinho e Farias (1979), Assis *et al.* (1990), Oliveira *et al.* (1990), Caldas (1996), Bezerra *et al.* (1998), Amaral (2000), Chaves (2000), Diniz (2002), entre outros.

Diversos autores (*e.g.* Ginsburg, 1953; Mabessone, 1964; Alexanderson, 1972; Davies e Kinsey, 1973; Beier, 1985; El-Sayed, 1988; Strasser *et al.* 1988; Ginshler e Lomando, 1997; Jones *et al.* 1997) apontam que os arenitos são formados através de cimentação carbonática, sendo litificados na zona litorânea com um a dois metros de profundidade. Encontram-se dispostos paralelamente à linha de costa na forma de faixas longas e estreitas, separadas uma das outras por depressões, onde são depositadas areias ou lamas.

Branner (1904) foi o primeiro a fornecer descrições mais detalhadas sobre os arenitos de praia no litoral nordestino. As principais características encontradas por ele são as seguintes:

- O arenito de praia é composto principalmente por grãos de areia de quartzo, cimentados por carbonato de cálcio, que, durante a maré baixa, fica totalmente exposto. São corpos com largura de 5 m até uma centena de metros e comprimentos de poucos a vários quilômetros;

- Acompanham a costa nordestina, desde o norte do Ceará até Porto Seguro, na Bahia;

- Geralmente são retilíneos e quando se curvam, fazem-no suavemente;

- Quando os arenitos de praia ocorrem juntos com os recifes de coral, eles ficam sempre mais para o continente, em relação às formações recifais.

O termo arenito de praia vem sendo amplamente discutido por diversos autores, sendo traduzido diretamente do inglês *beach rock* ou *beachrock*. Bigarella (1975) criticou a terminologia, já que as estruturas sedimentares encontradas nestes corpos são características da antepraia e sugeriu o termo *reef sandstone* (arenito de recife). Dominguez *et al.* (1990), alegando que o termo recife, sob o ponto de vista sedimentológico, estaria associado a uma construção orgânica, propôs a denominação de “bancos de arenito” para estes corpos. Por último, Suguio (1992) sugeriu o termo “rocha praial ou “recife rochoso”. Neste trabalho, optou-se pelo uso do termo “arenito de praia”, por considerar que a denominação “banco” e “recife” tem uma conotação genética, e “rocha” pelo fato de que além dos arenitos cimentados por carbonato, são encontrados, ao longo de toda a costa nordestina, os arenitos cimentados por óxido de ferro, associados à Formação Barreiras, que também são “rochas de praia”.

2.1.1 Origem e ambiente de formação dos arenitos de praia

O cimento dos arenitos de praia tem sido estudado em várias partes do mundo. Como exemplos podem ser citados os trabalhos no sul da costa leste dos Estados Unidos (Ginsburg, 1953), Mar Mediterrâneo (Alexanderson, 1972),

Austrália (Davies e Kinsey, 1973), Bahamas (Beier, 1985), Egito (El-Sayed, 1988), Tunísia (Strasser *et al.*, 1988), Belize (Ginshler e Lomando, 1997), Nova Zelândia (Jones *et al.* 1997), entre outros.

O processo de cimentação, de acordo com Coutinho e Farias (1979), estaria relacionado à (i) percolação e litificação em profundidade, (ii) evaporação da água salgada e aquecimento na superfície, (iii) mistura de água doce e salgada e (iv) atividade metabólica por algas ou bactérias.

Mabesoone (1964) explicou a origem dos arenitos de praia, no Nordeste, seguindo o modelo de Russel (1962), segundo o qual, a litificação ocorreria a partir do contato das águas do lençol freático com as águas salgadas, dissolvendo o carbonato das areias e precipitando-o em forma de calcita. De acordo com este autor, os arenitos de praia são compostos, principalmente, por grãos de quartzo, com percentual variando de 20 a 80%, e fragmentos carbonáticos, como algas, moluscos, corais e equinodermatas. Esta composição é concordante com aquelas descritas por Assis *et al.* (1990) e Oliveira *et al.* (1990), tendo sido relatada também a presença de fragmentos de rochas cristalinas nos corpos de arenito do litoral da Bahia (Ferreira, 1969). Os arenitos mostram uma distribuição granulométrica irregular e um baixo grau de seleção, podendo variar de areia a seixos (Bigarella, 1975).

Com relação ao ambiente de formação, Branner (1904), Russel (1962), Mabessone (1964), Bigarella (1975), Muehe e Ignara (1984), sugeriram que os arenitos de praia se formam em um ambiente de zona inframaré superior, com profundidade máxima de 2 m e são posteriormente cimentados por carbonato de cálcio, sendo finalmente expostos pela remoção de areia na zona de praia.

De acordo com pesquisas realizadas por Coutinho e Farias (1979), a origem do cimento está relacionada à precipitação de carbonatos da água do mar com evaporação da água intersticial, por métodos físico-químicos ou por crescimento microbiológico que produz calcita magnésiana. Segundo Moore (1973), o cimento depende das características químicas e físicas das águas a partir das quais ele foi precipitado. A calcita é a forma de CaCO_3 normalmente precipitada a partir da água doce, enquanto que a aragonita é comumente

precipitada a partir de soluções de alto potencial iônico, como a água do mar (Illing *apud* Komar, 1976). Stoddart e Cann (1965) sugeriram dois estágios de cimentação: inicialmente precipitaria a aragonita e posteriormente a calcita preenchendo as cavidades.

Embora existam vários trabalhos sobre o assunto, ainda não há um consenso quanto ao processo de cimentação, se ligado exclusivamente à água do mar, sob influência de água doce subterrânea, com cimento originário da mistura de água doce e marinha, ou ainda se de ordem biogênica.

Apesar de não se conhecer exatamente se a origem dos arenitos é devida a um único fator ou a um conjunto de fatores, sabe-se que seu tempo de formação é extremamente rápido. Friedman (1998) comprovou que a cimentação num ambiente praial pode ocorrer no prazo extremamente curto. A experiência ocorreu nas Bahamas com uma lata de sardinha que, ao longo de um ano, já havia acumulado aproximadamente 383g de material carbonático oolítico cimentante.

Russel (1959) mostrou que os arenitos de praia podem se formar em apenas centenas de anos. Mabesoone (1964) também descreveu a formação atual destes arenitos na cidade de Recife. De fato, não é rara a ocorrência de objetos modernos completamente cimentados por cimento carbonático.

Após a sua litificação, os arenitos podem sofrer modificações na sua geometria, em função de cursos fluviais, lagos e lagoas, dunas, dentre outras alterações ocorridas nas últimas centenas de anos. Da mesma forma, ações antrópicas ocorridas em um intervalo de tempo ainda menor, como aterros, dragagens, retificação de canais fluviais dentre outras, pode acarretar na dinâmica dos processos físicos e químicos associados à formação dos corpos de arenito.

2.1.2 Arenitos de praia como indicadores da variação do nível do mar

De acordo com Suguio *et al.* (1985), as flutuações do nível relativo do mar resultam das variações reais do nível marinho (eustasia) e das modificações do nível dos continentes (tectônico e eustasia), além de causas influenciadas pelo

aquecimento global e alterações por especificidades locais, relacionadas às atividades humanas em zonas costeiras.

O aumento da temperatura das águas de superfície dos oceanos, a diminuição do gelo polar e o aprisionamento da radiação solar pela atmosfera têm sido apontados como causas principais da variação atual do nível do mar.

O nível do mar atual, segundo Martin *et al.* (1982), é algo que se pode medir e observar, tanto ao longo de praias como no meio dos oceanos, neste caso, graças à geodésia por satélite. De acordo com esses autores, os níveis marinhos pretéritos, devem ser reconstruídos a partir de indicações fornecidas pelas antigas linhas de costa. Para Suguio *et al.* (1985) é necessário um número suficientemente grande de antigas posições dos níveis relativos do mar, cobrindo um setor da costa, para poder estabelecer uma curva de variações para o setor no intervalo de tempo considerado.

Suguio *et al.* (1985) chegaram à conclusão de que grande parte do litoral brasileiro esteve submersa até cerca de 5.100 anos AP, incluindo duas rápidas oscilações, seguidas de emersão até os nossos dias. A transgressão no litoral brasileiro foi em média 5 m do nível relativo do mar atual. Essa fase transgressiva foi responsável pela atual situação das planícies costeiras holocênicas que ocorrem ao longo da margem continental brasileira.

Suguio *et al.* (1985, 1999) como base em dados de datações de conchas em sambaquis e em depósitos sedimentares, elaboraram curvas de variação para os últimos 7.000 anos. O litoral brasileiro foi dividido em vários setores, desde a cidade de Salvador (BA) até a região de Itajaí-Laguna (SC). De acordo com o referido autor, o nível relativo do mar teria alcançado o ponto máximo de 5 m há aproximadamente 5.100 anos AP. Além disso, teriam havido uma rápida oscilação do nível do mar de 2 a 3 m e durações de 400 a 500 anos, e com uma tendência de elevação do nível do mar em torno de 5 m, correspondendo às oscilações secundárias, após a transgressão marinha pós-glacial ocorrida há 5.110 anos AP.

O estudo realizado por Angulo e Lessa (1997) apresenta uma crítica às propostas de curvas de nível do mar para o Brasil, com ênfase na região de

Paranaguá (PR) e Cananéia (SP). De acordo com esses autores, as datações dos vermitídeos sugerem que o nível do mar máximo no fim da transgressão marinha pós-glacial era em torno de 3,5 m e não mais do que 4 m. Os autores mostram uma tendência consistente de descida do nível do mar após o máximo alcançado nos últimos 5.100 anos AP, mas sem nenhuma indicação de uma oscilação secundária (Fig. 2.1).

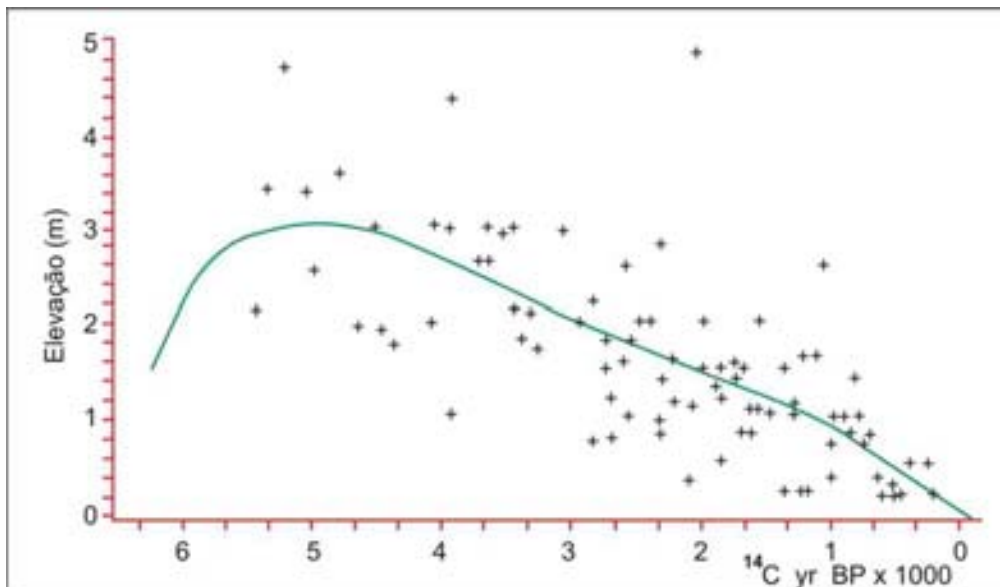


Figura 2.1 – Curva relativa do nível médio do mar construída por Angulo e Lessa (1997). Esta curva foi elaborada apenas com datações de vermitídeos.

Martin *et al.* (2003) questiona os dados de Angulo e Lessa (1997) que construíram uma curva do nível do mar baseada exclusivamente em dados de apenas um indicador (vermitídeos), considerando-os que um indicador fornece somente uma parte de informação sobre o sentido da variação, mas não uma posição exata do nível relativo do mar. Os autores utilizaram diferentes indicadores disponíveis para reconstruir a curva do nível do mar para diversos locais da costa brasileira: Rio do Fogo (RN), Salvador (BA), Ilhéus (BA), Caravelas (BA), Vitória (ES), Paraíba do Sul (RJ), entre outros, chegando a conclusão de que durante os últimos 7000 anos, a costa central brasileira esteve sujeita a uma fase de submersão que durou até 5.100 anos AP, seguidos por uma descida do nível do mar. Esta descida no nível de mar não era contínua, mas foi interrompida por duas oscilações de alta frequência.

Dentre os diversos indicadores utilizados na construção de curvas do nível do mar como os vermitídeos, conchas, fragmentos de madeira e sambaquis, os

arenitos de praia também são utilizados como excelentes indicadores da variação do nível do mar. Mabesoone e Rolim (1973), consideram os arenitos como evidências das fases de elevação do nível do mar, onde cada fase de subida menor constituía uma linha de arenito da praia e emersas por transgressões pliocênicas – pleistocênicas. Suguio (1999) analisa que o estudo detalhado da granulometria e das estruturas sedimentares primárias dessas rochas pode fornecer indicações sobre ambientes praias onde foram sedimentadas e, desta maneira, definir com precisão de cerca de 50 cm a posição do nível médio do mar por ocasião da sua deposição.

Bezerra *et al.* (2003) estabeleceram a história do nível do mar na costa do Rio Grande do Norte a partir de 48 datações pelo método de radiocarbono, usando o modelo relativo de mudança do nível médio do mar. As datações foram realizadas em amostras de conchas de moluscos, depósitos de turfas, recifes de coral, vermitídeos incrustados nos arenitos de praia e planícies de maré. A curva do nível do mar para essa região apresenta uma ascensão relativamente rápida, ficando entre 7.100 - 5.800 anos cal AP, mantendo-se estável até aproximadamente os 5.000 anos cal AP com elevação em torno de 2.5 - 4.0 m, o que ocasionou um recuo do litoral na região. O nível do mar caiu imediatamente e levantou-se outra vez sobre 2.100 – 1.100 anos cal AP, tendo por resultado um segundo recuo do litoral no holoceno (Fig. 2.2).

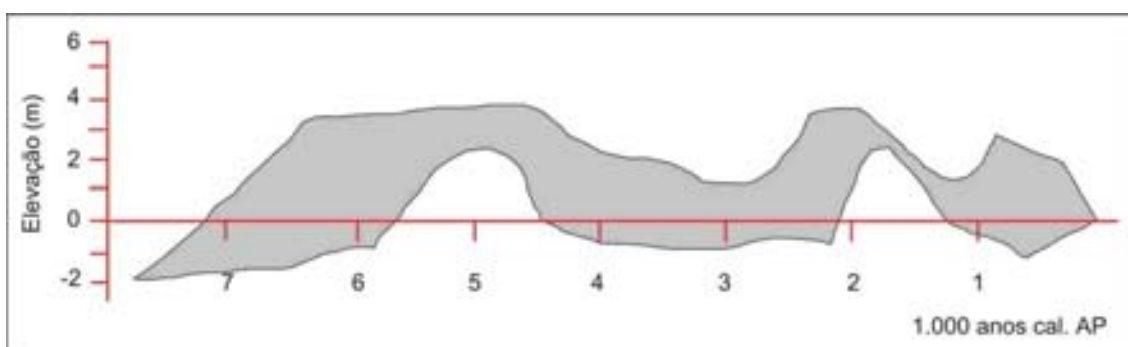


Figura 2.2 – Curva do nível do mar (área cinzenta) para o litoral do Rio Grande do Norte (modificado de Bezerra *et al.* 2003).

Com o propósito de comparar com curvas de nível médio do mar existentes, Bezerra *et al.* (2003) sobrepuseram a curva de envelope da área em estudo com a curva relativa do nível do mar para a costa central brasileira

segundo Bittencourt *et al.* (1979) e Suguio *et al.* (1985) e ainda com a predição glácio-isostática gerada pelo modelo global do nível do mar de Peltier (1998). Através da sobreposição, foi possível observar que há discrepâncias notáveis entre a curva para a costa central do Brasil e a curva do envelope para a área de estudo. Observa-se que a curva glácio-isostática de Peltier (1998) cai quase inteiramente dentro da curva do envelope para a área do estudo. Contudo, entre 2.100 anos cal AP a 1.100 anos cal AP ocorre uma queda na predição glácio-isostática de Peltier (1988), o que não é observado na curva para a costa do litoral do Rio Grande do Norte (Fig. 2.3).

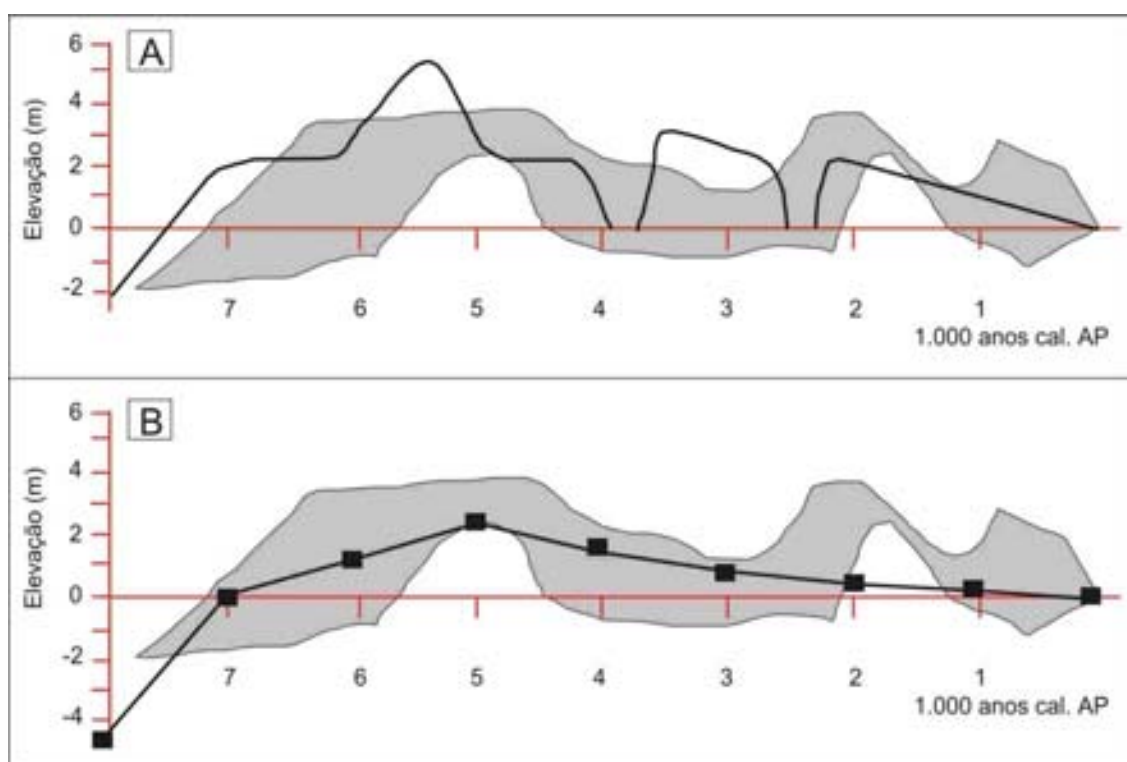


Figura 2.3 – Sobreposição da curva do nível do mar elaborado por Bezerra *et al.* (2003), com a (A) curva relativa do nível do mar para a costa central do Brasil de Bittencourt *et al.* (1979) e de Suguio *et al.* (1985) e (B) com à predição glácio-isostática de Peltier (1998).

Através da comparação entre a curva relativa do nível do mar para a costa central brasileira e a predição glácio-isostática, os autores concluíram que os eventos locais contribuíram com as mudanças do nível do mar. Fatores como tectonismo ou padrões de ondas e de ventos acabam dificultando a generalização para o registro do nível do mar. Desse modo, eles sugerem que as curvas do nível

do mar construídas para a costa brasileira possuem confiabilidade apenas a nível regional ou mesmo local.

Barreto *et al.* (2004) utilizam conchas em arenitos de praia como indicadores de variação do nível do mar no litoral do Rio Grande do Norte. Datações revelaram idades que variam do Holoceno médio até o presente. Os corpos mais extensos apresentam idades mais antigas, isto é, entre 5.600 – 7.400 anos cal AP e o outro grupo varia entre 4.380 – 5.310 anos cal AP. Os autores concluíram que a altura do paleonível marinho pode representar o momento de desaceleração da subida do nível relativo do mar.

Tabela 2.1 – Idades ^{14}C obtidas em conchas de arenitos praias. (1) Barreto *et al.* (2004). (2) Bezerra *et al.* (1998).

Amostra/ Fonte	Altura do Paleonível marinho (m)	Natureza da amostra (indicadores do nível do mar)	Idade ^{14}C (anos AP)	Idade calibrada (AP a 2σ)
C14-21 (1)	+2,1	Conchas em arenitos	3960 \pm 70	4140 – 3760
C14-22 (1)	+1,2	Conchas em arenitos	2950 \pm 70	2850 – 2550
C14-28 (1)	+0,6	Coral em arenitos	3250 \pm 70	3260 – 2860
PG (2)	+0,6	Conchas em arenitos	2700 \pm 80	2680 – 2190
MC1 (2)	+1,8	Conchas em arenitos	1600 \pm 40	1250 – 1060
GA (2)	+1,1	Conchas em arenitos	3550 \pm 100	3680 – 3210
C14-6 (1)	+0,8	Conchas em arenitos	5470 \pm 60	2950 – 5700
JC (2)	+0,5	Conchas em arenitos	4950 \pm 150	5600 – 4840
VC (2)	-0,7	Conchas em arenitos	6300 \pm 200	7240 – 6300
BR1 (2)	+2,2	Conchas em arenitos	4700 \pm 140	5310 – 4560
BR2 (2)	+1,8	Conchas em arenitos	4500 \pm 120	4970 – 4380
GR1 (2)	+0,2	Conchas em arenitos	5600 \pm 170	6340 – 5600
GR2 (2)	0,0	Conchas em arenitos	6550 \pm 210	7460 – 6550
GR3 (2)	+0,7	Conchas em arenitos	5950 \pm 170	6730 – 5980
CH2 (2)	+1,7	Conchas em arenitos	5400 \pm 170	6170 – 5440
CH1 (2)	+1,5	Conchas em arenitos	6550 \pm 210	7460 – 6550

2.1.3 Arenitos de praia no litoral oriental do Rio Grande do Norte

Um dos primeiros trabalhos detalhados sobre os arenitos de praia no litoral do Rio Grande do Norte foi realizado por Branner (1904) que estudou os corpos existentes em Natal, Pirangi, Barra de Cunhaú e Sibaúna (Fig. 2.2).

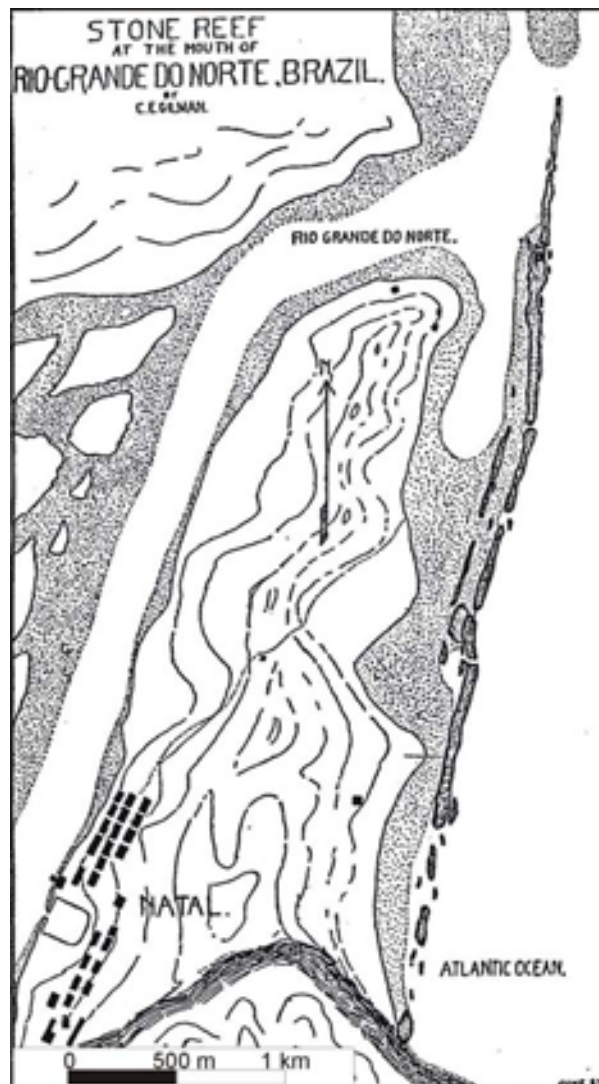


Figura 2.4 - Mapa do arenito de praia no município de Natal, realizado por Branner (1904).

Os arenitos do litoral do Rio Grande do Norte acompanham paralelamente a praia, apresentando-se em alguns locais de forma emersa, mesmo nas marés mais altas, totalmente submersos ou parcialmente soterrados por sedimentos litorâneos. Estes arenitos compõem a paisagem de boa parte do litoral e são responsáveis pela dissipação parcial da energia das ondas sobre a costa (Amaral, 2000).

Os corpos de arenito da área de trabalho têm uma geometria linear, com extensão máxima em torno dos 8 km, largura variando entre 10 e 60 m e espessura, na maioria das vezes, entre 0,5 e 3,5 m. Apresentam ainda uma superfície relativamente tabular com mergulho inferior a 10° , em direção ao oceano (Oliveira *et al.*, 1990; Amaral e Bezerra, 1996; Bezerra *et al.*, 1998).

Estudos petrográficos desenvolvidos por Oliveira *et al.* (1990), nesse litoral, mostraram que essas rochas são constituídas essencialmente por grãos que variam entre as frações areia fina a grossa, pobre a moderadamente selecionados, subangulosos a subarredondados. Texturalmente, são arenitos submaturos. Os grãos exibem contatos predominantemente flutuantes, pontuais e mais raramente tangenciais.

De acordo com os mesmos autores, os constituintes do arcabouço representam 80% da rocha e são compostos por grãos siliciclásticos (75%), bioclastos (5%). O quartzo é o componente detrítico principal (68%), contra 4% de fragmentos de rocha e 3% de feldspato e apresenta-se sob forma de grãos mono e policristalinos, sendo os últimos menos freqüentes. Suas bordas estão usualmente corroídas pelo cimento carbonático. Os bioclastos são de foraminíferos, fragmentos de algas, moluscos e valvas de ostracodes. Os fragmentos de rocha são derivados de arenitos finos e sílex. Os feldspatos são constituídos por grãos pouco alterados de microclínio e, mais raramente, de plagioclásio. Os minerais pesados encontrados foram turmalina, zircão, granada e opacos. O cimento carbonático representou cerca de 11% da rocha e ocorre em pelo menos três texturas diferentes. A textura mais abundante são as franjas de calcita magnésiana ou aragonita fibrosa (acicular), orientadas normalmente à superfície dos grãos do arcabouço.

Com base nas características sedimentológicas e comparações com as praias atuais, foram identificadas duas fácies distintas nos arenitos de praia do litoral oriental do Rio Grande do Norte (Bezerra *et al.*, 1998):

(i) Fácies “a”: Esta fácies é caracterizada por arenitos de granulometria média a grossa, às vezes conglomerática, tendo como componentes terrígenos principais o quartzo, a limonita e fragmentos de conchas marinhas e de rochas subjacentes, e como estrutura sedimentar mais comum a estratificação cruzada acanalada, com espessura variando normalmente entre 0,2m e 1,5m. Esta fácies possui deposição associada à zona compreendida entre a antepraia superior e à face da praia inferior;

(ii) Fácies “b”: É constituída predominantemente por arenitos de granulometria média a grossa, que se apresentam formando camadas tabulares com cerca de 0,1 a 1,0 m de espessura, com mineralogia representada principalmente por quartzo, minerais pesados (ilmenita, magnetita, zircão, turmalina, estauroлита e rutilo) e fragmentos de conchas marinhas. As estruturas sedimentares mais comuns são estratificações plano-paralelas em camadas tabulares com um suave mergulho para o mar, além de marcas onduladas. Esta fácies tem sua deposição associada à face da praia.

Com base nos estudos petrográficos, Oliveira *et al.* (1990) sugerem 5 seqüências de estágios diagenéticos, com base em seu provável ambiente de formação:

Estágio 1- Corresponde a uma cimentação na zona freática marinha, com geração do envelope micrítico ao redor dos grãos, seguida por uma franja isópaca de aragonita fibrosa. Estágio 2- Cimentação no ambiente freático de água doce, onde ocorre o neomorfismo da franja fibrosa, que se transforma em uma franja isópaca de calcita. Estágio 3- Onde a calcita criptocristalina (micrítica) se precipita no ambiente freático marinho, com a diminuição da porosidade primária. Estágio 4- Ocorre no ambiente freático de água doce. É característica a recristalização da calcita micrítica para calcita microesparítica, produzindo um mosaico. Os cristais aumentam de tamanho em direção aos poros. Estágio 5- Neste caso, a diagênese deu-se na zona mista e desenvolveu a porosidade secundária.

2.2 Utilização de Geoprocessamento

O termo geoprocessamento denota a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. De acordo com Silva (2001), geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre base de dados georreferenciados, para os transformar em informação relevante devendo, necessariamente, apoiar-se em

estruturas de percepção ambiental que proporcionem o máximo de eficiência nesta transformação.

As ferramentas computacionais do Geoprocessamento são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados. Segundo Burrough e Mcdonnell (1998), SIG é um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real para um objetivo específico.

Dentre as técnicas de Geoprocessamento empregadas neste trabalho, destacam-se a elaboração e o tratamento de MDTs e a obtenção de mapas temáticos a partir de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato (FAPEFs).

2.2.1 Modelo digital de terreno

Os modelos digitais de terreno (MDT) são modelos matemáticos que representam uma determinada superfície no mundo real. Para a representação destes modelos são necessárias coordenadas geográficas e a altitude dos pontos que em geral, são coletados no terreno. Os modelos permitem visualizar as imagens em projeção planar e em três dimensões; calcular volumes, áreas; realizar perfis e imagens sombreadas; gerar sobreposição de mapas; gerar mapas de declividade e drenagem (Burrough e Mcdonnell, 1998; Felgueiras, 2001).

O conceito do MDT é freqüentemente discutido pelo meio acadêmico, sendo que alguns autores empregam a terminologia Modelo Digital de Elevações (MDE). Esta terminologia se justifica por ser possível utilizar outros tipos de atributos como, por exemplo, um modelo em três dimensões que simule a precipitação pluviométrica de uma região. Neste trabalho, utilizamos o termo MDT por representar um modelo que caracteriza a superfície de um terreno.

No processo de modelagem digital do terreno, podem ser identificados três etapas distintas: aquisição de dados ou de amostras, geração do modelo ou modelagem e, por fim, a utilização do modelo ou aplicações. Estas etapas são definidas por Mitishita (1994) da seguinte forma:

- Aquisição de dados ou de amostras – obtenção de informações da superfície real que possibilite a caracterização matemática do modelo;
- Geração do modelo ou modelagem – elaboração de um modelo matemático composto por estruturas de dados e funções de interpolação que simulem o comportamento da superfície real;
- Utilização do modelo gerado – utilização do modelo em substituição à superfície real.

2.2.2 Aquisição de dados

As fontes mais comuns de amostras de modelos digitais de terrenos são: arquivos digitais importados de outros sistemas; bases topográficas com isolinhas e pontos cotados de máximo e mínimo e levantamentos em campo, transformados de alguma forma em informações digitais. Para dados de altimetria, por exemplo, podem-se realizar levantamentos com o auxílio do Sistema de Posicionamento Global – GPS (Felgueiras, 2001).

O sistema GPS consiste basicamente na transmissão de sinais eletrônicos que são decodificados por receptores especialmente projetados para determinar com precisão posições sobre a superfície da terra. O sistema GPS é formado por uma constelação de 24 satélites, de forma que em qualquer lugar do mundo e a qualquer momento existam pelo menos quatro satélites acima do plano horizontal do observador (Blitzkow, 1995).

O sistema desenvolvido originalmente para fins militares obteve um rápido crescimento em aplicabilidade e popularidade no uso em posicionamento e em navegação. O GPS tem sido amplamente usado em levantamentos geodésicos, topográficos e nos mais diversos usos de posicionamentos e navegação.

2.2.3 Modelagem

A modelagem envolve a criação de estrutura de dados e a definição de superfícies de ajuste para os elementos dessa estrutura. Os modelos podem ser locais ou globais. Os modelos globais são representados por uma função definida, utilizando-se todos os elementos do conjunto de amostras. Os modelos locais utilizam funções cujos coeficientes são definidos por elementos amostrais escolhidos dentro de uma região de interesse (Felgueiras, 2001).

Os modelos são divididos em dois tipos: grade regular e irregular. O modelo de grade triangular irregular (TIN) reproduz com maior exatidão elevações ao local vértices de triângulos, já a grade regular tem melhor visualização tridimensional e é mais indicada para realizar procedimentos e análises referentes ao MDT (Felgueiras, 2001).

Durante o tratamento dos dados, aplicaram-se alguns métodos de interpolação até encontrar um método que resultasse numa resposta mais eficaz e valores mais próximos do real. De acordo com Landim *et al.* (2002) interpolar é prever (ou estimar) o valor da variável em estudo num ponto não amostrado. Os métodos mais comuns de interpolação são: Vizinho mais Próximo, Vizinho Natural, Triangulação Linear, Triangulação de Delaunay, Polígonos de Voronei, Inverso da Potência da Distância, Mínima Curvatura, Regressão Polinomial, Krigagem e Máxima Entropia Bayesiana.

O interpolador utilizado neste trabalho foi o método de Krigagem, por apresentar a superfície mais contínua e suave. Landim (2000) afirmou que o método de Krigagem possui maior precisão geral e boa fidelidade aos dados originais, tendo como desvantagem em relação aos outros métodos a sua velocidade de computação.

Finalmente, temos a análise dos modelos digitais que, de acordo com Felgueiras (2001), pode ser qualitativa ou quantitativa e é importante para fins de simulações e tomadas de decisão no contexto de desenvolvimento e modelagens de geoprocessamento que utilizam SIGs.

CAPÍTULO III - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada nesse trabalho teve como finalidade o mapeamento da zona de praia e análise dos arenitos de praia da área em estudo. Foram utilizadas diferentes técnicas, como o uso de fotografias aéreas de pequeno formato (FAPEFs), aquisição de dados de sistema de posicionamento global (GPS), bem como elaboração de mapas temáticos e de modelos digitais de terreno (MDTs). Os procedimentos metodológicos apresentados compreendem: (i) uma etapa preliminar de pesquisa bibliográfica e levantamento cartográfico, (ii) etapas de campo, (iii) trabalhos de gabinete e (iv) etapa final. Para uma melhor visualização dos métodos adotados na presente pesquisa, foi elaborado um roteiro síntese que é apresentado na Figura 3.1.

3.1 Etapa Preliminar

A etapa preliminar foi constituída de pesquisas bibliográficas e cartográficas. O levantamento bibliográfico esteve sempre presente em todas as etapas da pesquisa com a finalidade de aprofundar a fundamentação teórica e acompanhar a produção recente do temas abordados. Sendo assim, a pesquisa baseou-se na leitura e compreensão de livros, teses, dissertações e periódicos nacionais e internacionais, bem como material cartográfico referente à área em estudo.

A carta-base utilizada no reconhecimento regional foi a Carta Topográfica da SUDENE, de São José de Mipibu, folha SB 25-Y-A-II, do ano de 1970, na escala de 1:100.000. Para o mapeamento em escala de detalhe, esse trabalho utilizou FAPEFs, na escala de 1:1.000 e 1:5.000, do ano de 1997, com resolução de 600 megapíxel.

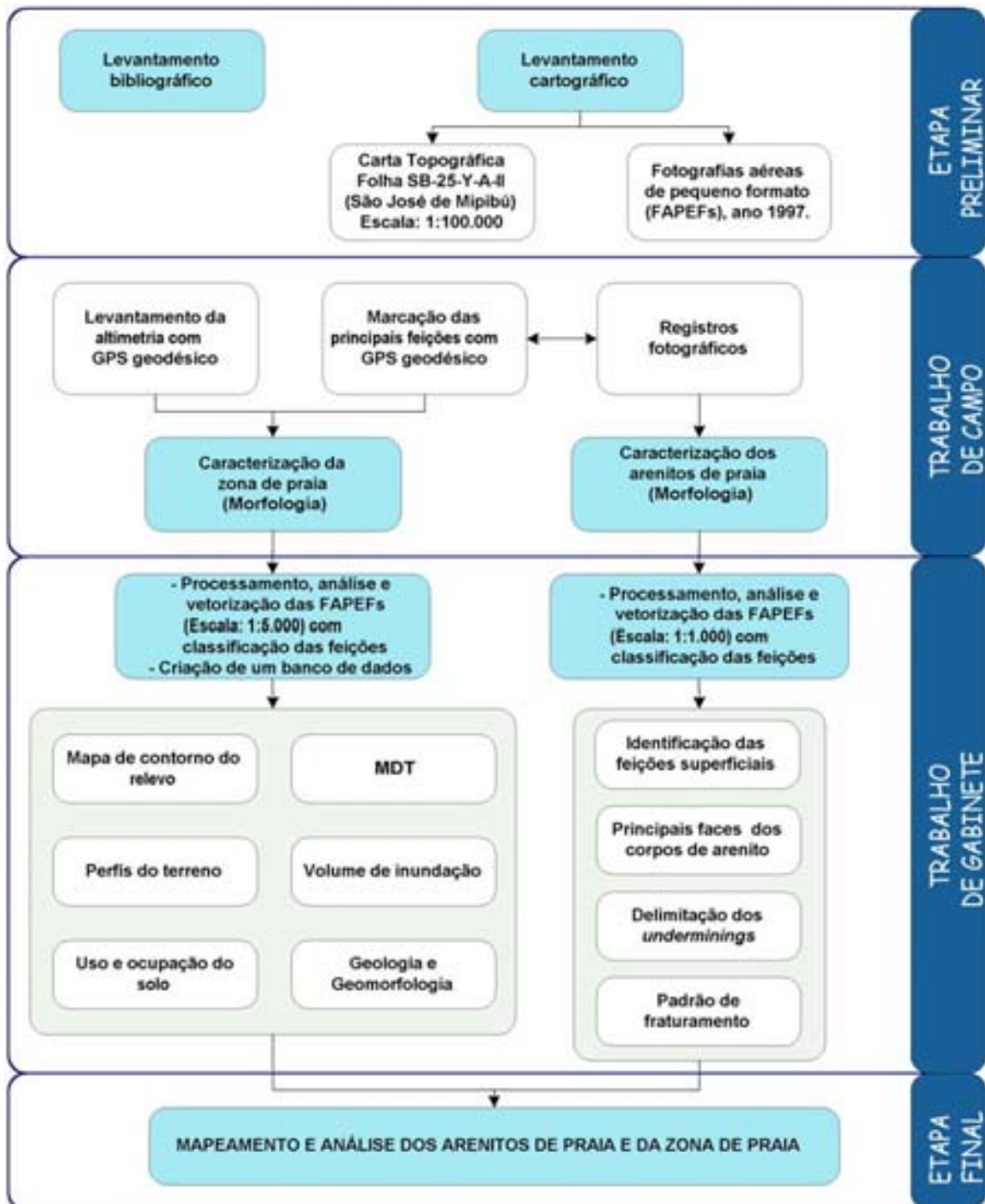


Figura 3.1 - Fluxograma da metodologia de trabalho proposta para todas as etapas desta pesquisa.

3.2 Trabalho de Campo

Esta parte do trabalho contou com várias etapas e com objetivos distintos, tendo como principal enfoque a caracterização da zona de praia da área em estudo e dos arenitos de praia. Na primeira etapa, foi realizado um reconhecimento preliminar das principais feições geomorfológicas e geológicas da área em estudo. A segunda etapa contou com a caracterização da zona de praia a partir do levantamento de dados altimétricos. A terceira etapa constituiu-se da caracterização dos arenitos de praia, com base em dados da geometria, fraturas e de feições superficiais encontrados ao longo do corpo. Os procedimentos adotados nestes levantamentos são descritos em maior detalhe nos itens a seguir.

3.2.1 Caracterização da zona de praia

Para o levantamento altimétrico da área de estudo, foram coletados dados do GPS Geodésico, modelo Promark2 da Asthech, que consiste em tripé padrão com altura fixa, antena externa, bastão e receptor GPS de 8 MB de memória e armazenamento de dados de até 400.000 pontos. A coleta dos dados contou com o levantamento de perfis transversais e paralelos à linha de costa, demarcando as principais feições da área de estudo. Nas três regiões delimitadas um total de 1889 pontos, coletados a cada cinco segundos.

Para aquisição dos pontos, foram tomadas por referência aspectos, tais como: áreas mais elevadas, planas e com maiores níveis de declividade. Neste caso, as dunas, a zona de estirâncio e o berma; também estruturas artificiais como estradas e muros (Figs. 3.2, 3.3 e 3.4).



Figura 3.2 - Posição dos pontos na área de trabalho (estação 1 a 3), adquiridos com uso do GPS Geodésico.

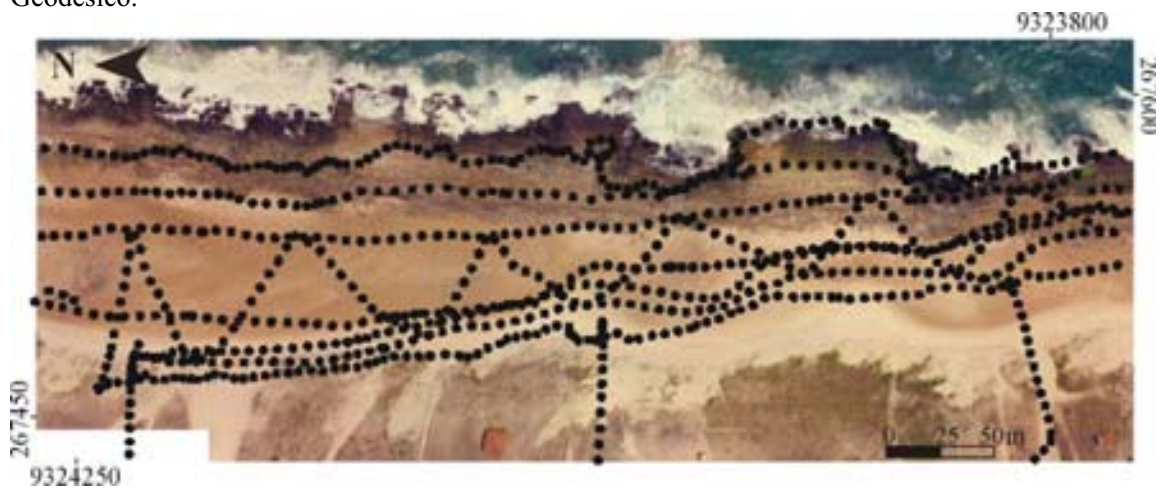


Figura 3.3 - Posição dos pontos na área de trabalho (estação 4 a 6), adquiridos com uso do GPS Geodésico.



Figura 3.4 - Posição dos pontos na área de trabalho (estação 7 a 9), adquiridos com uso do GPS Geodésico.

Inicialmente, instalou-se um receptor como base em um ponto de coordenadas e altimetria conhecida enquanto outro receptor realizava a coleta dos dados. O ponto utilizado como base fixa foi a Referência de Nível 452 L, localizado na praça Monsenhor Antônio Tavares, no município de São José de Mipibu, cujas coordenadas UTM são: E – 252348,34; N – 9327990,49, e altitude 59,87 m, tendo como sistema de referência o Datum – SAD 69.

A base permaneceu estática sobre este ponto durante todo o trabalho, enquanto um outro receptor, chamado de móvel, percorreu os pontos a serem coletados no modo cinemático, ou seja, a cada intervalo de tempo pré-estabelecido ele coleta os dados enviados pelos satélites sobre o ponto onde ele se encontra no momento. O intervalo determinado para este serviço (intervalo de gravação) foi de cinco segundos. Este receptor móvel está conectado à base, que permanece no modo estático através de um procedimento (*setup*) que é feito logo que se inicia o levantamento. Deste modo, os dados que são coletados pelo móvel são corrigidos pela base, que está há mais tempo recebendo sinal dos satélites em um ponto de coordenadas conhecidas. No gabinete, os dados coletados em campo são transmitidos a um computador via um cabo serial para o pós-processamento (Figs. 3.5 e 3.6).



Figura 3.5 - GPS geodésico de receptor com base estática, localizado no município de São José de Mipibu.



Figura 3.6 - A: GPS geodésico de receptor com base móvel, coletando pontos sobre a duna. B: Levantamento de linhas transversais ao corpo de arenito.

3.2.2 Caracterização dos arenitos de praia

A caracterização dos arenitos de praia foi obtida através de dados relacionados às feições superficiais que incluem a geometria, feições erosionais, delimitação dos *underminings* (incisões na base do arenito) e padrão de fraturamento. Baseada em metodologias adotadas por Branner (1904), Bezerra *et al.* (1998) e Amaral (2000), a geometria planar dos corpos foi analisada a partir de FAPEFs e dados de campo, que incluem medições e identificação de zonas que apresentam características distintas.

A classificação adotada nesta pesquisa referente às camadas superficiais dos arenitos de praia é baseada no trabalho de Miller e Mason (1994), que estudaram os corpos de arenitos da costa leste da África do Sul. A fim de caracterizar o padrão de fraturamento e erosão dos arenitos de praia, foram registrados dados referentes a orientações, mergulho, comprimento e abertura de fraturas nos corpos de arenito de Camurupim e Barreta (RN). As fraturas maiores que 25 cm de comprimento foram analisadas nas fotografias e no campo. Além disso, elaboraram-se mapas dos traços das juntas nas estações de estudo, bem como diagramas de rosetas que forneceram as principais direções de fraturamento. As medidas para o padrão de fraturamento foram realizadas em nove estações, como pode ser observado na Figura 3.7.



Figura 3.7 - Localização das medidas de fraturas no arenito de praia da estação 1, na praia de Barreta, à estação 9, na praia de Camurupim.

3.3 Trabalho de Gabinete

A etapa seguinte foi a interpretação de fotografias aéreas de pequeno formato (FAPEFs), em escala aproximada de 1:1.000 e 1:5.000, para obter informações detalhadas sobre os corpos de arenito de praia e sobre a zona de praia. Estas foram adquiridas em dezembro de 1997, durante a maré baixa de sizígia e com uma superposição longitudinal de 60%. Após a digitalização, as fotos foram montadas em mosaico, interpretadas e vetorizadas. O mosaico foi realizado por meio do programa Panavue e depois exportadas no formato JPEG. Por fim, utilizou-se o programa ArcView 3.2 para a vetorização das feições relevantes na área. Procurou-se retratar fielmente as feições desejadas, através de pontos, polígonos e linhas, conforme os procedimentos metodológicos apontados por Amaral (2000).

A interpretação das fotografias aéreas foi feita levando-se em conta, principalmente, elementos do sistema geológico e geomorfológico, além da consideração do sistema antrópico, o que possibilitou o mapeamento do uso e ocupação do solo.

As FAPEFs também foram utilizadas para gerar mapas dos traços das juntas nas estações de estudo, bem como diagramas de rosetas que forneceram as principais direções de fraturamento.

No que se refere à geração do Modelo Digital de Terreno (MDT), os dados

altimétricos coletados em campo foram “descarregados” no programa Ashtech Solutions e em seguida, exportados no formato TXT, para o programa Surfer 8. Neste programa foi feita a determinação de uma superfície através da interpolação dos dados altimétricos de cada ponto coletado. O método de interpolação utilizado foi o de triangulação, que é um interpolador com maior vantagem de fidelidade dos dados originais e rápida velocidade de processamento (Landim, 2000).

No presente trabalho, utilizou-se a forma de geração de grade regular para obtenção do MDT. Além de obter um modelo mais realista e possibilitar a utilização de técnicas que ampliam seus estudos, a grade regular permite aplicar análises geoestatísticas. Foram elaborados os mapas de pontos e, em seguida, gerou-se o mapa de contorno do relevo. A partir desse procedimento obteve-se a superfície tridimensional e, por fim, realizou-se a sobreposição do mosaico da fotografia aérea georreferenciada sobre a superfície em três dimensões. A partir do mapa de contorno do relevo geraram-se os perfis de terreno, que possibilitaram visualizar a posição do arenito de praia, em relação ao nível médio do mar.

3.4 Etapa Final

A etapa final compreende a integração e análise dos dados coletados e observações realizadas em campo, dos produtos cartográficos gerados e dos dados oriundos do banco de dados, culminando no mapeamento e análise dos arenitos de praia e da zona de praia da área em estudo.

CAPÍTULO IV – MORFOLOGIA DOS ARENITOS DE PRAIA E FEIÇÕES ADJACENTES

4.1 Introdução

Este capítulo aborda o mapeamento e análise detalhada da zona costeira do litoral sul do Estado do Rio Grande do Norte, entre a Ponta de Tabatinga e a Praia de Barreta, através dos mapas de uso e ocupação do solo, de geologia e geomorfologia, dos mapas de contorno de relevo, dos perfis do terreno e do modelo digital do terreno com base no uso de fotografias aéreas de pequeno formato (FAPEFs) e de técnicas de aquisição de dados de sistema de posicionamento global (GPS).

A análise da morfologia dos arenitos de praia e de feições adjacentes foi realizada com o uso de fotografias aéreas, validada com os dados de campo. Como já foi discutido anteriormente, é uma característica do litoral potiguar a presença de corpos de arenito de praia que acompanham a faixa costeira, desempenhando um importante papel na morfologia recente das praias. De acordo com Chaves (2000), o conhecimento de formação dos arenitos auxilia na avaliação da dinâmica costeira, já que a presença desses corpos modifica, de maneira significativa, a energia das ondas incidentes sobre a costa, influenciando sobre a distribuição dos sedimentos com as conseqüentes modificações na morfologia costeira, ou como estrutura dissipadora de energia.

A ocorrência dos arenitos de praia modifica a morfologia da zona costeira da área em estudo. Em primeiro lugar, a dissipação da energia das ondas e das correntes ocorrem principalmente na face externa dos arenitos, o que provoca o fraturamento das camadas mais finas ou menos cimentadas e posterior quebra (barreta¹) da continuidade do arenito. Assim, a descontinuidade do corpo de arenito favorece o aparecimento de reentrâncias na linha de praia. Em segundo lugar, a presença do corpo na zona de praia provoca o aprisionamento de sedimentos, o que pode possibilitar o crescimento da linha de praia em direção ao corpo e a redução da tendência de erosão costeira.

¹Barreta – denominação regional dada aos entalhes nos arenitos de praia que permitem a entrada e saída de águas das marés (Guerra, 1993).

4.2 Mapas Temáticos

4.2.1 Uso e ocupação do solo

O mapeamento com o uso de fotografias aéreas de pequeno formato possibilitou um reconhecimento detalhado dos principais elementos que compõem a zona costeira considerada. Os elementos considerados neste sistema podem ser visualizados na Figura 4.1.



Figura 4.1 – Sistema de classificação utilizado para o mapeamento de uso e ocupação do solo.

As classes obtidas no mapeamento foram: (i) vias de circulação (estrada com pavimento e estrada sem pavimento); (ii) áreas ocupadas (lote edificado e lote não edificado); (iii) corpos d'água (lagoas, riacho e oceano); (iv) cobertura vegetal (vegetação arbórea/arbustiva, vegetação rasteira e cultivo de cocos) e (v) área de lazer (ambiente praial e arenito de praia) - Figs. 4.2, 4.3 e 4.4.

A seguir é apresentada a descrição de cada classe mapeada.

- Estrada pavimentada: a construção da RN-063 que corta a área em estudo no sentido norte-sul veio facilitar o fluxo de turistas e a construção de casas de veraneio ao longo da rodovia estadual.
- Estrada sem pavimento: são estradas e caminhos que ligam as residências e lotes à RN-063.
- Lote edificado: são lotes de formato regular que se encontram edificados com residências de médio padrão construtivo, observados nas fotografias com tonalidade escura. Observou-se em campo que a construção dos lotes enfrenta graves problemas de saneamento, visto que ocupam áreas na planície sujeitas à inundação.

- Lote não edificado: lotes já delimitados que aguardam benfeitorias. Nas fotografias são identificados por tonalidades esbranquiçadas.
- Lagoas: possuem formatos irregulares de tonalidade escura e textura homogênea.
- Riacho: é o único curso d'água que ocorre na área em estudo, conhecido como Riacho Boa Cica e possui uma extensão aproximada de 460 m.
- Vegetação arbórea/arbustiva: ocorre no entorno de lagoas e sobre dunas antigas. Nas fotografias, apresentam textura média, um pouco rugosa e indivíduos que se sobressaem no dossel. Estas formações apresentam coloração verde-escuro.
- Vegetação rasteira: ocorre em dunas fixas e móveis, com altura aproximada de 30 cm. A textura fotográfica é fina e mais clara do que a vegetação anterior.
- Cultivo de cocos: é caracterizado nas fotografias, pelo formato geométrico e de aspecto mais esparso.
- Ambiente praial: material arenoso atual que ocorre em uma faixa ao longo da orla litorânea, com aspecto claro na fotografia.

A área calculada para os três setores foi de (i) 121,2 ha para o setor 1, praia de Camurupim, (ii) 172,8 ha para o setor 2, norte da praia de Barreta e (iii) 139,63 ha para o setor 3, sul da praia de Barreta (Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3).

Os resultados do mapeamento do setor 1 mostram uma intensa presença de lotes não edificados e edificados, que somam, respectivamente 37,93 ha e 31,63 ha, equivalendo a 57,38 % da área total. Isto representa um forte índice de ocupação urbana, sendo sucedida de cobertura vegetal, com 16,23 %; zona de praia; com 11,39 %; vias de circulação, com 6,9 %; arenito de praia, com 5,42%; e lagoa com 1,96 %.

Os resultados obtidos para o setor 2 também apresentam um índice elevado em relação à ocupação urbana, com 53,4 % de lotes edificados e não edificados, seguidos de cobertura vegetal, com 22,28 %; zona de praia, com 12,1 %; arenito de praia, 6,74 %; vias de circulação, com 4,66 %; lagoa, com 0,45 %; e riacho com 0,12 %.

Para o setor 3, os resultados mostram um índice semelhante para as áreas ocupadas, com 53,45% da área total. Seguidas de cobertura vegetal com 29,75 %, zona de praia com 8,01%, arenito de praia com 5,4 % e vias de circulação com 3,32 %.

Tabela 4.1 - Uso e ocupação do solo do setor 1.

Uso/ocupação	Área (ha)	Proporção (%)
Lote não edificado	37,93	31,29
Lote edificado	31,63	26,09
Praia	13,82	11,39
Vegetação rasteira	13,39	11,04
Arenito de praia	6,58	5,42
Cultivo (coqueiral)	5,64	4,65
Caminhos	4,86	4,00
Estrada	3,52	2,90
Lagoa	2,38	1,96
Vegetação arbórea/arbustiva	1,45	1,19
Total	121,20	100,00

Tabela 4.2 - Uso e ocupação do solo do setor 2.

Uso/ocupação	Área (ha)	Proporção (%)
Lote edificado	46,21	26,74
Lote não edificado	46,07	26,66
Praia	20,93	12,10
Vegetação rasteira	19,92	11,51
Vegetação arbórea/arbustiva	14,12	8,17
Arenito de praia	11,65	6,74
Cultivo (coqueiral)	4,84	2,80
Estrada	4,08	2,36
Caminhos	3,99	2,30
Lagoa	0,78	0,45
Riacho	0,21	0,12
Total	172,80	100,00

Tabela 4.3 - Uso e ocupação do solo do setor 3.

Uso/ocupação	Área (ha)	Proporção (%)
Lote não edificado	47,65	34,12
Lote edificado	27,00	19,33
Vegetação arbórea/arbustiva	22,39	16,03
Vegetação rasteira	17,24	12,34
Praia	11,21	8,01
Arenito de praia	7,55	5,40
Estrada	2,91	2,08
Cultivo (coqueiral)	1,94	1,38
Caminhos	1,74	1,24
Total	139,63	100,00

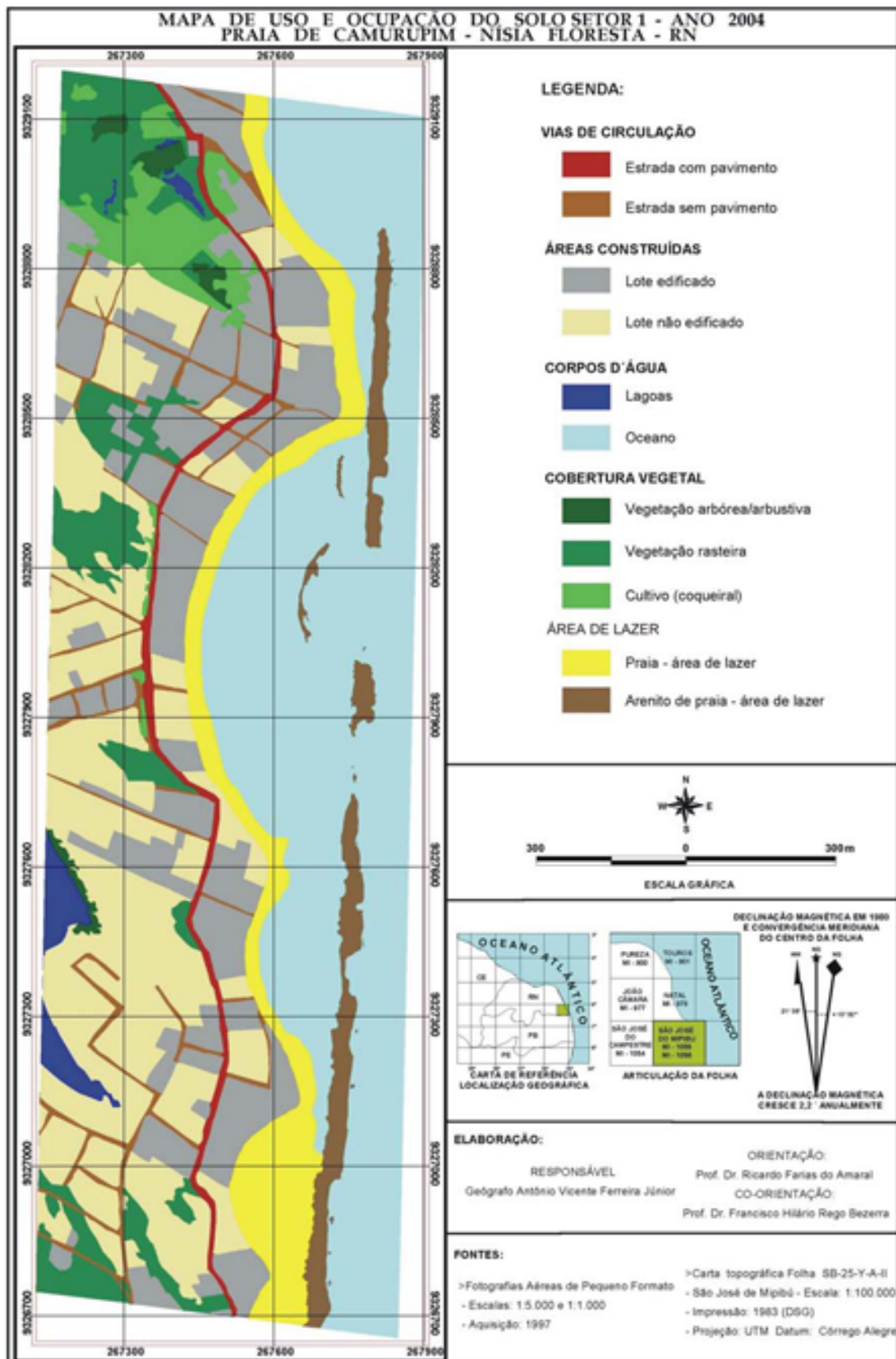


Figura 4.2 - Mapa de uso e ocupação do solo, setor 1.

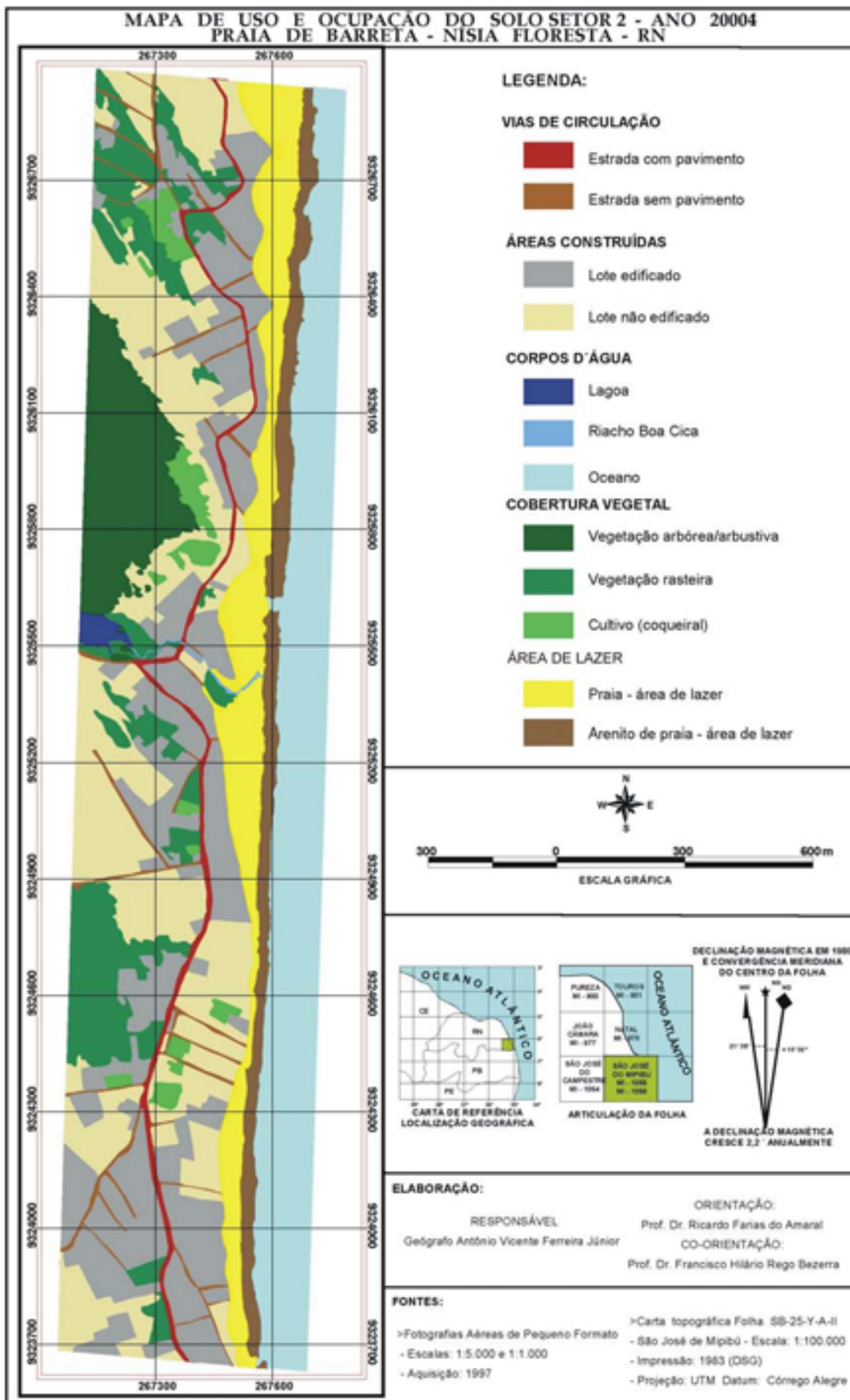


Figura 4.3 - Mapa de uso e ocupação do solo, setor 2.

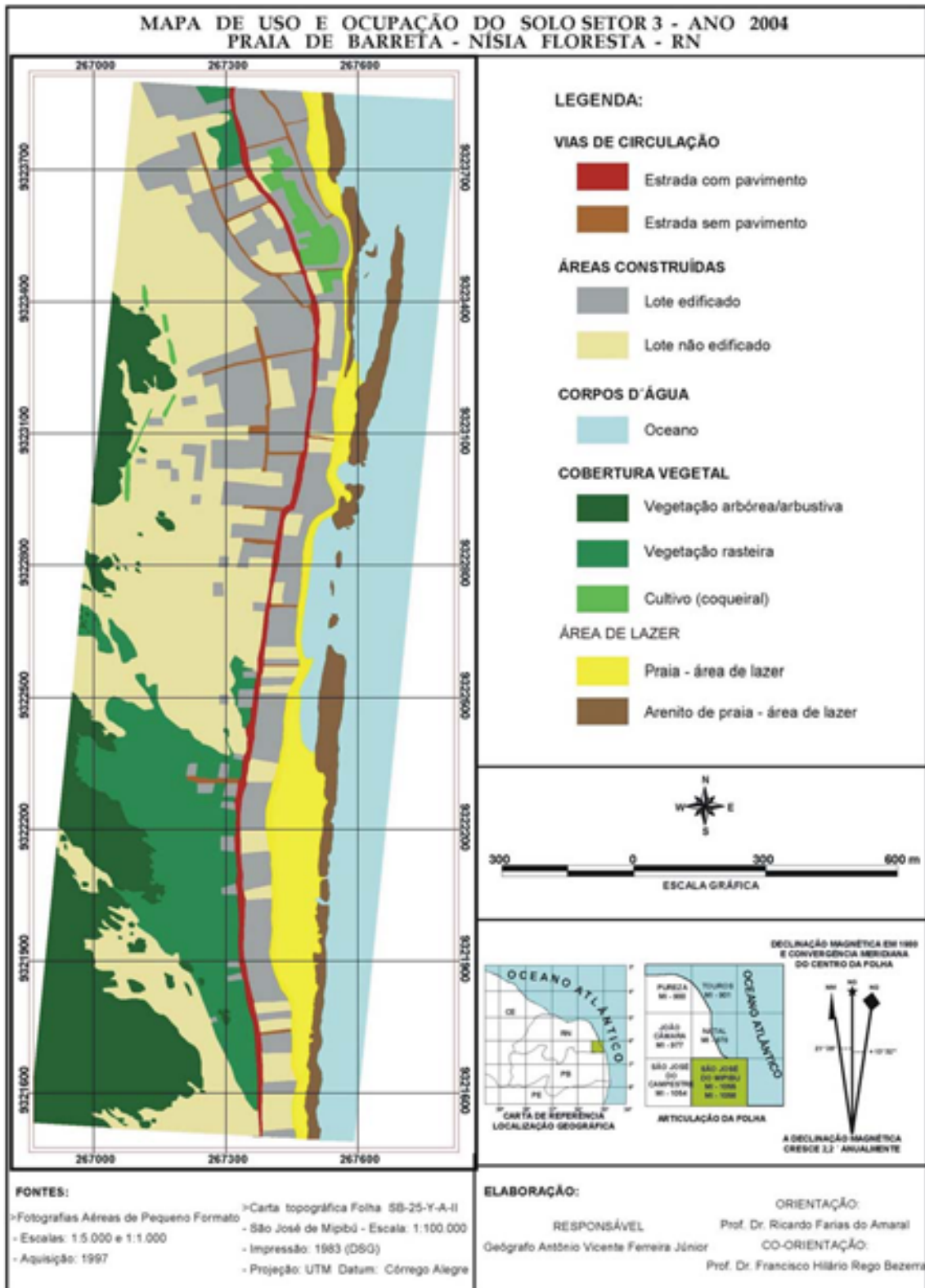


Figura 4.4 - Mapa de uso e ocupação do solo, setor 3.

Nos três setores, verifica-se um intenso parcelamento do solo, com lotes edificadas e não edificadas. Isso se traduz em uma forte pressão das áreas de crescente urbanização sobre os elementos naturais da paisagem, incluindo-se aqui as feições adjacentes (praia e pós-praia) ao arenito de praia. Essas feições apresentam uma dinâmica em função das marés, da presença e morfologia do arenito de praia e, também, como evidenciado no mapa de uso e ocupação do solo, pela forte ocupação humana.

Exemplo da interferência antrópica nessas feições pode ser visto na Figura 4.5, onde se visualiza a retirada de areia da zona de estirâncio para fins de construção civil e a construção de casas de veraneio que invadem a faixa de praia.



Figura 4.5 - A: Retirada de areia da zona de estirâncio para fins de construção civil. B: Construção irregular à beira-mar com muro de concreto e enrocamento de pedras soltas.

4.2.2 Geologia e geomorfologia

No mapa de Geologia e Geomorfologia foram classificadas as seguintes unidades: (i) geomorfologia (arenito de praia, zona de estirâncio, berma praial, lagoa temporária, duna fixa e duna móvel); (ii) geologia (arenito de praia “*beachrock*”, depósitos atuais de praia, depósito de duna fixa e depósito de duna móvel) e (iii) corpos d’água (lagoas, riacho e oceano). Na Figura 4.6 é possível visualizar as classes que compõem o tema referido.

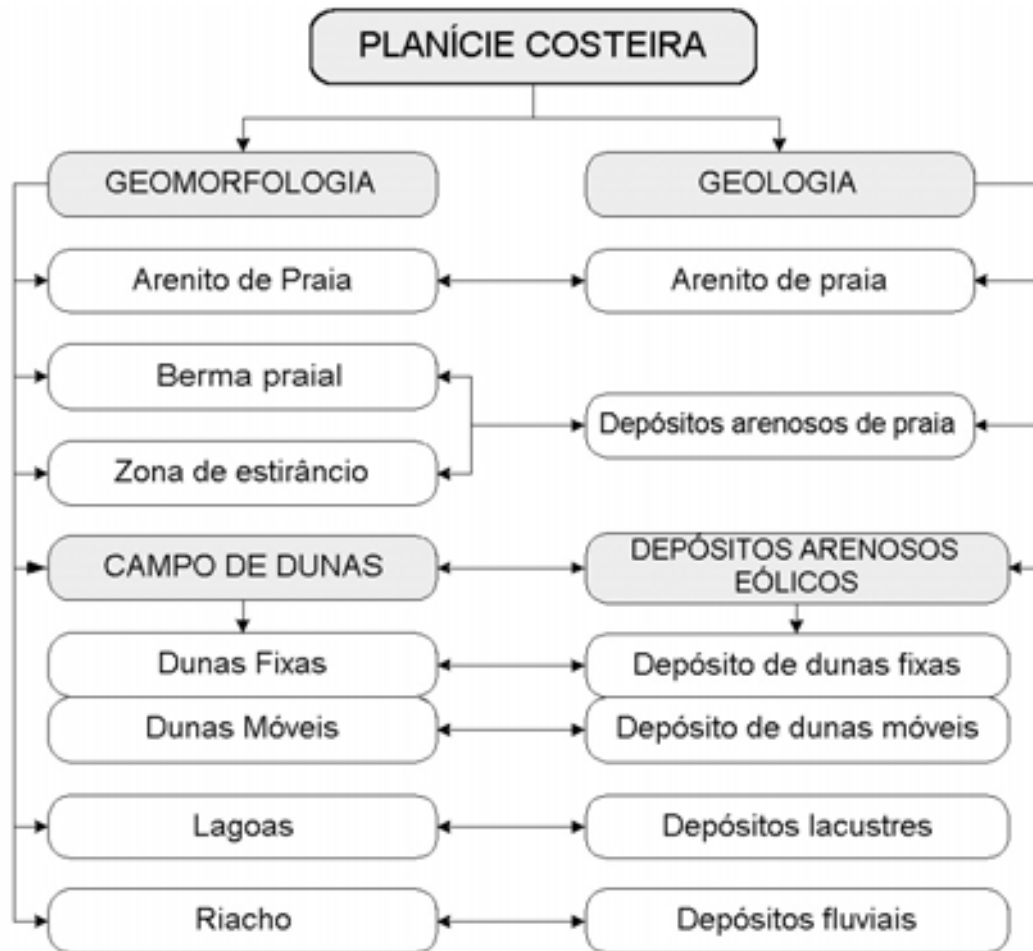


Figura 4.6 – Sistema de classificação utilizado para o mapeamento geológico e geomorfológico.

A seguir é apresentada a descrição de cada classe mapeada (Figs. 4.7, 4.8 e 4.9).

- Arenito de praia: constituem geralmente corpos alongados e contínuos ao eixo da linha de costa. A área mapeada apresenta aproximadamente 7,8 km de comprimento e a largura varia entre 5 a 60 m.
- Zona de estirâncio: também denominada de praia é o setor entre os níveis de maré alta e maré baixa, normalmente sofrem ação das marés e os efeitos do espraiamento após arrebentação das ondas (Suguio, 1992). No geral, as praias de Barreta e Camurupim são estreitas, de baixo declive (5° a 8°), constituídas predominantemente por areia média, com variação de areia fina a grossa, com grãos geralmente bem selecionados e com pouca presença de minerais pesados. Na fotografia, observa-se aspecto recente da ação da maré e dos efeitos de espraiamento das ondas após arrebentação, com areia recentemente lavada.

- Berma praial: corresponde aproximadamente ao nível mais alto da praia, além do alcance das ondas ordinárias (Suguio, 2003). Foram identificados na área em estudo trechos da linha de costa em erosão que estão relacionadas às rupturas ou quebras da continuidade do arenito de praia (Fig. 4.10).
- Lagoa temporária: composta por material orgânico, associado a locais com excesso de água durante o período de chuvas.
- Duna fixa: são dunas localizadas na porção oeste e cobertas por vegetação arbórea/arbustiva.
- Duna móvel: na área estudada são encontradas dunas móveis do tipo parabólica não vegetada.



Figura 4.10 - A: Utilização de enrocamento de pedras para minimizar efeitos da erosão costeira. B: Erosão intensa sobre o berma praial, em área com ruptura do arenito de praia e sob forte pressão pelo uso e ocupação antrópica.

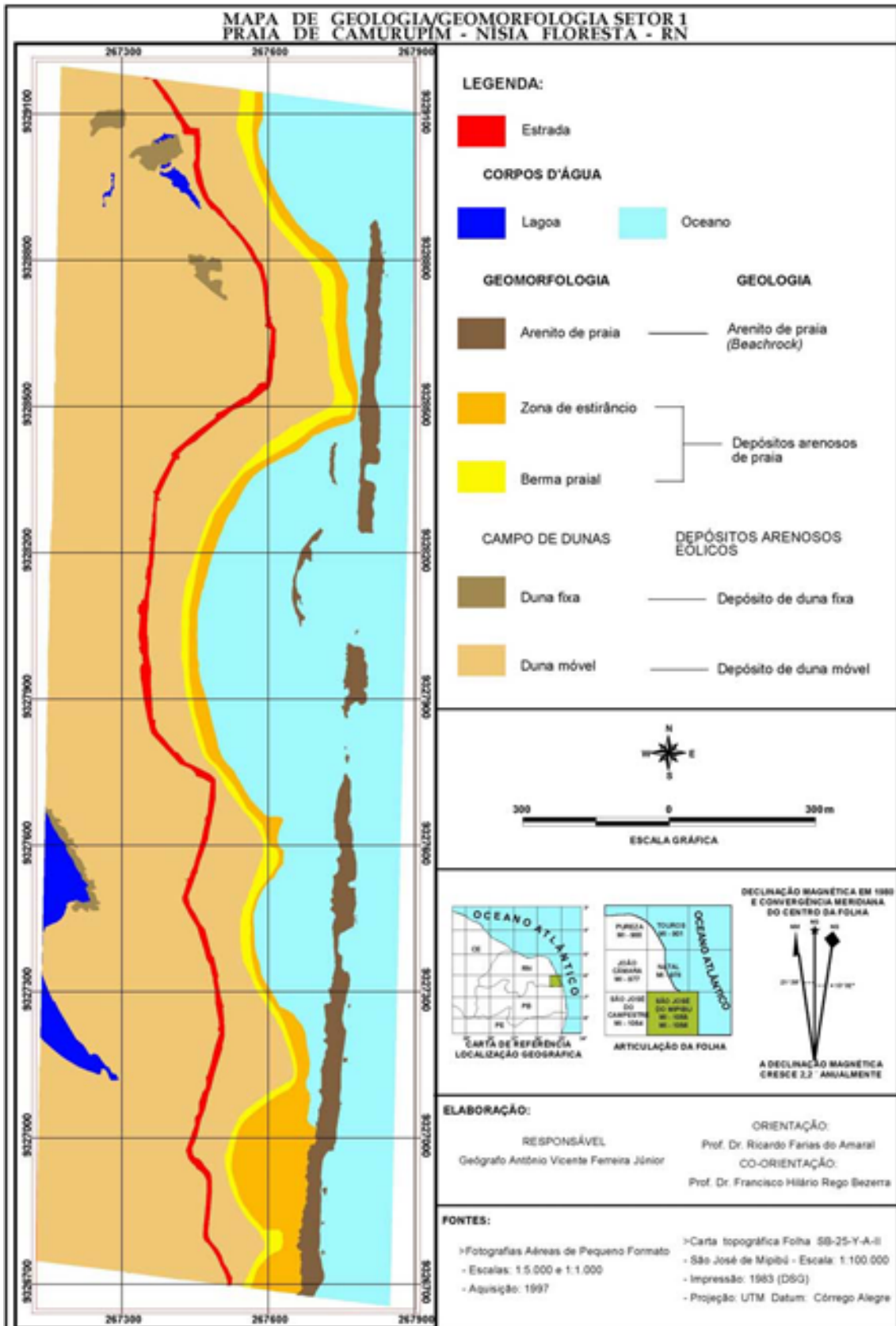


Figura 4.7 - Mapa de Geologia e Geomorfologia, setor 1.

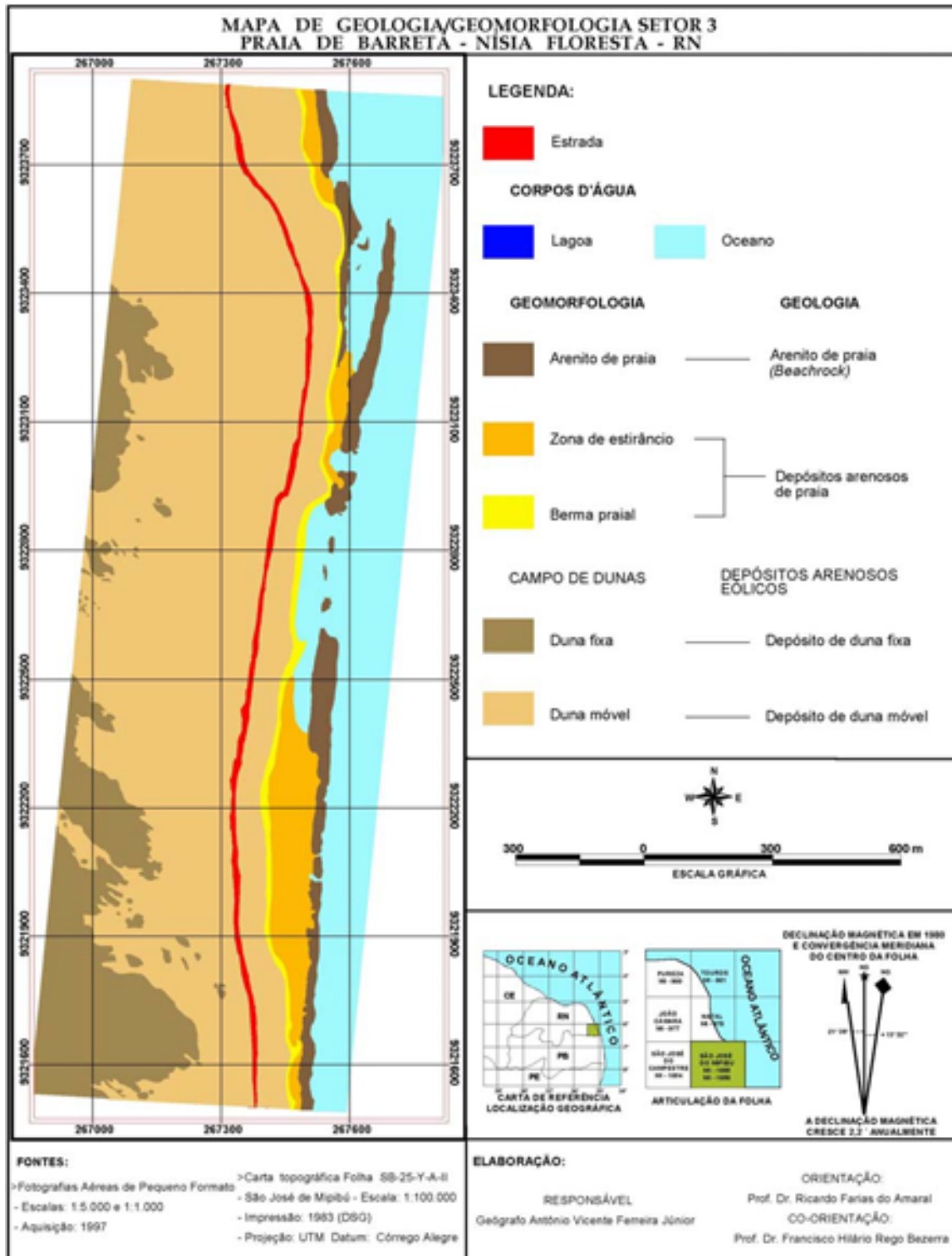


Figura 4.9 – Mapa de Geologia e Geomorfologia, setor 3.

4.3 Mapa de Contorno do Relevo

O mapa de contorno do relevo apresenta curvas de valores que se conectam através de pontos da superfície com o mesmo valor de elevação, onde as linhas de contorno são obtidas a partir da intersecção do plano x e y. Na geração do mapa de contorno do relevo foi utilizado o método de interpolação através do tipo de grade regular. Esse método gera cada linha de contorno em um único passo em que as linhas são definidas por segmentos que pertencem ao mesmo valor.

As Figuras 4.11, 4.12 e 4.13 apresentam o processo de obtenção de uma linha de contorno a partir de uma grade regular, para a área de estudo considerada nesse trabalho. Para uma melhor visualização, são apresentadas as três regiões de acordo com as estações pesquisadas.

As figuras apresentam isolinhas que indicam seus respectivos valores (altimetria), com alguns pontos cotados que variam de 0 a 15,5 m. As curvas de isovalores com a respectiva escala permitem uma melhor visualização dos valores mais altos e mais baixos assumidos pela variável, com cores mais frias para valores mais baixos e cores mais quentes para altos.

Os modelos de contorno aqui apresentados serviram de base para a geração dos modelos digitais do terreno, dado que são necessárias as curvas do relevo para gerá-los.

4.4 Perfis de Terreno

Através de um mapa de contorno do relevo é possível representar a superfície topográfica de uma determinada região. Esse mapa permite também realizar cortes transversais do relevo, apresentando-os na forma de perfis. Eles descrevem a elevação dos pontos ao longo de uma linha no terreno. A Figura 4.14 representa a configuração dos perfis editados a partir do modelo de contorno do relevo.

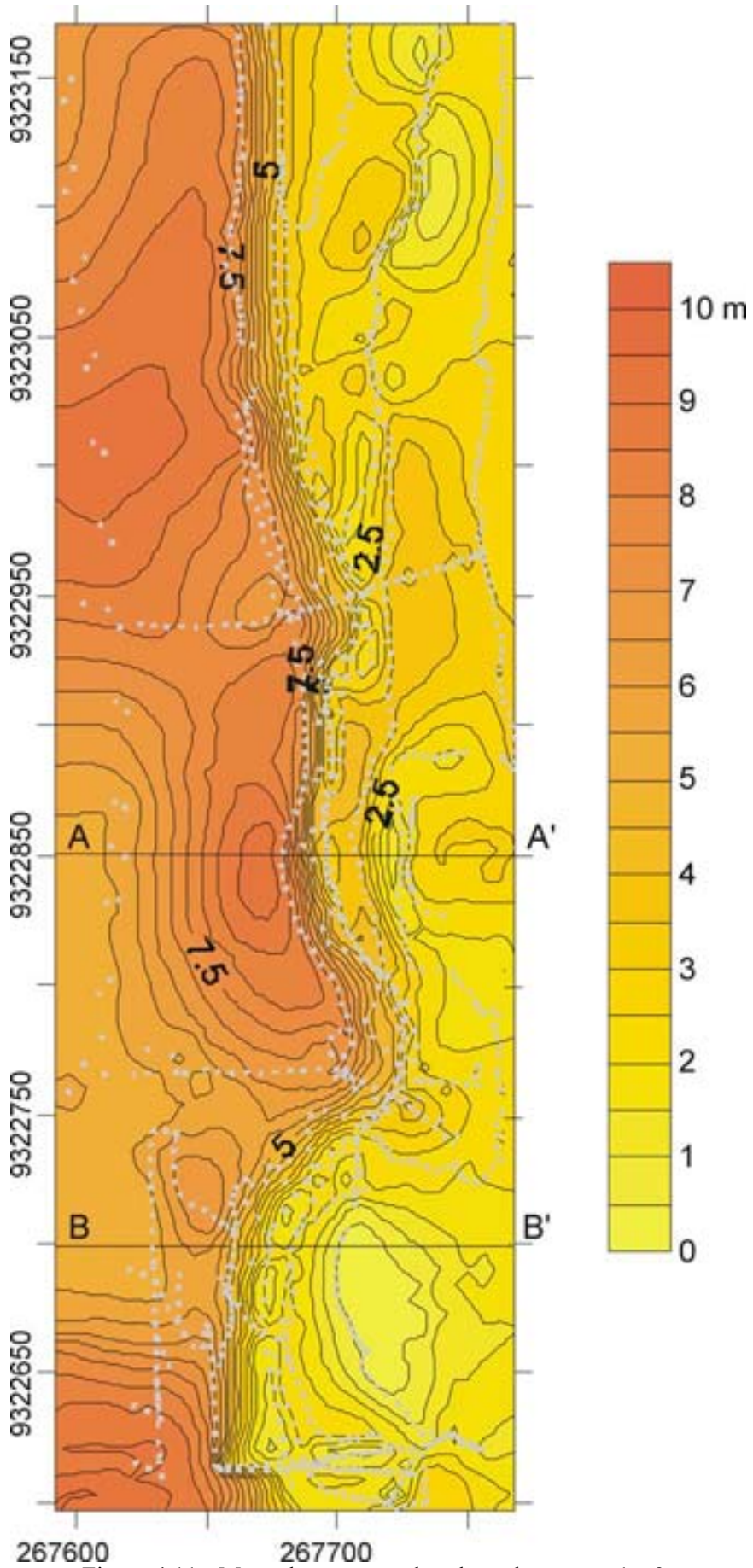


Figura 4.11 - Mapa de contorno do relevo da estação 1 a 3.

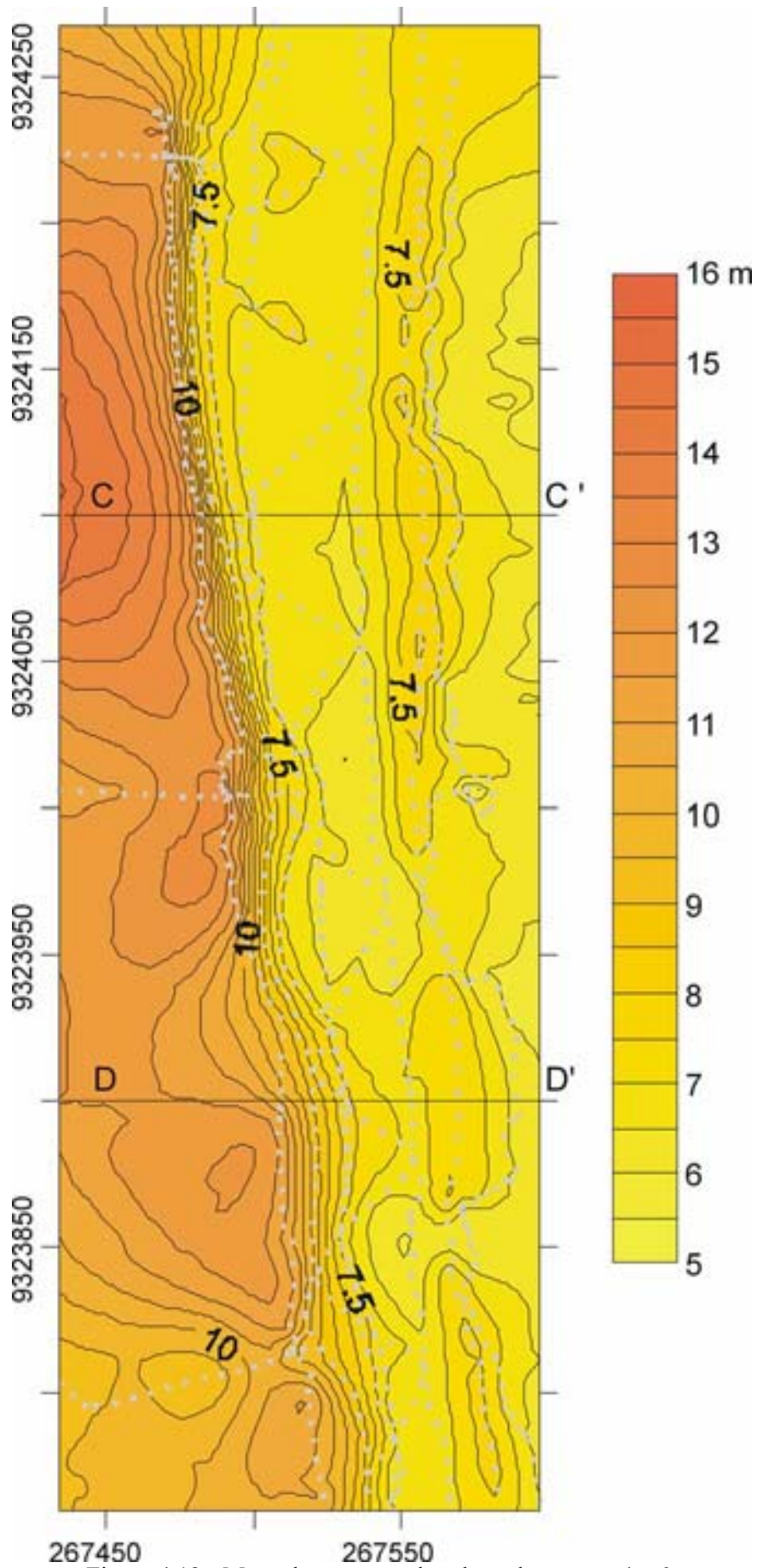


Figura 4.12 - Mapa de contorno do relevo da estação 4 a 6.

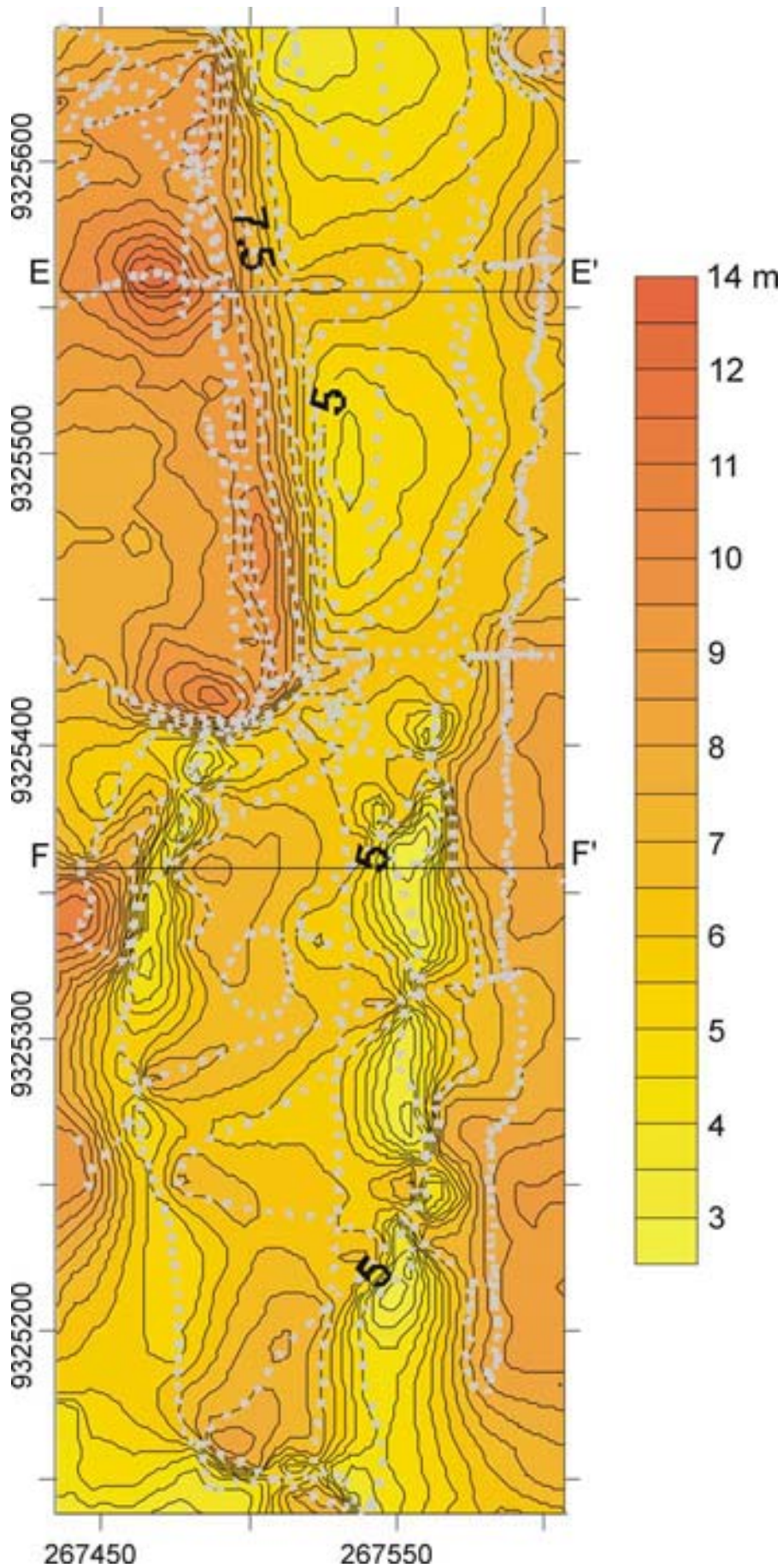


Figura 4.13 - Mapa de contorno do relevo da estação 7 a 9.

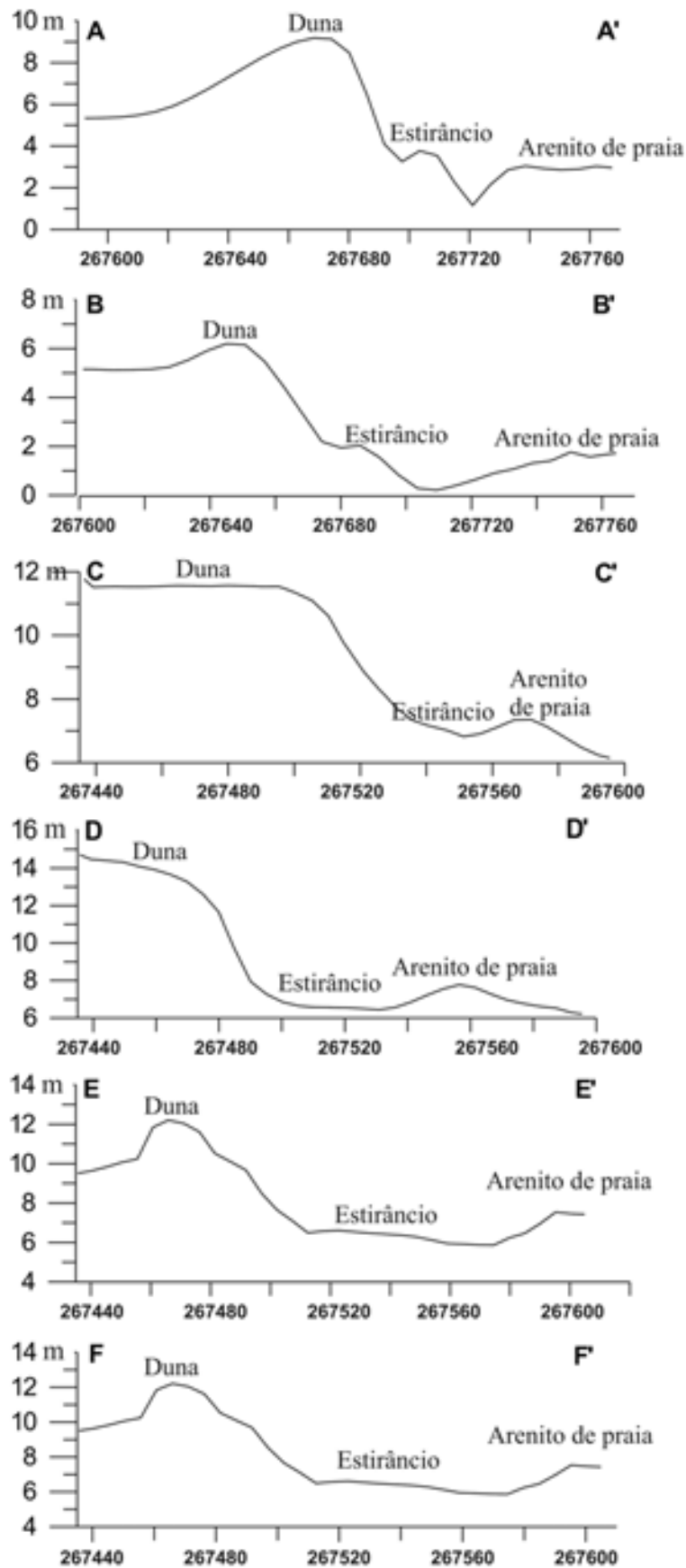


Figura 4.14 - Perfis topográficos transversais nas praias de Barreta e Camurupim (ver localização dos perfis nas Figuras 4.11, 4.12 e 4.13).

No geral, os perfis apresentam uma extensão aproximada que varia entre 163 m a 177 m, a zona de estirâncio alcança uma distância máxima de 75 m (Perfil FF'). A cota máxima é de 15,5 m para o perfil DD', e de aproximadamente 6 m para o Perfil BB'. Dentre as demais estações, essa área sofre os maiores efeitos da erosão, ocasionando um provável recuo da linha de costa. Outro destaque é a zona de pós-praia, com dunas bem desenvolvidas nas cotas maiores. Os perfis praias possibilitam relacionar as cotas de maior altitude da pós-praia com relação à altura dos arenitos de praia e realizar cálculos de volume de inundação.

4.5 Modelo Digital de Terreno

Depois de ter elaborado os pontos da malha, o mapa de contorno do relevo e os perfis transversais, foi elaborada a superfície tridimensional, gerada a partir dos arquivos existentes no formato GRD. A etapa seguinte foi a sobreposição dessa superfície em três dimensões com o mosaico da fotografia aérea. A fotografia aérea foi importada através do menu mapa-base no formato JPG e em seguida foi realizado o georreferenciamento da imagem com os valores máximos e mínimos das coordenadas métricas. Após a sobreposição, obteve-se o MDT de cada área, que foram tratados de acordo com interesses específicos, como, por exemplo, o fator de exagero vertical padrão.

Outras alterações realizadas foram na coloração da textura, de forma que se destacassem apenas as cores da fotografia aérea; na definição da escala de cada área e na melhor visualização do ponto de vista do observador. Foram efetuadas várias mudanças de ângulos para atingir melhor ponto de visada de cada modelo, de modo que ressaltasse a topografia com áreas de menor e maior amplitude, bem como o perfil transversal e longitudinal da zona de praia.

As Figuras 4.15 a 4.19 apresentam o resultado das três áreas estudadas com mais de um ponto de visada. De modo geral, apresentam um relevo suave com pouca variação de altitude com cota máxima de 16 m. A área das Estações 1 a 3 (Fig. 4.15) apresenta, entre as três áreas mapeadas, a menor variação de

altitude e a pró-praia mais elevada. Na figura podem-se visualizar duas quebras na zona de estirâncio, o que possibilita a entrada de água ocasionando processo de erosão na zona de praia.

As Figuras 4.16 e 4.17 são da mesma área, mas com perspectivas diferentes. A área visualizada na figura apresenta superfície suave com pouca irregularidade no seu relevo e presença de dunas que se destacam na pós-praia e que podem chegar à cota de 15 m, enquanto que a zona de estirâncio, influenciada pela subida e descida do nível do mar, está abaixo da cota dos 3 m.

Através da sobreposição das fotografias aéreas fica simples identificar os elementos que estão inseridos na zona costeira e relacionar com a sua topografia.

A Figura 4.16 apresenta uma melhor visualização para observar a zona que está influenciada pela maré e acompanha paralelamente a linha de costa, inclusive as reentrâncias do arenito de praia. A Figura 4.17 apresenta melhor variação da topografia.

Estas figuras apresentam um excelente recurso visual e funcional para compreender a realidade estudada no campo. A aplicação do MDT em áreas costeiras corresponde a um tipo de procedimento que gera um novo enfoque para a predição e análise de modelos costeiros. Um dos elementos que o MDT apresenta com nitidez é a presença dos cúspides praias formados principalmente pela quebra da continuidade do arenito de praia. Verificou-se em campo, que a barreta do arenito Camurupim está relacionado com a antiga desembocadura do Riacho Boa Cica (Figs. 4.18 e 4.19).

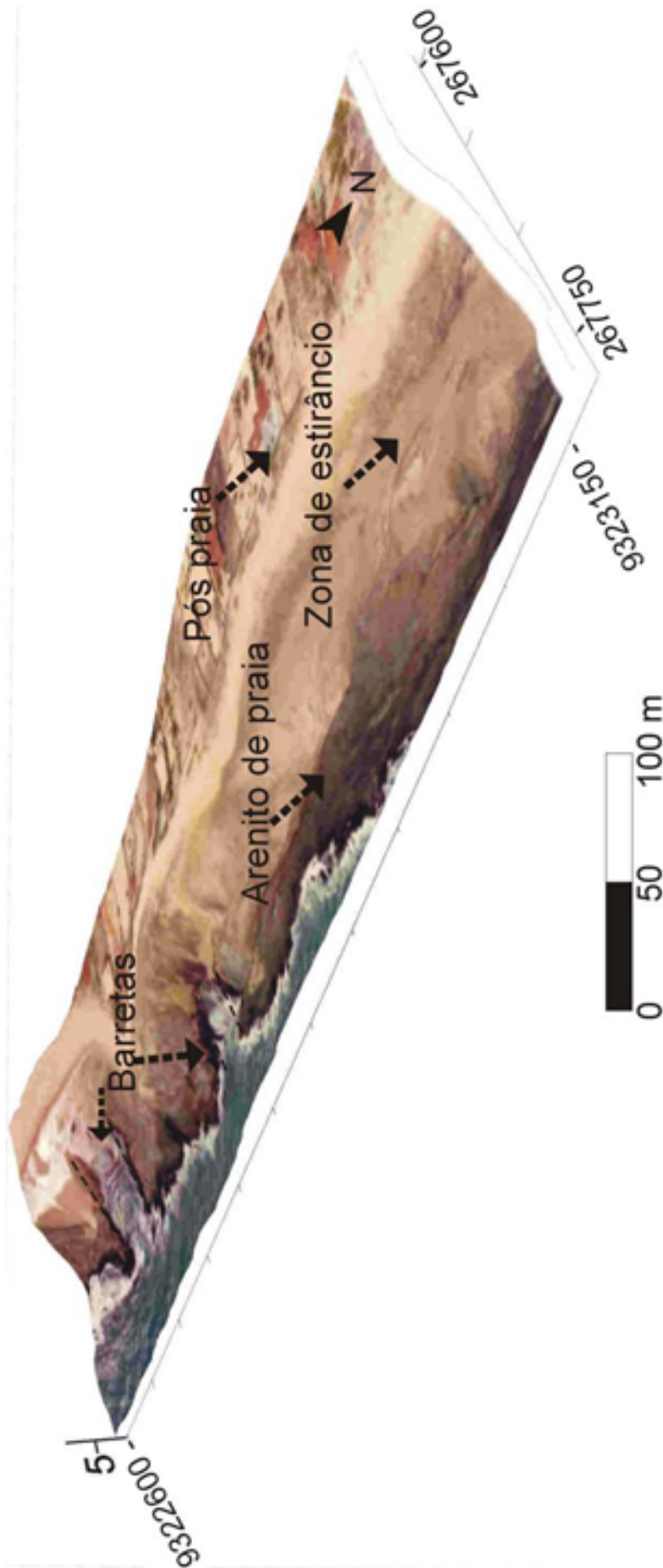


Figura 4.15 - FAPEFs sobreposta ao MDT da estação 1 a 3, praia de Barreta.

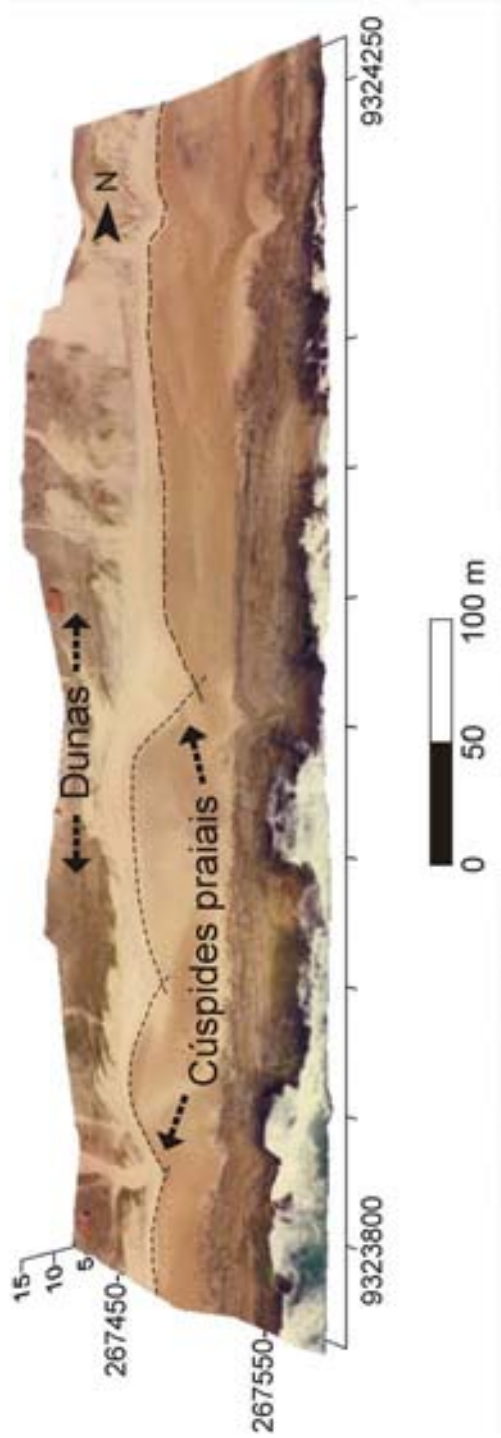


Figura 4.16 - FAPEFs sobreposta ao MDT da estação 4 a 6, praia de Camurupim.



Figura 4.17 - Visualização 3D oblíqua da praia de Camurupim.

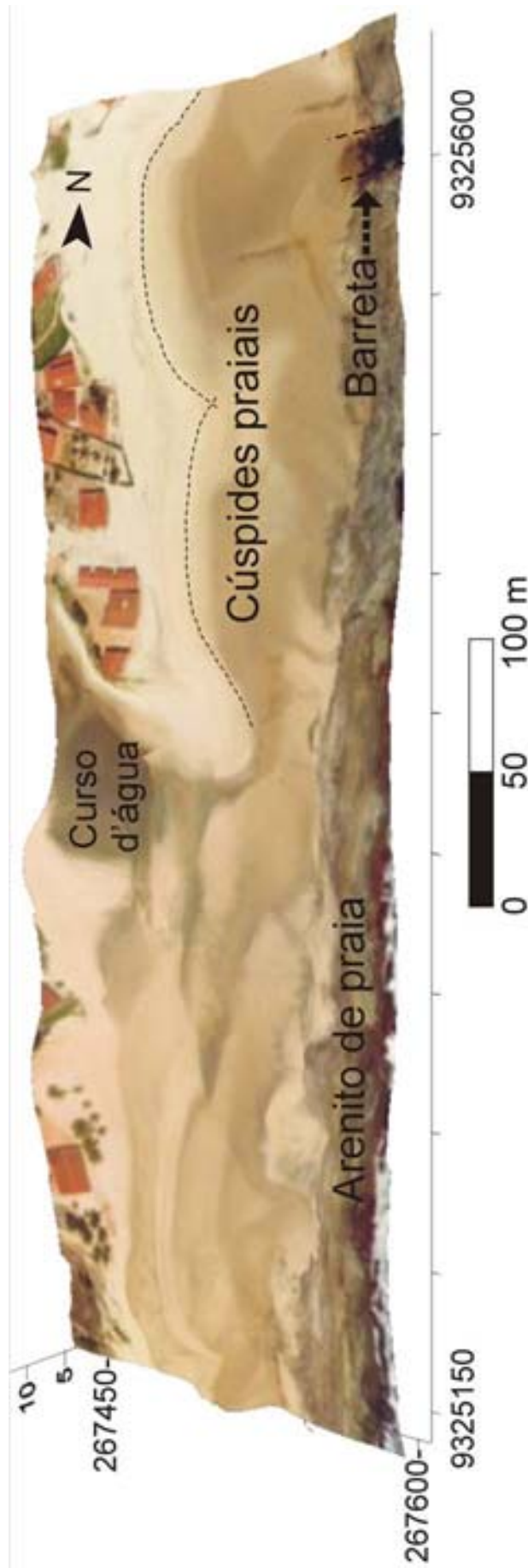


Figura 4.18 - FAPEFs sobreposta ao MDT da praia de Camurupim entre as estações 7 a 9.

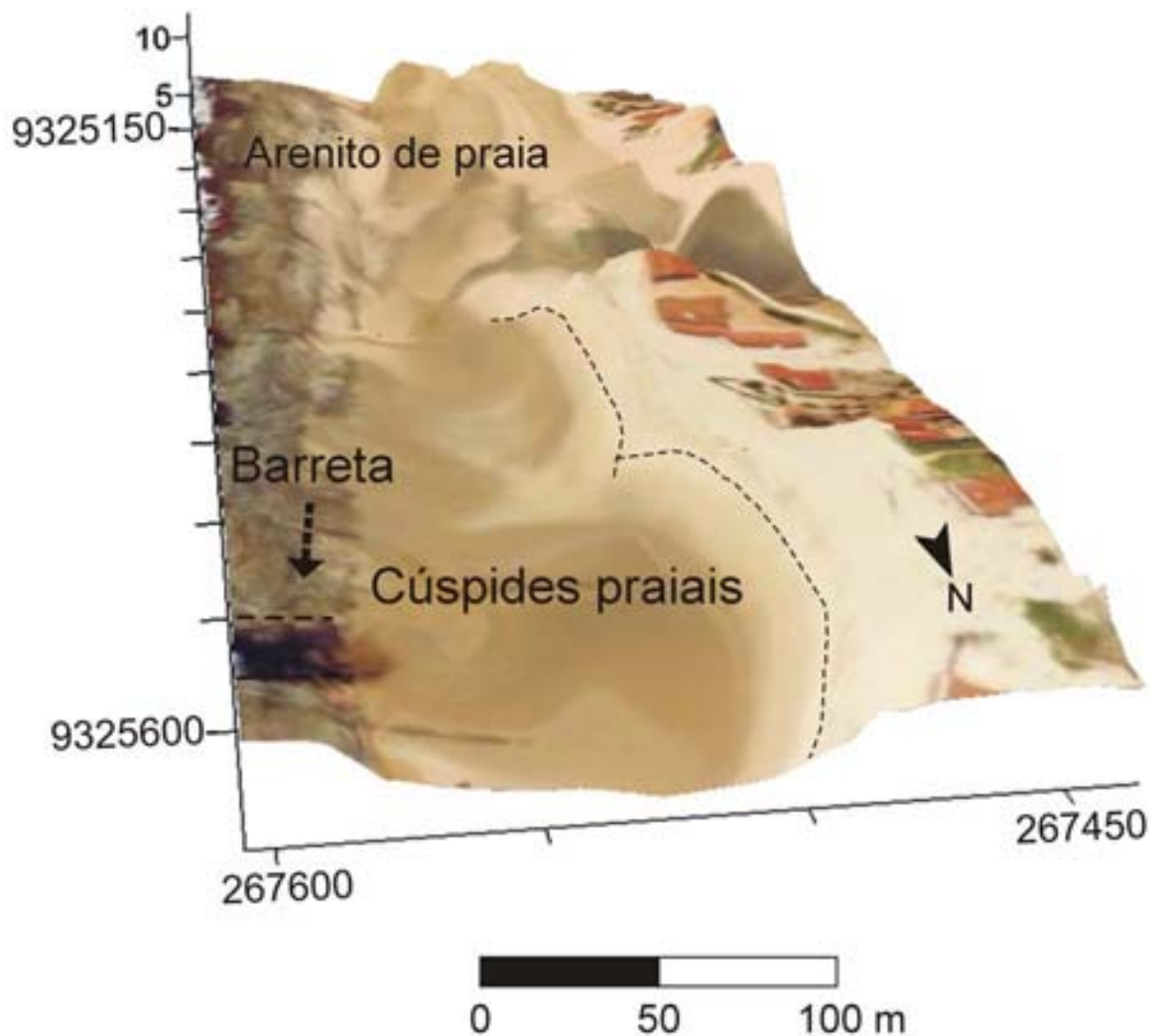


Figura 4.19: Visada longitudinal da praia de Camurupim.

4.6 Volume de Inundação

O cálculo de volume de inundação permite identificar a quantidade de água na zona de estirâncio, na maré de sigízia. A cota média foi estabelecida a partir da topografia do perfil de praia. Os dados de área e volume apresentados na Tabela 4.4 foram processados no programa *Data Geosis*.

Na tabela, verifica-se que a maior superfície de estirâncio e o maior volume de inundação correspondem à área das estações de 1 a 3, $6.644,40 \text{ m}^2$ e $163.003,04 \text{ m}^3$, respectivamente. Estes dados representam uma maior dinâmica de subida e descida da maré para essa estação, quando comparada às outras.

A estação de 1 a 3, indica uma área com maior volume de água na zona de estirâncio, portanto reflete uma maior dinâmica, modelando a superfície da área

de maneira mais intensa, ocasionando estruturas sedimentares mais marcantes, tais como marcas de ondas, cúspides praias (Fig. 4.20) e pequenos canais.

Tabela 4.4 - Cálculo de volume de inundação nas áreas estudadas.

Área	Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
Estação 1 a 3	6,000	56.544,409	163.003,040
Estação 4 a 6	7,000	25.241,365	12.145,165
Estação 7 a 9	8,000	56.178,924	106.832,160

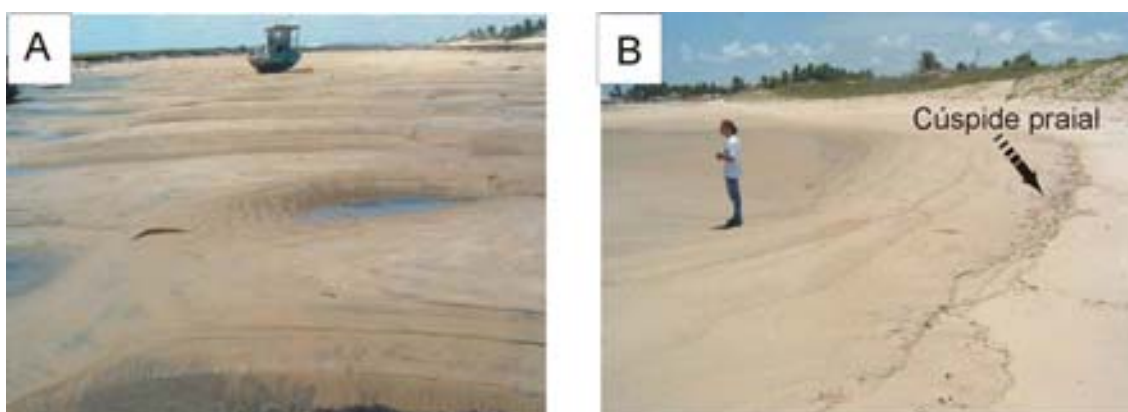


Figura 4.20 - A: Estrutura sedimentar conhecida como marca de ondas. B: Cúspide praias ou *beach cusps*.

A área das Estações 4 a 6 é a que apresenta menor superfície de área de estirâncio e, conseqüentemente, menor volume de inundação. Porém, verifica-se que a superfície é aproximadamente duas vezes inferior e o volume de inundação é aproximadamente 13 vezes menor à da área das Estações 1 a 3. No caso da área das Estações 7 a 9, o valor da área de estirâncio apresenta-se próxima do valor da área das Estações 1 a 3, mas com um volume de inundação menor.

Essas diferenças da relação área de estirâncio/volume de inundação entre às áreas consideradas pode ser explicado pela ocorrência de barretas dos arenitos de praia. O trecho das Estações 1 a 3 possui duas áreas significativas de barretas, o que permite uma maior entrada de água na zona de estirâncio, enquanto que a área das Estações 7 a 9 apresenta apenas uma barreta, portanto, menor entrada de água em relação à anterior. Já, a área das estações 4 a 6 não possui barretas, conseqüentemente, menor volume de água ingressará na área de estirâncio. Conclui-se que, no caso das áreas com a presença de arenitos de praia, o volume

de inundação é mais dependente da ocorrência de barretas do que da superfície de estirâncio considerada.

É importante ressaltar que o uso do cálculo de volume de inundação apresenta limitações no que se refere ao real. Em tese, seria necessário obter um número de pontos que cobrisse a superfície total do terreno em estudo. Dessa maneira não se tem um controle estatístico adequado.

CAPÍTULO V – ANÁLISE DOS ARENITOS DE PRAIA

5.1 Arenitos de Praia de Barreta e Camurupim

Dentre os corpos de arenito de praia existentes na linha de costa do litoral sul do Rio Grande do Norte, os que mais se destacam são os corpos da praia de Barreta e Camurupim. Estes corpos foram escolhidos por sua dimensão, quase 15 km de extensão. Pretende-se obter uma visão detalhada da sua morfologia, buscando um melhor entendimento de sua origem e relações com os corpos circundantes.

O arenito de praia mais ao sul é chamado de Barreta, ou corpo externo, por se encontrar mais afastado do continente, com cerca de 8 km de extensão. É observado desde a Praia de Tibau do Sul e prolonga-se até a Praia da Barreta. Na Foz da Lagoa de Guaraíras, este corpo externo apresenta-se descontínuo. A segunda linha é denominada arenito Camurupim, ou corpo interno, ocorrendo entre a praia de Barreta e a Ponta de Tabatinga, com aproximadamente 6 km de comprimento. A largura dos corpos varia de 1 a 52 m (Figs. 5.1 e 5.2).

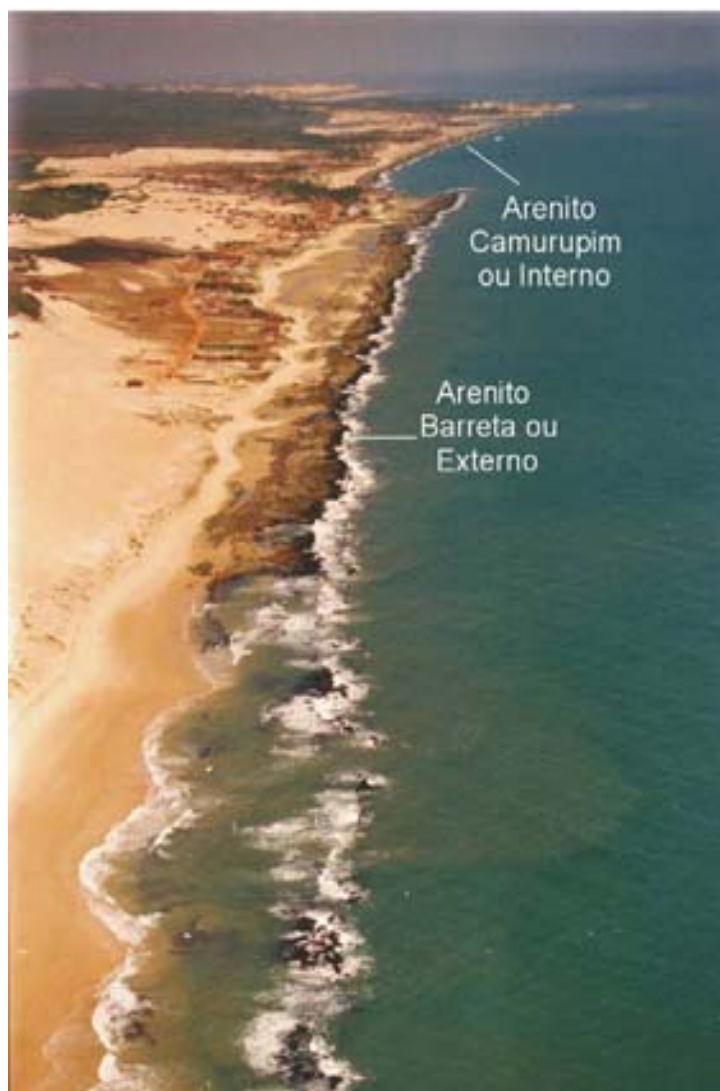


Figura 5.1 – Fotografia aérea oblíqua, evidenciando a disposição dos arenitos nas praias de Barreta e Camurupim.

As duas unidades do arenito de praia estudadas são formadas predominantemente por grãos de areia grossa, grânulos, às vezes seixos. As estruturas sedimentares encontradas no arenito de praia são a estratificação cruzada acanalada e a estratificação tabular de baixo ângulo. O componente detrítico dominante é o quartzo com pequena concentração de mineral pesado (ilmenita, magnetita, zircão, turmalina e rutilo). O acamamento sedimentar apresenta mergulhos entre 06° e 10° em direção ao mar (Figs. 5.3 e 5.4).



Figura 5.2 – Fotografia aérea oblíqua da praia de Camurupim. No final do arenito há uma interrupção no corpo, o que possibilitou a formação de uma baía.

Apesar destes corpos de arenito estarem submersos na maré alta, o corpo externo ou Barreta apresenta no Nível Médio do Mar (NMM) um topo aproximadamente de 0,30 a 0,40 m e o corpo interno ou Camurupim está a 0,40 a 0,90 do NMM (Fig. 5.3).

As datações apresentadas por Bezerra *et al.* (2003) pelo método radiocarbono em conchas coletadas no interior dos arenitos de praia, revelam idades variando entre 7.460 a 5.600 anos calibrados AP para o corpo externo e 5.310 a 4.380 anos calibrados AP para o corpo interno.

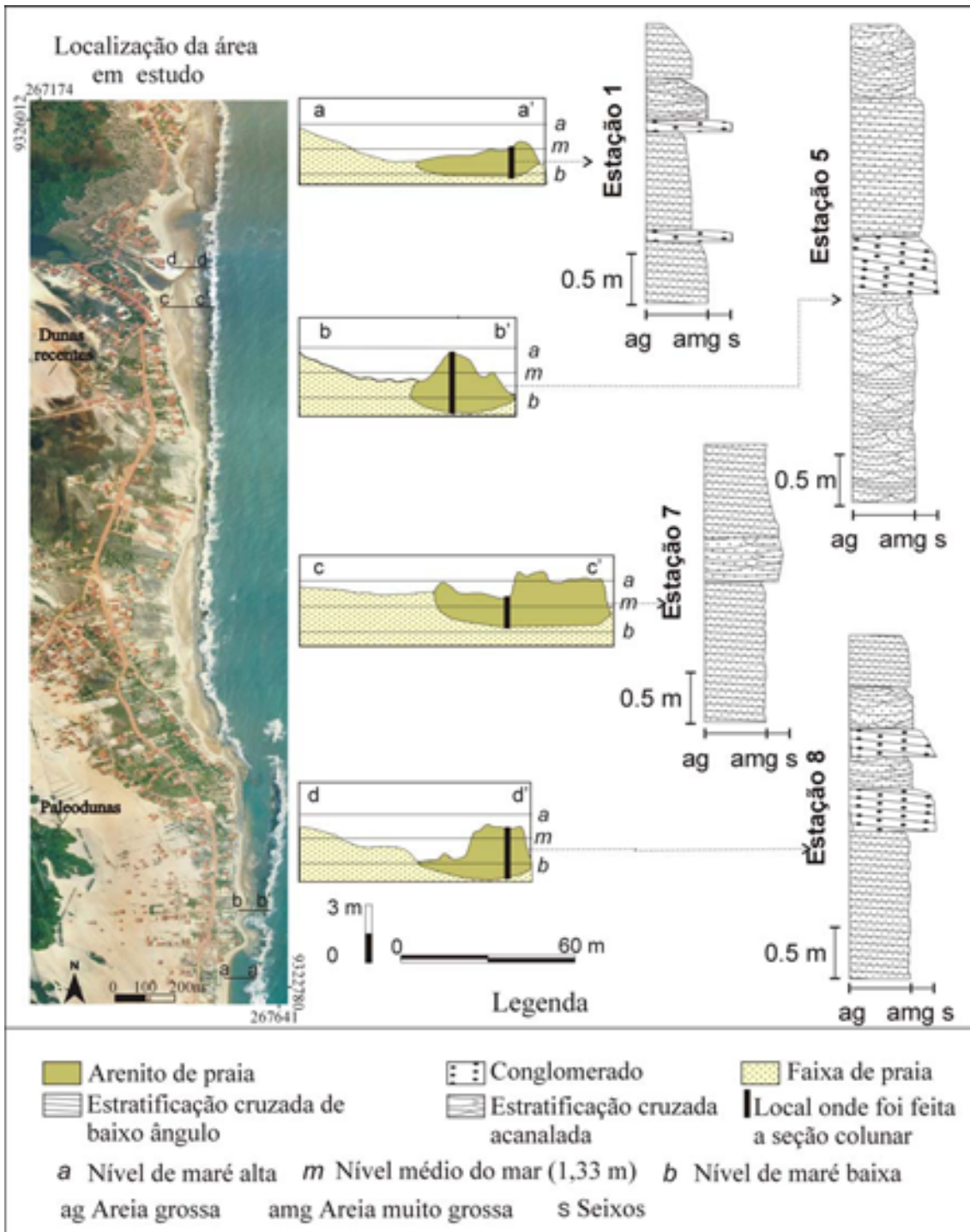


Figura 5.3 – Seção colunar dos arenitos de praia. Perfis aa' e bb' apresentam a altura do arenito em relação à linha de costa da praia de Barreta e os perfis cc' e dd' da praia de Camurupim.

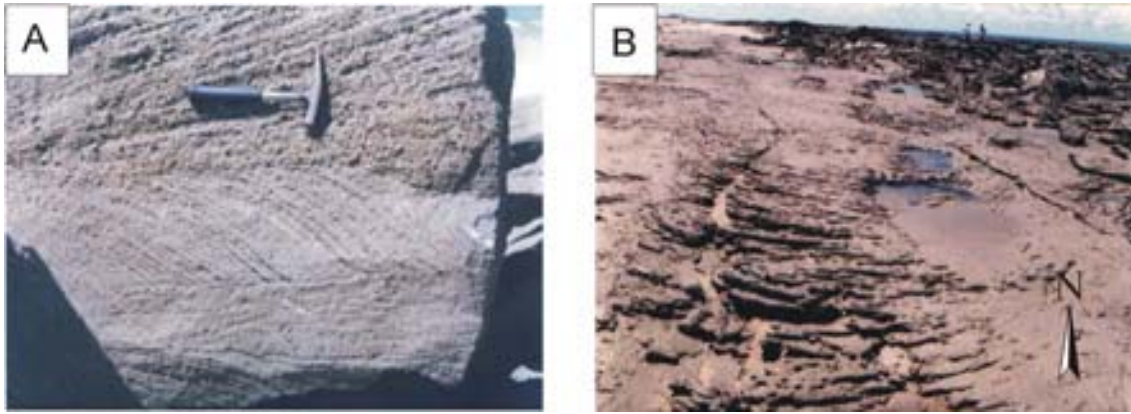


Figura 5.4 - A: Observa-se uma estratificação cruzada de baixo ângulo disposta sobre a estratificação cruzada acanalada. B: Estratificação cruzada acanalada em planta.

5.2 Feições Superficiais dos Arenitos de Praia

Para alcançar a compreensão do modelo de evolução dos arenitos de praia, buscou-se inicialmente descrever as feições erosionais existentes na superfície dos arenitos. Algumas formas peculiares foram descritas e discutidas com base na classificação de Miller e Mason (1994), que estudaram os corpos de arenitos da costa leste da África do Sul. Estes autores concluíram que as características erosionais nos arenitos de praia na costa de Natal e Zululand são causadas pela dissolução do carbonato de cálcio, as quais se situam nas zonas de estirâncio e pós-praia.

As feições superficiais mais comuns identificadas na área de estudo são bacias de dissolução, tubos de dissolução, superfícies enrugada, cristas elevadas, pináculos, poças de terraço e *underminings*.

Bacias de dissolução (*solution basins*) são depressões aproximadamente circulares em planta e negativas em seção vertical, geradas a partir da dissolução do carbonato pela atividade algal. Estas depressões são formadas nas zonas de estirâncio ou pós-praia, protegendo o desenvolvimento das algas e contendo insignificante quantidade de sedimentos inconsolidados (Miller e Mason, 1994).

As bacias de dissolução estão distribuídas em todo o corpo dos arenitos de Barreta e Camurupim. Como se verá, se formaram em diferentes fases de cimentação. As mais antigas foram preenchidas e representam, hoje, testemunhos de antigos corpos de arenito. As mais recentes podem apresentar formas complexas

e ser preenchidas por diferentes tipos de material sedimentar que, quando aprisionados nestas depressões (Fig. 5.5).

Cristas elevadas (*rised ridges*) são feições côncavas, compostas por cristas sinuosas que formam um relevo positivo nas “plataformas intermaré”. Em planta, as cristas elevadas exibem um padrão em confluências e bifurcações. Durante as marés baixas, podem aprisionar água, possibilitando o surgimento de colônias de algas. Bowie (*apud* Miller e Mason, 1994) propôs que a precipitação carbonática da água do mar desacelera os processos erosivos possibilitando a formação das cristas (Fig. 5.5).

As poças de terraço (*terraced pool*) constituem depressões rasas formadas pelo efeito do represamento das cristas elevadas. Usualmente, ocorrem próximas umas das outras, dando a impressão de uma série de degraus. São feições com fundo plano que suportam um intenso crescimento de algas marinhas. A dissolução carbonática é a forma dominante de erosão. Quando as poças de terraço se tornam suficientemente profundas para reter sedimentos, a abrasão torna-se um processo mais intenso (Fig. 5.5).



Figura 5.5 - A: Bacias de dissolução encontradas ao longo de todo o corpo de Barreta e Camurupim. B: Aspecto típico no arenito Camurupim, uma área positiva (crista elevada) acompanhada de uma área negativa (poça de terraço).

Pináculos (*Spitzkarren*) são feições piramidais pontiagudas, separadas por bacias de dissolução ou fendas, que ocorrem nestes arenitos. Devido à atuação de um intemperismo biológico na superfície desta rocha, exibem uma aparência enrugada irregular (Allen 1984, *apud* Miller e Mason 1994). Os pináculos representam remanescentes de uma antiga superfície que foi moldada pelo

intemperismo químico durante a formação das bacias de dissolução ou pelas águas das chuvas. Essa feição é a menos comum e ocorre em uma área restrita no arenito Barreta (Fig. 5.6).

Superfície enrugada (*Cockling*) são depressões equidimensionais, levemente alongadas, com bordas proeminentes. As depressões raramente excedem 3cm de diâmetro e 2cm de profundidade e estão, muitas vezes, habitadas por pequenos moluscos. A superfície enrugada é formada pela bioerosão e também pela erosão química, induzida pela água da chuva, o que confere à superfície da rocha um aspecto corroído e irregular. Essa superfície é extremamente irregular e comum ao longo do corpo de Barreta e Camurupim (Fig. 5.6).

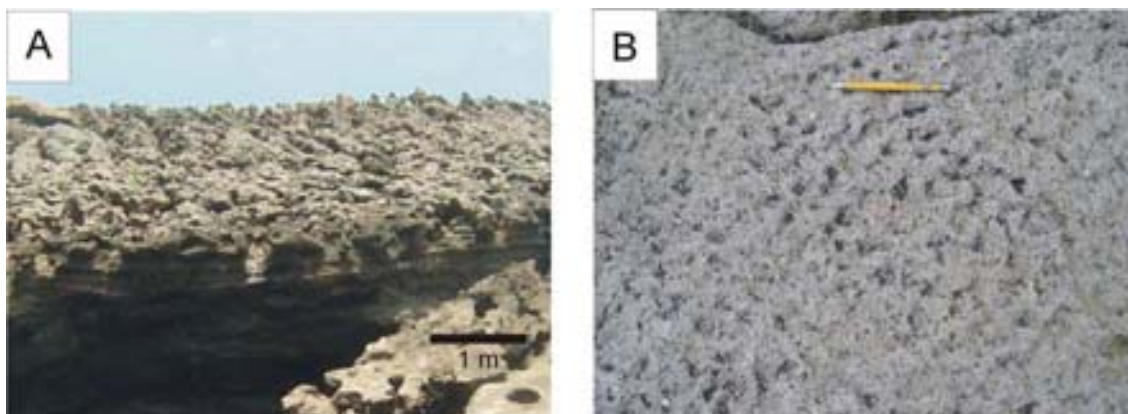


Figura 5.6 - C: Feições pontiagudas encontradas na superfície do arenito Barreta e interpretadas como pináculos. D: Superfície enrugada no arenito Camurupim.

Incisões basais (*underminings* ou *undercuts*) são cortes profundos, encontradas na face de praia. Fairbridge (*apud* Miller e Mason, 1994) foi o primeiro a descrever estas feições, que seriam o produto de um antigo nível do mar. Os *underminings* ocorrem na base dos arenitos, resultam de processos de dissolução química, mas principalmente do ataque das ondas na base arenosa. São incisões com formas alongadas que variam de 3 a 35 m de comprimento e profundidade máxima de 2 m. Estas feições são consideradas importantes na composição do modelo evolutivo dos corpos de arenito, e ocorrem repetidamente ao longo da área estudada (Fig. 5.7).

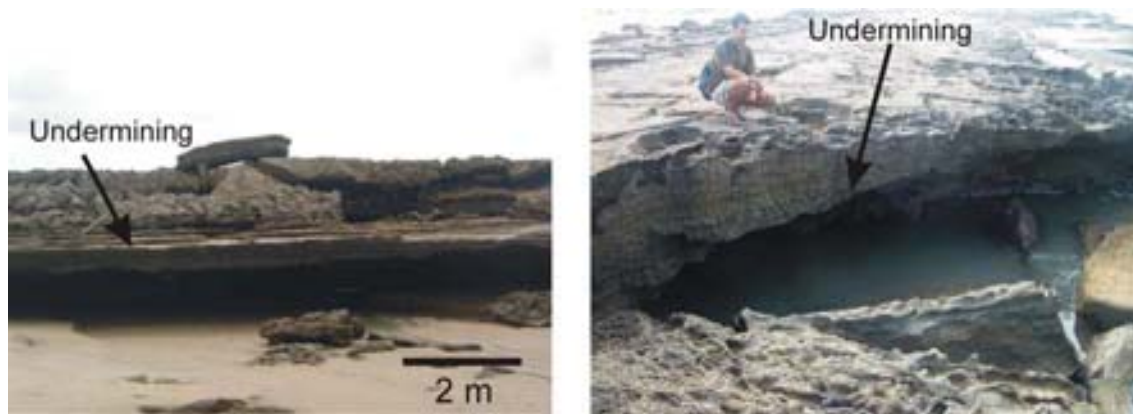


Figura 5.7 - Incisões basais ou *underminings* encontrados ao longo de toda a área estudada.

Tantas outras feições podem ser distinguidas nos corpos de arenito, algumas facilmente classificáveis, outras, nem tanto. No Nordeste, as feições superficiais em corpos de arenito são citadas desde Branner (1904), que as utilizou como forma de distinguir os diversos corpos de arenitos observados. Coube a Branner (1904), também, usando principalmente estas feições, classificar os corpos de arenito de praia em duas faces distintas:

A face externa dos arenitos de praia, voltada para o mar, apresenta-se geralmente coberta por organismos marinhos e encontra-se fraturado, formando grandes blocos, alguns dos quais já se separaram do corpo principal e estão submersos. Branner (1904) salientou que estes blocos, de modo geral, possuem um forte embricamento para o oceano e protegem a parte mais interna do corpo de arenito da ação das ondas.

A face interna dos arenitos de praia é menos larga do que aquela voltada para o mar. Esta face interna é formada por blocos menores dispersos ao longo da praia. A cobertura orgânica é praticamente inexistente e, em alguns trechos, são encontrados arenitos com cimentação incipiente.

5.3 Faces Longitudinais do Corpo de Arenito

Com base em estudos anteriores (Branner, 1904; Amaral, 2000; Amaral e Bezerra, 2004) que classificaram os arenitos de acordo com o grau de fraturamento, deslocamento dos blocos e aspectos geométricos, reconhecem também três unidades principais, (i) face externa, caracterizada pelo basculamento de blocos de arenito em direção ao oceano, (ii) face interna, formada por blocos de arenitos dispersos ao longo da praia, (iii) face central, é a zona do arenito que divide as outras duas unidades, separadas pelo mergulho das camadas em direções opostas. O aspecto a principal que diferencia as três faces estudadas é o aspecto de que a face central não foi deslocada de sua posição de origem pelo fraturamento (Fig. 5.8).

A face externa do arenito de praia é bem marcada, como pode ser visto nas fotografias aéreas de pequeno formato (Fig. 5.8), pela presença de uma superfície escura, que corresponde a uma camada orgânica, composta por algas, moluscos, crustáceos e equinodermas. É caracterizada, também, pelo basculamento de blocos de arenito em direção ao oceano. Nela ressalta-se uma plataforma plana sempre úmida, onde o intemperismo bioquímico está sempre presente. São observadas ainda estruturas, como marmitas, caldeirões, plataformas elevadas, fraturas e tantas outras formas provocadas pela dissolução das rochas (cimento carbonático) devido à atividade bioquímica.

A face interna do corpo é formada por blocos de arenitos dispersos ao longo da praia, de dimensões centimétricas a métricas, parcialmente soterrados pelas areias das praias atuais. A cobertura orgânica é praticamente inexistente e em alguns trechos são encontrados arenitos com cimentação incipiente.

A face interna corresponde a antigos canais de fluxo preservados ao longo de várias fases de deposição e, de modo geral, assenta-se, em sua porção mais oceânica, sobre as camadas mais antigas do corpo de arenito.

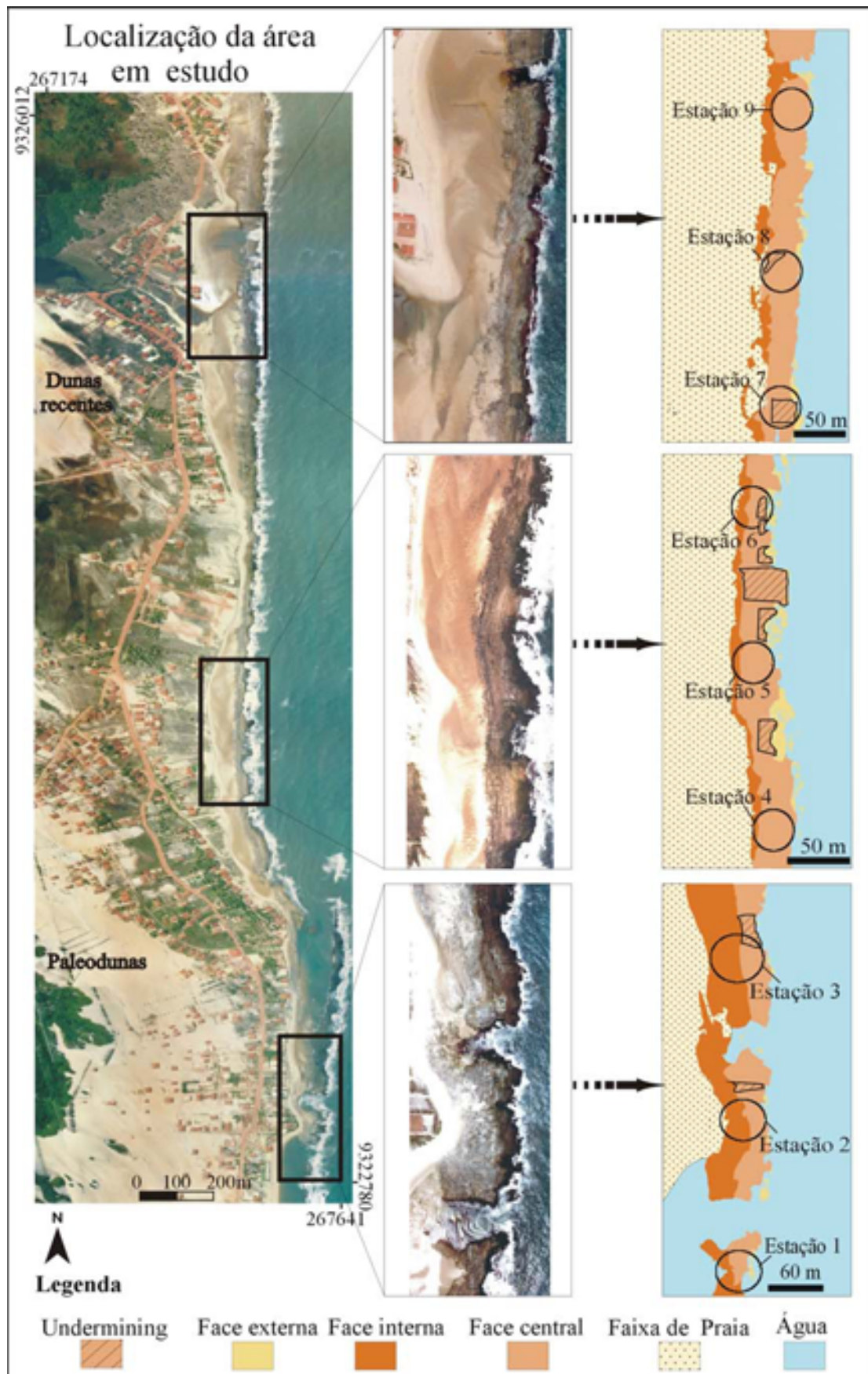


Figura 5.8 – Interpretação das fotografias aéreas com classificação das faces, delimitação dos *underminings* e localização das estações apresentadas na fig. 5.11 (modificado de Ferreira Júnior *et al.*, 2004 e Sena *et al.*, 2004)

A face central do corpo de arenito é marcada pela presença de blocos fraturados, com dimensões decimétricas a métricas, que se assentam parcialmente sobre o pacote mais antigo (face interna e externa). Sua expressão em planta é um mosaico de arenitos de forma variada. Em perfil, esta face é representada por unidade topo de dois pacotes mais expressivos de arenito, gerados no que se chamou de primeiro e segundo estágios (ou fases) de deposição e cimentação (Fig. 5.9).

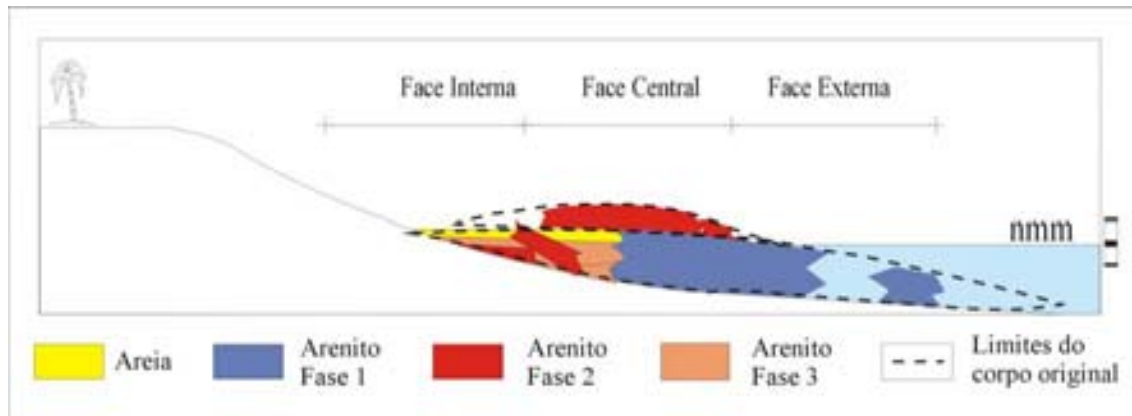


Figura 5.9 – Representação esquemática das fases evolutivas dos corpos de arenito de praia; nmm, nível médio do mar (modificado de Amaral, 2000).

A Figura 5.9 apresenta as fases de cimentação e erosão existentes na área em estudo segundo Amaral (2000). Sob condições de Nível Médio do Mar (NMM) mais elevado do que o atual, foi gerado o pacote sedimentar indicado na fase 1. Após um período de oscilação do NMM, o corpo original sofreu um processo inicial de erosão sub-aérea e em seguida houve a formação de um novo corpo, disposto sobre o corpo original (fase 2). Com o abaixamento do NMM até os níveis atuais, o segundo corpo permaneceu exposto, sendo então submetido a intenso intemperismo físico e químico, seguido de erosão (fase3).

Pacotes de sedimentos pertencentes às fases de sedimentação mais novas podem ou não ocorrer em dado perfil transversal. Assim, em certos trechos do corpo de arenito, não se observa vestígios destes blocos mais recentes sobre a plataforma mais antiga do corpo. Em outros trechos, os blocos mais recentes ocorrem na borda interna, entre o arenito de praia mais antigo e o continente, constituindo a face interna.

As descrições das faces longitudinais e das fases de deposição dos arenitos auxiliam no entendimento evolutivo desses corpos. O topo da superfície (face central) do arenito de praia apresenta uma descontinuidade entre as camadas que formam o corpo. Esta superfície é claramente perceptível nas fotografias aéreas, onde o topo é marcado pela presença de organismos marinhos e representa a fase de deposição e cimentação mais recente.

Desta forma, buscou-se inicialmente entender as principais relações entre os corpos de arenito (e suas várias fases de formação) e os demais elementos presentes na zona de praia. Neste contexto, verificou-se a importância da análise do padrão de fraturamento básico, apresentado por estes corpos e, se possível, de sua presumida origem. Este padrão de fraturamento é descrito adiante.

5.4 Padrão de Fraturamento

Este item trata dos resultados obtidos através de um estudo detalhado referente ao padrão de fraturamento dos arenitos de praia entre a praia de Camurupim e Barreta, onde foram adotadas medidas sistemáticas em nove estações.

Para este trabalho foi definido como fraturas toda superfície rochosa que sofreu uma ruptura, sendo conseqüentemente as superfícies através da qual o material perdeu a coesão. Essas fraturas podem ser distinguidas pelo movimento relativo que ocorreu através de suas superfícies durante a sua formação (Twiss e Moore, 1992).

Em termos gerais, classificou-se o padrão de fraturamento em quatro *sets* de juntas de acordo com a sua orientação. O termo *set* é utilizado para representar o conjunto de juntas que indicam a mesma direção. Juntas que são paralelas ao acamamento sedimentar e possuem direção aproximadamente N-S, foram denominadas de J_1 . O *set* J_1 segue em comum a variação local do acamamento do arenito de praia, ou seja, paralelo à linha de costa. O segundo *set* foi chamado de J_2 , possui direção E-W, sendo perpendicular ao acamamento sedimentar. Dois *sets* adicionais foram identificados. Eles são oblíquos ao acamamento sedimentar

e possuem orientação NE-SW e NW-SE e são chamados de J_3 e J_4 , respectivamente (Fig. 5.10).

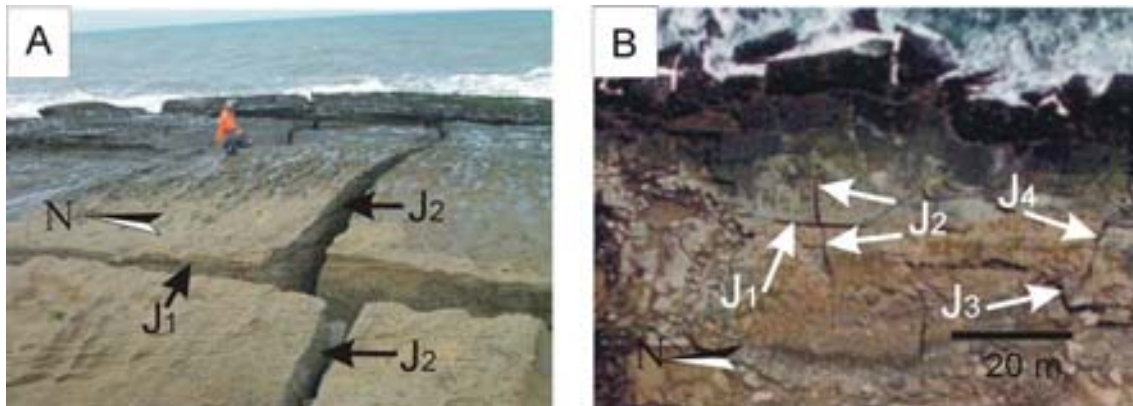


Figura 5.10 - A: Separação do arenito nos dois *sets* principais, abertura de J_1 e o cisalhamento de J_2 . B: Fotografia aérea evidenciando quatro *sets* de juntas.

Outras medidas tomadas referem-se ao comprimento das fraturas que varia de poucos centímetros a dezena de metros. J_1 e J_2 são as que apresentam maiores extensões, de 0,35 m a 46 m para J_1 e 0,26 m a 28 m para J_2 . Os *sets* J_3 e J_4 possuem comprimento entre 0,45 m a 24 m (Fig. 5.11). Também foi avaliado o espaçamento existente entre as juntas do mesmo *set*. Os *sets* J_1 e J_2 variam entre 0,4 m a 12,7 m e 0,25 a 16,9 m, respectivamente. O espaçamento de J_3 e J_4 varia entre 0,6 a 24 m (Tabela 4.1).

Os *sets* J_1 e J_2 são os mais regulares no que se refere à orientação com variação inferior a 20° , enquanto que J_3 apresenta uma variação de 30° de azimute e J_4 com 40° de azimute. O mergulho dos planos das juntas varia entre os *sets* de 60° a 90° (Tabela 4.1).

De acordo com a interpretação dos traços das juntas na superfície do arenito de praia (Fig. 5.11) e diagramas de rosetas (Fig. 5.12), observa-se que freqüentemente as juntas dos *sets* de J_1 e J_2 são maiores que os de J_3 e J_4 . Em todas as estações, as juntas J_3 e J_4 não são bem desenvolvidas como as juntas J_1 e J_2 . Juntas individuais de J_1 dentro da estação possuem traços entre 0,6 a 46 m de comprimento, já as juntas de J_2 têm traços de 0,25 a 28 m, e as dos *sets* J_3 e de J_4 têm traços com 0,45 a 17 m de comprimento. A abertura presente apresenta uma

pequena variação, onde em todos os *sets* variam entre 0,005 m a 0,22 m de fenda (Tabela 4.1).

Tabela 5.1 – Sumário da orientação e geometria dos sets de juntas.

Set de Junta	Orientação (Azimute)	Mergulho (Graus)	Comprimento (m)	Espaçamento (m)	Abertura (m)
J ₁	350° - 010° Az	65° - 90°	0,35 - 46,44	0,40 - 12,70	0,005 - 0,20
J ₂	080° - 100° Az	67° - 90°	0,26 - 27,82	0,25 - 16,91	0,005 - 0,18
J ₃	035° - 065° Az	61° - 90°	0,46 - 15,04	0,57 - 21,75	0,02 - 0,15
J ₄	295° - 335° Az	61° - 90°	0,50 - 16,62	0,56 - 24,13	0,02 - 0,22

As fraturas da área em estudo podem ser classificadas como juntas dos modos I (J₁) e III (J₂, J₃ e J₄). As juntas do modo I possuem movimento relativo perpendicular ao plano da junta (extensão), enquanto para o modo III, as juntas apresentam um movimento relativo paralelo ao mergulho do plano. Um modelo para exemplificação dos tipos de juntas da área em estudo é apresentado na Figura 5.13.

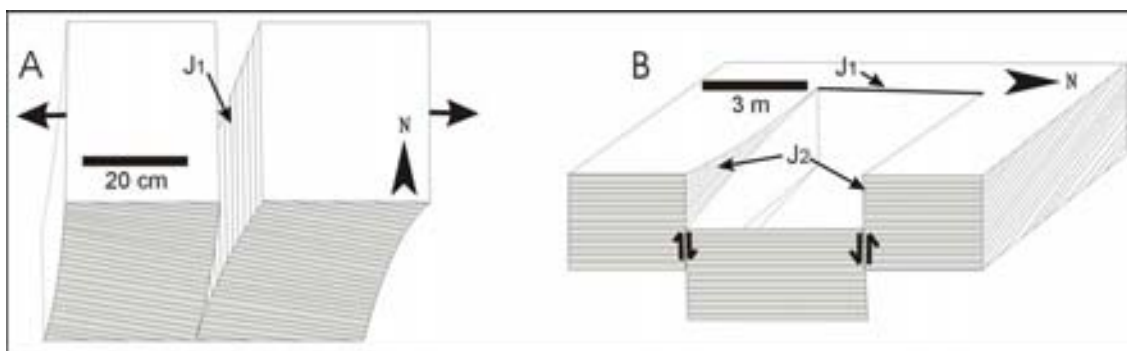


Figura 5.13 - A: Modo I ou fratura extensional (J₁). O deslocamento relativo é perpendicular ao plano da junta. B: Modo III ou zona de cisalhamento (J₂). O deslocamento relativo é paralelo ao mergulho do plano.

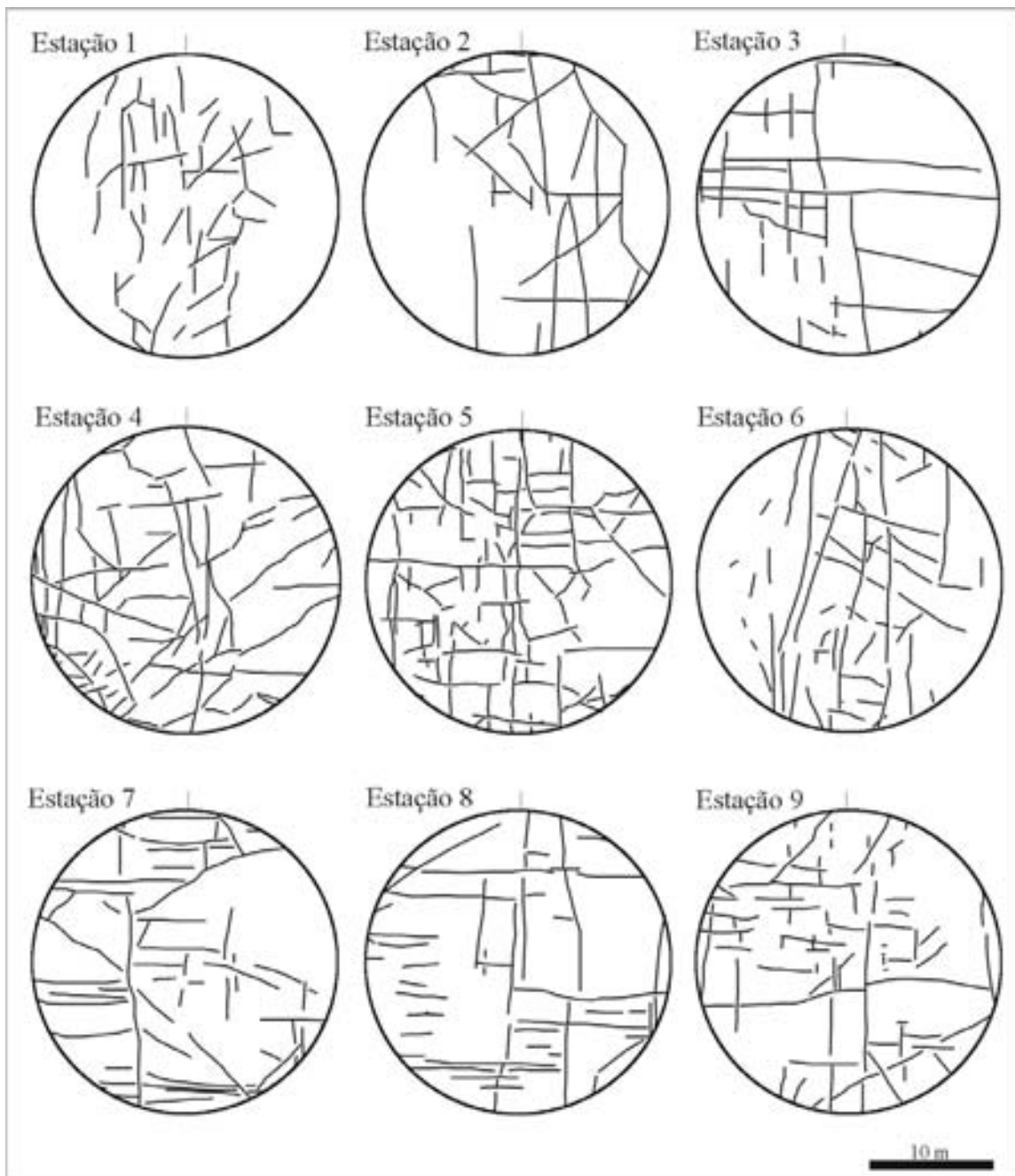


Figura 5.11 - Mapa dos traços dos sets de juntas na superfície dos arenitos Camurupim e Barreta (modificado de Ferreira Júnior *et al.*, 2004 e Sena *et al.*, 2004).

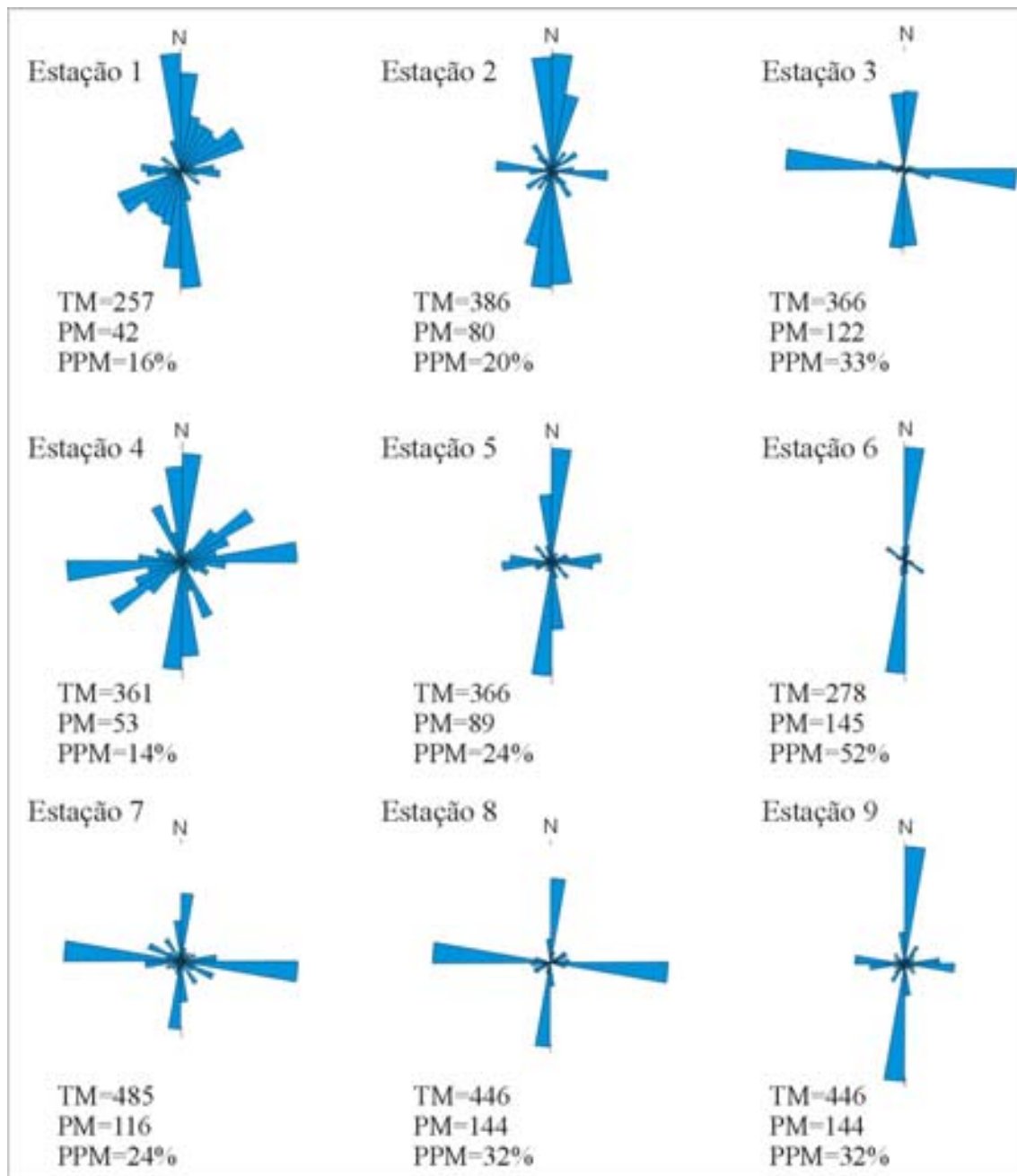


Figura 5.12 - Diagrama de roseta de frequência das juntas. Cada 1 m nos traços das juntas medidas nas FAPEFs equivale a uma unidade de medida nos diagramas. TM = total de medidas; PM = número de medidas da pétala maior; PPM = percentual de medidas da pétala maior (modificado de Ferreira Júnior *et al.*, 2004 e Sena *et al.*, 2004).

A abertura existente entre as fraturas ocasiona seu preenchimento por organismos marinhos, principalmente por vermetídeos, que são organismos marcadores do nível relativo do mar. Isto é observado nas fraturas da face externa do arenito de praia, principalmente entre as estações de 1 a 3, visto que estas estações estão apenas de 0,30 a 0,40 m acima do Nível Médio do Mar (NMM), enquanto que para as estações de 4 a 9 varia de 0,40 a 0,90 m acima do

NMM. A menor ocorrência de juntas preenchidas nas estações 4 a 9 são consistentes com a altura do arenito Camurupim que não favorece o crescimento de organismo de intermaré.

O preenchimento das fraturas por estes organismos possibilita uma idade relativa das juntas. Em algumas juntas foram identificadas duas gerações de preenchimento de vermitídeos.

Na Figura 5.14 podem ser observadas as duas gerações de preenchimento de vermitídeos no arenito Barreta, uma mais antiga, paleo vermitídeo, e outra em que os organismos ainda se encontram vivos, vermitídeo recente. Bezerra *et al.* (2003) através do método radiocarbono, obteve a idade calibrada de 460-270 anos AP, nos vermitídeos em regiões adjacentes. Considerado a abertura de aproximadamente 25 cm, é possível determinar uma taxa de preenchimento de 0,05-0,36 cm/ano. Por fim, observou-se a presença de duas gerações de preenchimento, o que indica que a abertura da junta ocorre em estágios.

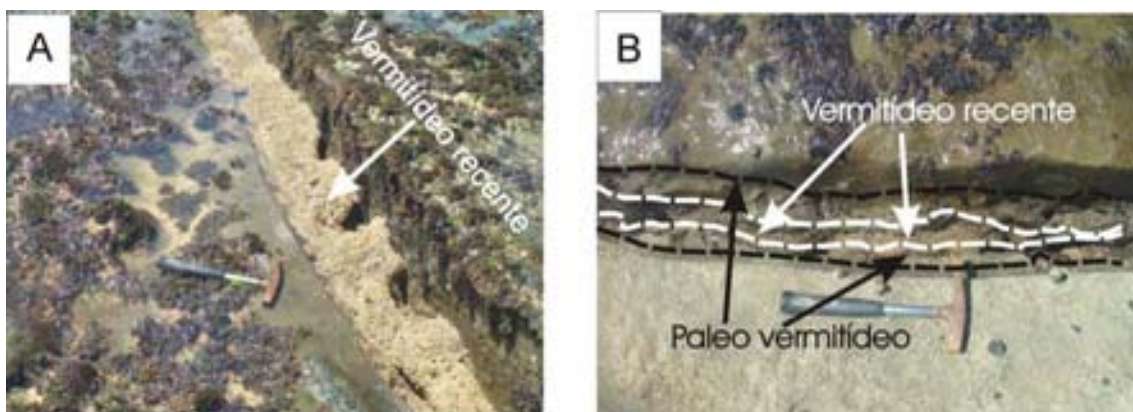


Figura 5.14 – A: Junta encontra-se parcialmente preenchida por um vermitídeo recente. B: Juntas preenchidas por duas gerações de vermitídeos.

Dados de campo indicam que as causas do fraturamento dos arenitos estão associadas a (i) altura do arenito acima do NMM, (ii) erosão na base do arenito, provocado por correntes litorâneas e ondas, (iii) por inclinação do bloco induzido pela gravidade.

A altura do arenito em relação ao Nível Médio do Mar é uma importante característica que provoca fraturas e erosão na base do corpo. O arenito Camurupim está aproximadamente 0,40 a 0,90 m acima do NMM, apresenta uma

ocorrência elevada de áreas com *undermining* e é o corpo que apresenta o grau mais elevado de fraturamento e blocos em colapso.

O processo mais importante no fraturamento dos corpos está associado com mecanismos relacionados à gravidade. As juntas foram formadas através de processos de deslizamento gravitacional. Os *underminings* são sugeridos aqui como o principal fator ativador para a erosão e formação das juntas observadas, e os quatro *sets* de juntas foram formados pelo deslizamento de blocos causados pela remoção do material abaixo dos corpos.

5.5 Evidências Paleontológicas

Este item trata da ocorrência da iconoespécie *Ophiomorpha nodosa* Lundgren (1891) situada ao sul do arenito de Barreta. De acordo com Fernandes *et al.* (2002) essa espécie é classificada por escavações simples ou ramificadas originando redes verticais, oblíquas ou horizontais, nas quais a superfície da parede externa é ornamentada por pelotas ovais ou discóides (nódulos). O *Ophiomorpha* tem sido atribuído à atividade de crustáceos decapóides do grupo dos calianassídeos. As espécies desses crustáceos passíveis de originar estruturas semelhantes, ainda são motivos de discussão, *Callichirus major*, por exemplo, é conhecido por produzir estruturas semelhantes.

A importância desse iconofóssil se justifica pelo fato de ser possível estabelecer a reconstrução paleoambiental de antigos níveis marinhos. Para Fernandes (2002) os iconofósseis podem auxiliar na documentação de taxa de sedimentação, servir como indicadores de profundidade, oxigenação e salinidade, permitindo o conhecimento sobre paleoambientes de sedimentação.

Barreto *et al.* (2002) identificaram pela primeira vez a presença da iconoespécie *Ophiomorpha nodosa* em rochas sedimentares pleitocênicas na costa norte do Rio Grande do Norte, usando-a na interpretação do paleoambiente deposicional.

De acordo com as evidências encontradas pelos autores, a presença de *Ophiomorpha nodosa*, nas rochas sedimentares indica que o ambiente

deposicional teria sido marinho costeiro, de águas agitadas de zonas intermarés. As principais evidências encontradas foram, a grande extensão das galerias verticais que podem refletir no regime mesomaré ainda existente na área e o acentuado paralelismo e a forte verticalidade dos tubos sugerem ambiente com alta taxa de sedimentação. A idade atribuída as rochas que contém o icnofóssil foi correlacionada ao estágio de culminação da *Transgressão Cananeense* ou *Penúltima Transgressão*.

Os tubos encontrados na praia de Barreta apresentam segmentos verticais e suavemente inclinados, curtos e irregulares, não ultrapassando 50 cm de comprimento e os diâmetros são variáveis entre 2 e 5 cm de largura. Sua composição é similar ao da matriz, formado principalmente por grãos grossos a muito grossos. As estruturas sedimentares mais comuns nesta área foram as estratificações cruzadas acanaladas e de baixo ângulo. A Figura 5.15 apresenta em detalhe os aspecto de *Ophiomorpha nodosa* na praia de Barreta, sendo descrito e classificado pela primeira vez.



Figura 5.15 - Vista em perfil de *Ophiomorpha nodosa* no arenito Barreta.

Os tubos localizados no arenito Barreta são comparáveis aos descritos por Barreto *et al.* (2002), sendo ambos formados em ambiente deposicional marinho de alta energia e de águas rasas intermaré (zona de estirâncio).

CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do mapeamento da zona costeira, em escala de detalhe, permitiu identificar e caracterizar as formas e usos de ocupação do solo, que facilitará futuras ações de monitoramento ambiental dessa área. Entre outros aspectos, este trabalho pode possibilitar uma análise temporal com os dados apresentados de uso/ocupação do solo e geologia/geomorfologia para acompanhar a mudança evolutiva da paisagem.

Os resultados obtidos no mapeamento de uso e ocupação do solo demonstram a existência de forte pressão humana na zona costeira (lotes edificadas e não edificadas), ocupando cerca de 54,74% de áreas ocupadas. Esse fato tem levado à degradação devido à expansão de loteamentos e empreendimentos turísticos. Contudo, vale ressaltar a existência de fragmentos de vegetação ao longo da área que necessita de ações no sentido da conservação, principalmente por meio da implementação de áreas naturais de proteção permanente.

A aquisição de dados com uso do GPS geodésico mostrou-se uma ferramenta eficaz, principalmente no que se refere à sua integração com o SIG, o qual foi capaz de produzir mapas digitais com nível de detalhamento de até 1:1.000. A conexão entre os dois sistemas permitiu uma maior velocidade na obtenção e tratamento dos dados georreferenciados.

O MDT apresentou-se como um importante recurso, tanto visual como funcional, sendo possível visualizar vários ângulos e representar em três dimensões o relevo da área em estudo. Essas representações foram obtidas a partir de uma seqüência de diferentes ângulos de visada em relação a superfície.

Dada a importância dos corpos de arenito de praia como um agente de proteção contra a erosão costeira, foram delimitadas faces nos arenitos com base em critérios geométricos, classificando-os em, face central, face externa, face interna, barreta e *undermiming*. Estes dois últimos associados à erosão e solapamento na base destes corpos.

A combinação da erosão química, biológica, e mecânica agem para destruir os corpos de arenito. Dados de campo indicam alguns fatores principais ativando o fraturamento e desmoronamento dos arenitos. Em alguns casos, o fraturamento dos blocos podem ser causados por tempestades severas que aumentam a energia das ondas. Porém, dados de campo indicam claramente que o processo mais importante no fraturamento dos corpos está associado com mecanismos relacionados à gravidade.

Conclui-se que as juntas foram formadas através de processos de deslizamento gravitacional. A erosão é causada por ondas e correntes litorâneas. *Underminings* são sugeridos aqui como o principal fator ativador para a erosão e formação das juntas que são observadas hoje, e os quatro *sets* de juntas foram formados pelo deslizamento de blocos causados pela remoção do material abaixo dos corpos.

Um ponto importante a ser destacado pelo caráter inédito e a descrição e caracterização da ocorrência nos arenitos de praia da iconoespécie *Ophiomorpha nodosa* localizado na praia de Barreta.

A morfologia da linha de costa apresenta mudanças em função da presença ou ausência de arenitos de praia. Verificou-se que a ocorrência de barretas é maior na parte norte, com um total de sete, ao passo que a porção sul apresenta três. O processo de embaiamento, que constitui reentrâncias na linha de costa da área de estudo, deriva diretamente da formação das barretas, daí porque estas ocorrem em maior amplitude na parte norte.

As FAPEFs mostraram-se eficientes na identificação de feições da zona costeira, fornecendo informações com riqueza de detalhes, comparáveis aos sistemas de sensores de alta resolução espacial. Ademais, este sistema apresenta custos bem inferiores aos sensores de satélites de alta resolução. Outro aspecto a ser considerado em relação às imagens com de alta resolução espacial, é que as FAPEFs possibilitam um maior detalhamento da área, permitindo identificar áreas não vistas, tornando possível a delimitação de feições dos arenitos de praia e das feições adjacentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandersson, T. 1972. Intergranular growth of marine aragonite and Mg calcite: evidence of precipitation from supersaturated sea-water. *Journal of Sedimentary Petrology*, **42**: 441-460.
- Alheiros, M. M. & Lima Filho, M. F. 1991. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e do Rio Grande do Norte – A Formação Barreiras, *Estudos Geológicos*, Série B, **10**: 77-88.
- Angulo, R. J. & Lessa, G. L. 1997. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia regions, *Marine Geology*. **140**: 141-166.
- Amaral, R. F. 2000. *Contribuição ao estudo da evolução morfodinâmica do litoral oriental sul do Rio Grande do Norte, entre Ponta de Búzios e Baía Formosa*. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Amaral, R. F. & Bezerra F. H. 1996. Geometria, sistema deposicional e idade dos *beachrocks* entre Ponta de Tabatinga e Tibau do Sul - Rio Grande do Norte. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, 1996, *Anais*, p. 164-165.
- Amaral, R. F. & Bezerra. F. H. B. 2004. Mapping beachrock fracturing and erosion using small format aerial photography in northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*. Special Issue v. 39. *in press*.
- Amaral, R. F. & Mendonça, F. J. B. 1997. Aquisição de geoinformações em costas planas e protegidas por linhas de arenito de praia, ao sul da cidade de Natal-RN, com o uso de fotografias aéreas de pequeno formato. In.: Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento, 3, *Anais*, Disponível em CD-Rom.
- Andrade, G. O. 1955. *Itamaracá: contribuição para o estudo geomorfológico da costa pernambucana*. Ofic. Est. Pernambuco, Recife, 84 p.
- Assis, H. M. B., Amaral R. F., Manso, V. A. V. 1990. Caracterização dos “beach rocks” do litoral sul de Pernambuco com base em evidências petrográficas e isotópicas. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 36. *Anais*, p. 635 - 645.
- Barbosa, J. A., Souza, E. M., Lima Filho, M. F., Neumann, V. H. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração, *Estudos Geológicos*, **13**: 89-108.

- Barreto A. M. F., Suguio, K., Bezerra, F. H. R. 2004. Geologia e geomorfologia do Quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, **4**: 1-12.
- Barreto, A. M. F., Suguio, K., Almeida, J. A. C., Bezerra, F. H. R. 2002. A presença da icnoespécie *Ophiomorpha nodosa* Lundgren em rochas sedimentares pleistocênicas da costa Norte-Riograndese e suas implicações paleoambientais. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **3**: 17-23.
- Beier, J. A. 1985. Diagenesis of Quaternary Bahamian beachrock: petrographic and isotopic evidence. *Journal of Sedimentary Petrology*, **55**: 755-761.
- Bezerra, F. H. R., Barreto, A. M. F., Suguio, K. 2003. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte state coast, Brazil. *Marine Geology*, **196**: 73-89.
- Bezerra, F.H.R., Amaro, V. E., Vita-Finzi, C. e Saadi, A. 2001. Pliocene – Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **14**: 61-75.
- Bezerra, F. H. R., Lima-Filho, F. P., Amaral, R. F., Caldas, L. H. O., Costa-Neto, L. X. 1998. Holocene coastal tectonics in NE Brazil. *In*: Stewart, I. S., Vita-Finzi, C. *Coastal Tectonics*. Geological Society, Special Publications, 146, p. 279-293.
- Bigarella, J. J. Reef sandstones from Northeastern Brazil (a survey on sedimentary structures). 1975. *In*: Simpósio Internacional sobre o Quaternário, 1, Academia Brasileira de Ciências, *Anais*, p. 395-410.
- Bittencourt, A. C. S., Martin, L., Vilas-Boas, G. S., Flexor, J. M. 1979. Quaternary marine formations of the state of Bahia (Brazil). *International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary Proceedings*, p. 232-253.
- Blitzkow, D. 1995. Navstar/GPS – Um desafio tornado realidade. *In*: Simpósio de Brasileiro de Geoprocessamento, 3, *Anais*, 427-462.
- Branner, J. C. 1902. Geology of the Northeast coast of Brazil. *Geol. Soc. America B. Colorado*, **13**: 41-98.
- Branner, J. C. 1904. The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations with a chapter of the coral reefs. *Harvard Coll. Mus. Comp. Zool. Bull.*, **44**: 1-285.
- Burrough, P. A. & Mcdonnell, R. A. 1998. *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, New York.

- Caldas, L. H. O. 1996. *Geologia costeira da região de São Bento do Norte e Caiçara, litoral norte potiguar*. Relatório (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Departamento de Geologia.
- Chaves, N. S. 2000. *Mecanismo de sedimentação em sedimentos marinhos recentes, exemplos beachrocks do litoral pernambucano*. (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista/Júlio de Mesquita Filho.
- CATRE/DPV, 2001. Dados sobre vento, temperatura, umidade relativa e pluviosidade para o período de 1971 a 2000 - Estação Meteorológica de Superfície de Natal. Comando da Aeronáutica, 3º Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo, Dest. de Prot. De Vôo de Natal.
- Coutinho, P. N. & Farias, C. C. 1979. Contribuição à origem dos recifes do Nordeste. In.: Simpósio de Geologia do Nordeste, 9, *Anais*, p.236-240.
- Darwin, C. 1841. On a remarkable bar of sandstone of Pernambuco on the coast of Brazil. *Magazin & Journal Sciences*, London, p. 257 – 261.
- Diniz, R. F. 2002. A erosão costeira ao longo do litoral oriental do Rio Grande do Norte: causas, conseqüências e influência nos processos de uso e ocupação da região costeira. (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- DHN. 1993. Atlas de Carta Piloto. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Marinha do Brasil. (2ª Edição).
- Dominguez, J. M. L., Bittencourt, A. C. S. P., Leão, Z. M. A. N., 1990. Geologia do Quaternário costeiro do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geociências*, **20**: 208-215.
- El-Sayed. M. Kh. 1988. Beachrock cementation in Alexandria, Egypt. *Marine Geology*, **80**: 29-35.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Embrapa Produção da Informação, Brasília. Embrapa, Solos, Rio de Janeiro, 412p.
- Felgueiras, C. A. 2001. Modelagem Numérica de Terreno. In: Câmara G. (ed.), *Introdução à ciência da geoinformação*. INPE, São José dos Campos. Disponível em < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>.
- Ferreira, Y. A. 1969. Recifes de arenito de Salvador, Bahia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. **41**: 542 - 548.

- Ferreira Jr, A V., Sena, E. S., Amaral, R. F. 2004. Morfologia costeira associada a arenitos de praia no litoral oriental do Rio Grande do Norte. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 42, *Anais*, Disponível em CD-Rom.
- Fernandes, A. C. S., Borghi, L., Carvalho, I. S., Abreu, C. J. 2002. *Guia dos icnofósseis de invertebrados do Brasil*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 260 p.
- Friedman, G. M., 1998. Rapidity of marine carbonate cementation – implications for carbonate diagenesis and sequence stratigraphy: perspective. *Sedimentary Geology*, **119**: 1-4.
- Ginsburg, R. N. & James, N. P. 1953. Beach rock in South Florida. *J. Sedimentary Petrology*, **23**: 85-92.
- Gischler, E. & Lomando, A.J., 1997. Holocene cemented beach deposits in Belize. *Sedimentary Geology*, **110**: 277-297.
- Gomes, J. R. C., Gatto, C. M. P., Sousa, G. M. C., Luz, D. S. Pires, J. L., Teixeira, W., França, F. A., Cabral, E. M. A., Menor, E. A., Monteiro, N., Barros, M. J. G., Ribeiro, E. G. Lima, E. A., Fonseca, R. A. Geologia e mapeamento regional. In: Projeto RADAMBRASIL /Ministério das Minas e Energia. Folhas SB. 24/25 Juagaribe/Natal. Rio de Janeiro, 1981. p.27-176. (Levantamento de recursos naturais, 23).
- Guerra, A. T. 1993. Dicionário geológico-geomorfológico. 8ª ed. IBGE, Rio de Janeiro, 446 p.
- HIDROCONSULT (Consultoria, Estudos e Projetos S.A). 1979. Estudo do Comportamento hidráulico do estuário e litoral adjacente à foz do Rio Potengi, Natal - Estado do Rio Grande do Norte. Relatórios Finais, Vol. I e II.
- IDEC- Fundação Instituto de Desenvolvimento do Rio Grande do Norte. 1991. *Diagnóstico Ambiental e Sócio-Econômico do Litoral Oriental do Estado do Rio Grande do Norte*. **1**: 165 p.
- Jones, B., Rossen, M. R., Renault, R. W. 1997. Silica-cemented beachrock from lake Taupo, North Island, New Zealand. *Journal of Sedimentary Research*, **67**: 805-814.
- Komar, P. D. 1976. *Beach process and sedimentation*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 417 p.
- Landim, P. M. B. 2000. *Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas*. UNESP, Rio Claro. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. (Texto Didático 02).

- Landim, P. M. B., Monteiro, R. C. e Corsi, A. C. 2002. *Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer*. UNESP, Rio Claro. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. (Texto Didático 08).
- Lima Filho, M. F. 1999. Stratigraphic evolution of the Pernambuco e Paraíba Basin and its implications for the development paleogeography of northeast of Brazil. *In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 7, Anais*, p. 34-36.
- Mabesoone, J. M. 1964. Origin and age of the sandstone reefs of Pernambuco (Northeastern Brazil). *J. Sedimentary Petrology*, **34**: 715-726.
- Mabesoone, J. M. & Rolim, J. L. 1973. Quaternário no nordeste oriental brasileiro. *Estudos Sedimentológicos - UFRN*, **3/4**: 89-130.
- Mabesoone, J. M. & Alheiros, M. M. 1988. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. *Revista Brasileira de Geociências*, **18**:476-482.
- Martin, L., Bittencourt, A. C. S. P., Vilas Boas, G. S. 1982. Primeira ocorrência de corais pleistocênios da costa brasileira - datação do máximo da penúltima transgressão. *Revista Ciências da Terra, SBG*, **3**: 16-17.
- Martin, L., Dominguez, J. L. M., Bittencourt, A. C. S. P. 2003. Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: Evidence from multiple fossil and geometric indicators. *Journal of Coastal Research*. **19**: 101- 124.
- Miller, W. R. & Mason, T. R. 1994. Erosional Features of Coastal Beachrock and Aeolianite Outcrops in Natal and Zululand, South Africa. *Journal of Coastal Research*, **10**: 374-394.
- Mitshita, E. A. 1994. Modelo digital de terreno e suas aplicações na área florestal. *In: Sensoriamento Remoto e SIG aplicados à Engenharia Florestal*, **1, Anais**, p. 49-60.
- Moore, C. H. Jr. 1973. Intertidal carbonate cementation, Grand Cayman, West Indies. *Journal of Sedimentary Petrology*. **43**: 591-602.
- Morais, J. O. 1967. Contribuição ao estudo dos “Beachrocks” do nordeste do Brasil. Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará. *Trabalhos Oceanográficos, Univ. Fed. Pernambuco*, **9**: 79-94,
- Muehe, D., Ignarra, S. 1984. Arenito de praia submerso em frente à praia de Itaipuaçu - RJ. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, **33, Anais**, p. 341-348.
- Nimer, E., 1989. Climatologia do Brasil. IBGE. Rio de Janeiro, 2ª edição.

- Peltier, W. R. 1998. Global glacial isostatic adjustment and coastal tectonics. *In*: Stewart, I. S., Vita-Finzi, C. *Coastal Tectonics*. Geological Society, Special Publications, 146, p. 1-29.
- Oliveira, M. I. M., Bagnoli., Farias, C. C., Nogueira, A. M. B, Santiago, M. 1990. Considerações sobre a geometria, petrografia, sedimentologia, diagênese e idades dos beachrocks do Rio Grande do Norte. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, *Anais*, p. 621-634.
- Prates, M. Gatto, L. C. S., Costa, M. I. P. 1981. Geomorfologia. *In*: PROJETO RADANBRASIL/ Ministério das Minas e Energia. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal. Rio de Janeiro, 23, p. 301-348. (Levantamento de Recursos Naturais).
- Russell, R. J. 1959. Caribbean beachrock. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 6: 227-236.
- Russell, R. J. 1962. Origin of beachrock. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 6: 1-16.
- Sena, E. S., Ferreira Jr, A V., Bezerra, F. H. R., Amaral, R. F. 2004. Fraturamento em arenitos praias no Brasil. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 42, *Anais*, Disponível em CD-Rom.
- Silva, J. X. 2001. *Geoprocessamento para análise ambiental*. J. Xavier da Silva. Rio de Janeiro.
- Stoddart, D. R. & Cann, J. R. 1965. Nature and origin of beachrock. *Journal of Sedimentary Petrology*, **35**: 243-247,
- Strasser, A., Davaud, E., Jedoui, Y., 1989. Carbonate cement in Holocene beachrock: example from Bahiret el Biban, southeastern Tunisia. *Sedimentary Geology*, **62**: 89-100.
- Suguio, K., Martin, L., Bittencourt, A. C. S. P., Dominguez, J. M. L.; Flexor, J. M.; Azevedo, A. E. G., 1985. Flutuações do nível do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Rev. Bras. Geociências*, **15**: 273-286.
- Suguio, K., 1992. Dicionário de geologia marinha. Ed. T.A. Queiroz, São Paulo. 172 p.
- Suguio, K., 1999. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais*. São Paulo, Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 366 p.
- Suguio, K. . 2003. *Geologia sedimentar*. Edgard Blücher, São Paulo, 400 p.

Twiss, R. J. & Moores, E. M. 1992. *Structural geology*. W.H. Freeman, 532p

Van Andel, T. H. & Laborel, J. 1964. *Recent high relative sea level stand near Recife, Brasil. Reprinted from Science, 3632: 580 – 581.*