



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA – CPGG

MORFOLOGIA E MUDANÇAS COSTEIRAS DA MARGEM LESTE DA ILHA DE  
MARAJÓ (PA)

Doutoranda : Prof.<sup>a</sup> Msc. Carmena Ferreira de França

Orientador : Prof. Dr. Maâmar El-Robrini

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho

Janeiro/2003



**Universidade Federal do Pará**

**Centro de Geociências**

**Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**MORFOLOGIA E MUDANÇAS COSTEIRAS DA MARGEM LESTE DA ILHA DE MARAJÓ (PA)**

TESE APRESENTADA POR

**CARMENA FERREIRA DE FRANÇA**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de GEOLOGIA.**

**Data de Aprovação:** 27 / 02 / 2003

Co-orientador: Prof. Dr. **PEDRO WALFIR MARTINS E SOUZA FILHO**

Comitê de Tese:

-----  
MAÂMAR EL-ROBRINI (Orientador)

-----  
MARIATHEREZARIBEIRODA COSTA PROST

-----  
ADMILSON MOREIRA TORRES

-----  
ODETE DE FÁTIMA MACHADO DA SILVEIRA

-----  
MAURÍCIO DA SILVA BORGES

---

**Belém**

---

**T FRANÇA, Carmena Ferreira de**

F814m **Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da Ilha de Marajó (PA) ;**  
orientador, Maâmar El-Robrini: [s.n], 2003.

144p. il.

Tese (Doutorado em Geologia) – Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, CG, UFPA, 2003.

1. GEOMORFOLOGIA. 2. ZONA COSTEIRA 3. MANGUEZAL 4. SENSORIAMENTO REMOTO 5. AMAZÔNIA  
I. EL-ROBRINI, Maâmar, Orient. II.SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins e, Co-orient. III. Título.

**CDD: .551.45**

Ao meu esposo Iran França, pelo amor,  
pela paciência de esperar e pelo  
companheirismo de sempre.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho não seria possível sem a participação de instituições e profissionais de várias áreas, cuja colaboração permitiu a realização das várias etapas da pesquisa e do próprio manuscrito. Presto meus sinceros agradecimentos:

Ao Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará que, através do Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (CPGG), ofereceu a oportunidade e a infraestrutura necessária; e ao Prof. Dr. Paulo Gorayeb, coordenador, pelos esclarecimentos e cooperação tantas vezes dispensados;

Ao Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT), aos técnicos Lourival Silva Júnior e Helenice Silva, aos colegas Fábio Júlio Colares e Francisco Costa, pela colaboração no processamento e tratamento das imagens de satélite Landsat e na preparação dos mapas temáticos;

Ao Laboratório de Sedimentologia e ao técnico João Lopes Filho pelo auxílio no tratamento e análise granulométrica dos sedimentos praias;

Ao Departamento de Geofísica e ao técnico Alberto Leandro de Melo pelo tratamento dos perfis topográficos praias e cálculo de volume sedimentar;

Ao Laboratório de Sedimentos e Solos, do MPEG, e ao técnico José Maximiano Lopes pelo processamento dos testemunhos *push-core* e *vibra-core*;

Ao Departamento de Botânica, do MPEG, e ao taxonomista Luiz Carlos Lobato pelo trabalho de identificação das amostras de espécies vegetais de mangue, campo e restinga;

À Unidade de Análises Espaciais (UAS) e aos Laboratórios de Sensoriamento Remoto da SUDAM e da EMBRAPA pela concessão das imagens Landsat.

Aos professores e colegas:

Prof. Dr. Maâmar El-Robrini, orientador, pelas sugestões ao manuscrito da tese, pelo financiamento dos trabalhos de campo e pela liberdade de trabalho;

Prof. Dr. Pedro Walfir M. Souza Filho, co-orientador desta tese, pela orientação nas técnicas de processamento digital e interpretação das imagens de satélite, pelas sugestões

aos trabalhos de campo, pelas correções e críticas aos mapas temáticos e ao manuscrito final;

Dra. Maria Thereza Prost, Dr. Admilson Torres, Dr. Werner Truckenbrodt, Dra. Odete Silveira e doutoranda Valdenira Santos que, desde a Qualificação, têm contribuído para a melhoria deste trabalho;

Prof. Dr. Maurício Borges que, integrando a banca de avaliação final, vem enriquecer este trabalho com importantes contribuições;

Prof. Dr. João Batista Sena Costa pelas correções e críticas ao capítulo 3 desta tese;

Dra. Dilce Rossetti pela orientação na análise dos testemunhos *vibra-core*;

Doutorando Emídio Júnior pela interpretação estratigráfica das falésias de Salvaterra;

Doutorando Adilson Soares Júnior pelas discussões sobre as estruturas neotectônicas da Ilha de Marajó;

Dra. Eva Abufaiad, proprietária da Fazenda Bom Jesus (Soure), pelo apoio logístico aos trabalhos de campo;

Aos amigos Marcos Gleidson, Marcelo Moreno, Helena El-Robrini e ao técnico Afonso Quaresma, pelas discussões, sugestões e colaboração nos levantamentos topográficos e testemunhagens *push-core* e *vibra-core*;

Ao bibliotecário Hélio Martins pela correção das normas editoriais;

E, em especial, ao meu marido, Iran França, meu principal incentivador e colaborador, que me sustentou o ânimo e a perseverança diante das dificuldades.

“... sois Espíritos eternos, em viagem educativa na escola e na oficina do Planeta! Ao término da jornada, conhecereis o que aprendestes e colhereis o que semeastes. A Terra é tão somente a estalagem a que chegastes ontem e da qual partireis amanhã! Acumulai os tesouros da felicidade futura, aperfeiçoando-vos pelo estudo e servindo aos outros, quanto puderdes... Sobretudo, meditai nos outros viajores em condições mais difíceis que as vossas e aproveitai o vosso privilégio de entender e de auxiliar.”

*Emmanuel (Chico Xavier)*

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| <b>DEDICATÓRIA</b>                                       | i    |
| <b>AGRADECIMENTOS</b>                                    | ii   |
| <b>EPIGRAFE</b>  | iv   |
| <b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b>                              | x    |
| <b>FIGURAS</b>   | x    |
| <b>TABELAS</b>   | xiii |
| <b>RESUMO</b>  | 1    |
| <b>ABSTRACT</b>  | 3    |
| <br>   |      |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>                                      | 5    |
| 1.1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS                             | 5    |
| 1.2 ÁREA DE ESTUDO                                       | 8    |
| 1.2.1 Unidades morfológicas                              | 9    |
| 1.2.2 Condições hidrográficas                            | 9    |
| 1.2.3 Cobertura vegetal                                  | 9    |
| 1.2.4 Condições climáticas e meteorológicas              | 10   |
| <b>2 METODOLOGIA</b>                                     | 11   |
| 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA                                | 11   |
| 2.2 TRATAMENTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM LANDSAT | 11   |
| 2.2.1 Correção geométrica                                | 11   |
| 2.2.2 Cálculo de erros                                   | 12   |
| 2.3 ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS                        | 12   |
| 2.4 TRABALHOS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO                  | 13   |
| 2.4.1 Levantamento topográfico                           | 15   |
| 2.4.2 Volume sedimentar                                  | 17   |
| 2.4.3 Coleta e tratamento de amostras arenosas praias    | 17   |
| 2.4.4 Coleta e identificação de amostras de vegetação    | 18   |
| 2.4.5 Realização de testemunhagens                       | 18   |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>3</b>     | <b>QUADRO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO REGIONAL E CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DA MARGEM LESTE DA ILHA DE MARAJÓ (PA)</b> | <b>20</b> |
| 3.1          | INTRODUÇÃO   | 20        |
| 3.2          | UNIDADES MORFOESTRUTURAIS, MORFOCLIMÁTICAS E GEOMORFOLÓGICAS DA ILHA DE MARAJÓ   | 21        |
| 3.3          | UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS E OSCILAÇÕES DO NÍVEL DO MAR, NO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ                                 | 22        |
| 3.4          | QUADRO TECTÔNICO E NEOTECTÔNICO DA ILHA DE MARAJÓ E ÁREAS ADJACENTES   | 26        |
| 3.5          | ASPECTOS PALEOGEOGRÁFICOS E PALEOCLIMÁTICOS DURANTE O CENOZÓICO SUPERIOR   | 28        |
| 3.6          | CONTRASTE FISIOGRÁFICO ENTRE AS COSTAS DE SOURE E SALVATERRA   | 30        |
| 3.7          | CONCLUSÕES   | 33        |
| <b>4</b>     | <b>COMPARTIMENTAÇÃO MORFOLÓGICA DA ZONA COSTEIRA DE SOURE E SALVATERRA</b>   | <b>35</b> |
| 4.1          | INTRODUÇÃO   | 35        |
| 4.2          | COMPARTIMENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA ZONA COSTEIRA DE SOURE E SALVATERRA                                     | 36        |
| <b>4.2.1</b> | <b>Planalto costeiro</b>   | <b>36</b> |
| <b>4.2.2</b> | <b>Planície costeira</b>   | <b>40</b> |
| 4.2.2.1      | Terraços arenosos  | 41        |
| 4.2.2.2      | Planície lamosa de supramaré (campos)  | 42        |
| 4.2.2.3      | Planície lamosa de intermaré (manguezais)  | 44        |
| 4.2.2.4      | Cordões arenosos antigos (cheniers)  | 46        |
| 4.2.2.5      | Cordões arenosos de dunas e praias atuais  | 48        |
| 4.2.2.6      | Canais de maré e deltas de maré vazante  | 51        |
| 4.3          | CONCLUSÕES   | 52        |
| <b>5</b>     | <b>ANÁLISE FACIOLÓGICA E ESTRATIGRÁFICA DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SOURE</b>  |           |

|  |    |
|--|----|
|  | 54 |
| 5.1 INTRODUÇÃO   | 54 |
| 5.2 ASSOCIAÇÃO DE FACIES ESTRATIGRÁFICAS E AMBIENTES<br>DEPOSICIONAIS DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SOURE                                  | 55 |
| <b>5.2.1 Descrição das associações de facies estratigráficas</b>   | 56 |
| 5.2.1.1 Associação de facies de planície de maré   | 57 |
| 5.2.1.2 Associação de facies de manguezal  | 58 |
| 5.2.1.3 Associação de facies de barra de canal de maré   | 58 |
| 5.2.1.4 Associação de facies de praia  | 58 |
| 5.2.1.5 Associação de facies de duna   | 59 |
| <b>5.2.2 Sucessão de ambientes deposicionais na planície costeira de Soure</b>   | 59 |
| 5.3 MODELO DE SEDIMENTAÇÃO HOLOCÊNICA DA PLANÍCIE COSTEIRA<br>DE SOURE   | 68 |
| 5.4 CONCLUSÕES   | 74 |
| <b>6 MUDANÇAS MORFOLÓGICAS COSTEIRAS DE MÉDIO PERÍODO<br/>ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT, DA MARGEM LESTE DA ILHA DE<br/>MARAJO (PA)</b> | 76 |
| 6.1 INTRODUÇÃO   | 76 |
| 6.2 MUDANÇAS MORFOLÓGICAS DA COSTA DE SOURE E SALVATERRA,<br>NOS ÚLTIMOS 15 ANOS   | 77 |
| <b>6.2.1 Variações da linha de costa</b>   | 78 |
| 6.2.1.1 Interface manguezal – cordão arenoso duna/praias   | 78 |
| 6.2.1.2 Interface falésia – cordão arenoso praias  | 80 |
| 6.2.1.3 Interface campo – cordão arenoso duna/praias   | 81 |
| <b>6.2.2 Migração de desembocaduras de canais de maré e desenvolvimento de<br/>praias-barreiras</b>                                  | 83 |
| 6.3 CONCLUSÕES   | 89 |
|  | 91 |
| <b>7 VARIABILIDADE SAZONAL DOS PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E</b>   |    |

|  |     |
|--|-----|
| <b>GRANULOMÉTRICOS DAS PRAIAS ESTUARINAS DE SOURE E SALVATERRA</b>                                     |     |
| 7.1 INTRODUÇÃO   | 91  |
| 7.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E METEOROLÓGICAS DA COSTA DE SOURE E SALVATERRA                       | 92  |
| 7.3 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DOS PERFIS PRAIAIS ENTRE OS PERÍODOS CHUVOSO E O SECO DE 2001 | 95  |
| <b>7.3.1 Soure</b>   | 95  |
| <b>7.3.2 Salvaterra</b>  | 98  |
| 7.4 VARIAÇÃO DE VOLUME SEDIMENTAR DOS PERFIS PRAIAIS ENTRE O PERÍODO CHUVOSO E O SECO DE 2001          | 100 |
| 7.5 VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS PRAIAIS DE SOURE E SALVATERRA, ENTRE O PERÍODO CHUVOSO E O SECO | 102 |
| <b>7.5.1 Soure</b>   | 102 |
| <b>7.5.2 Salvaterra</b>  | 104 |
| 7.6 RELAÇÃO ENTRE AS VARIAÇÕES MORFOLÓGICA E GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS PRAIAIS DE SOURE E SALVATERRA   | 106 |
| 7.7 CONCLUSÕES   | 109 |
| <b>8 ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO AO GERENCIAMENTO COSTEIRO DE SOURE E SALVATERRA</b>         | 111 |
| 8.1 INTRODUÇÃO   | 111 |
| 8.2 ANÁLISE DOS RISCOS AMBIENTAIS DA ZONA COSTEIRA DE SOURE E SALVATERRA                               | 112 |
| <b>8.2.1 Caracterização morfológica e erosão costeira</b>  | 112 |
| <b>8.2.2 Análise dos riscos à erosão a partir das mudanças costeiras nos últimos 15 anos</b>           | 115 |
| 8.3 ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO AO GERENCIAMENTO COSTEIRO                                    | 119 |
| <b>8.3.1 Áreas de preservação permanente</b>   | 122 |
| <b>8.3.2 Áreas adequadas à ocupação</b>  | 122 |
| <b>8.3.3 Áreas de risco à ocupação</b>   | 123 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>8.3.4 Áreas de degradação ambiental</b>                                | 123 |
| 8.4 REQUISITOS PARA O PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DA ZONA COSTEIRA       | 123 |
| 8.5 CONCLUSÕES  | 124 |
| <b>9 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>   | 126 |
| 9.1 HISTÓRIA GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA MARGEM LESTE DA ILHA DE MARAJÓ | 126 |
| 9.2 DINÂMICA COSTEIRA ANALISADA A PARTIR DE IMAGENS DE SENSORES REMOTOS   | 128 |
| 9.3 MUDANÇAS COSTEIRAS SAZONAIS   | 128 |
| 9.4 VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA                                      | 130 |
| 9.5 RECOMENDAÇÕES   | 131 |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>   | 132 |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Localização da área de estudo  | 8  |
| Figura 2 – Localização dos perfis topográficos  | 16 |
| Figura 3 – Localização dos testemunhos do tipo <i>push-core</i> e <i>vibra-core</i>   | 19 |
| Figura 4 – Unidades morfoestruturais da Ilha de Marajó (adaptado do Projeto Radam 1974) e localização da área de estudo   | 22 |
| Figura 5 – Arcabouço tectônico simplificado da costa norte do Brasil (adaptado de Costa <i>et al.</i> 2002)   | 27 |
| Figura 6 – Principais estruturas do Quaternário da região nordeste do Estado do Pará (adaptado de Costa <i>et al.</i> 1996)   | 27 |
| Figura 7 – Interpretação dos principais elementos estruturais das costas de Soure e Salvaterra  | 31 |
| Figura 8 – <i>Facies</i> reconhecidas nos afloramentos da Formação Barreiras, nas falésias de Salvaterra  | 32 |
| Figura 9 – Mapa morfológico da zona costeira de Soure e Salvaterra  | 37 |
| Figura 10 – A e B) Seqüências estratigráficas, limites de seqüência e <i>facies</i> sedimentares reconhecidas nas falésias de Salvaterra, com base em Rossetti (2001) | 38 |
| Figura 11 – Perfis morfológicos mostrando o limite entre planalto costeiro e a planície de maré   | 39 |
| Figura 12 – Limite topográfico e vegetacional abrupto entre o terraço arenoso e o manguezal (Soure)   | 42 |
| Figura 13 – Planície lamosa de supramaré recoberta por vegetação campestre. Ao fundo, contato abrupto com o planalto costeiro   | 43 |
| Figura 14 – Testemunhos <i>push-core</i> C1 e C2 em área de planície lamosa de supramaré  | 44 |
| Figura 15 – Características morfológicas de um cordão arenoso antigo, situado a 1 km a oeste da atual linha de costa  | 47 |
| Figura 16 – Perfil morfológico da praia do Pesqueiro (Soure), mostrando os diferentes sub-ambientes praias  | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 17 – Perfil morfológico da praia Grande (Salvaterra), mostrando os diferentes sub-ambientes praias  | 51 |
| Figura 18 – Mapa morfológico de Soure e localização dos testemunhos <i>vibra-core</i>  | 56 |
| Figura 19 - Perfil estratigráfico “Bom Jesus” (TBJ)  | 60 |
| Figura 20 - Perfil estratigráfico “Pesqueiro 1” (TP1)  | 61 |
| Figura 21 – Perfil estratigráfico “Cajuúna” (TC)   | 63 |
| Figura 22 – Perfil estratigráfico “Pesqueiro 2” (TP2)  | 64 |
| Figura 23 - Perfil estratigráfico “Araruna” (TA)   | 66 |
| Figura 24 – Perfil estratigráfico “Garrote” (TG)   | 67 |
| Figura 25 – Seção estratigráfica da porção proximal (A-A’) da planície costeira de Soure.  | 69 |
| Figura 26 – Seção estratigráfica da porção distal (B-B’) da planície costeira de Soure   | 70 |
| Figura 27 – Seção estratigráfica transversal (C-C’) da planície costeira de Soure  | 71 |
| Figura 28 – Coluna estratigráfica da planície costeira de Soure  | 72 |
| Figura 29 - Áreas progradacionais e retrogradacionais na interface manguezal/cordão duna-praia, da costa de Soure, entre 1986/1995, 1995/1999 e 1999/2001. | 79 |
| Figura 30 – Áreas progradacionais e retrogradacionais da costa de Salvaterra, entre 1986/1995, 1995/1999 e 1999/2001                                       | 82 |
| Figura 31 - Migração das desembocaduras dos principais canais de maré de Soure e Salvaterra, entre 1986 e 1995   | 85 |
| Figura 32 – Processos e feições morfológicas decorrentes da acreção costeira   | 87 |
| Figura 33 – Processos e feições morfológicas decorrentes da erosão costeira  | 88 |
| Figura 34 – Comportamento morfológico do perfil da praia do Pesqueiro, entre os períodos chuvoso e seco de 2001  | 96 |
| Figura 35 – Comportamento morfológico do perfil da praia do Araruna, entre os períodos chuvoso e seco de 2001  | 96 |
| Figura 36 – Comportamento morfológico do perfil da praia do Garrote, entre os períodos chuvoso e seco de 2001  | 97 |
| Figura 37 – Variação da posição da linha de maré alta (LMA), nos perfis praias de Soure, de fevereiro a novembro de 2001                                   | 97 |
| Figura 38 – Comportamento morfológico do perfil 1 da praia Grande de Salvaterra,   |    |

|  |     |
|--|-----|
| entre o período chuvoso e seco de 2001   | 99  |
| Figura 39 – Comportamento morfológico do perfil 2 da praia Grande de Salvaterra, entre o período chuvoso e seco de 2001  | 99  |
| Figura 40 – Variação da posição da linha de maré alta (LMA), nos perfis 1 e 2 da praia Grande, de fevereiro a novembro de 2001   | 100 |
| Figura 41 – Variação de volume sedimentar das praias de Soure, de fevereiro a novembro de 2001   | 101 |
| Figura 42 – Variação de volume sedimentar dos perfis 1 e 2 da praia Grande, de fevereiro a novembro de 2001  | 101 |
| Figura 43 – Variação textural (tamanho médio) das amostras arenosas das linhas de maré alta (LMA) e zonas de estirâncio, dos perfis praias de Soure, de fevereiro a novembro de 2001                                     | 103 |
| Figura 44 – Variação textural (seleção) das amostras arenosas das linhas de maré alta e zonas de estirâncio, dos perfis praias de Soure, de fevereiro a novembro de 2001   | 103 |
| Figura 45 – Variação textural (tamanho médio) das amostras arenosas das linhas de maré alta (LMA) e zonas de estirâncio, da praia Grande (perfis 1 e 2) de fevereiro a novembro de 2001                                  | 105 |
| Figura 46 - Variação textural (seleção) das amostras arenosas das linhas de maré alta (LMA) e zonas de estirâncio, da praia Grande (perfis 1 e 2) de fevereiro a novembro de 2001  | 105 |
| Figura 47 – As taxas de recuo da linha de costa, nos últimos 15 anos, caracterizam o litoral de Soure como de alto risco face à erosão   | 114 |
| Figura 48 - O recuo da linha de costa, em Salvaterra, acarreta o desmoronamento das falésias   | 115 |
| Figura 49 – Posição das linhas de maré alta (LMA) e de maré baixa (LMB), extraídas das imagens Landsat de 1995 e 2001, e tendência de transporte sedimentar de acordo com a forma e a distribuição das feições costeiras | 117 |
| Figura 50 – Mapa geoambiental da zona costeira de Soure e Salvaterra   | 120 |
| Figura 51 – Perfil morfológico mostrando as diferentes unidades ao longo do transecto A-A' (Soure)   | 121 |
| Figura 52 – Perfil morfológico mostrando as diferentes unidades ao longo do transecto  |     |

**TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Dados dos sensores utilizados e das condições de maré durante os imageamentos  | 11 |
| Tabela 2 – Margem de erro geométrico de cada imagem e de erro geométrico cumulativo de cada período de tempo, com base nos erros dos pontos de controle | 12 |
| Tabela 3 – Períodos e atividades de campo desenvolvidos entre 2000 e 2001   | 14 |
| Tabela 4 – Coluna estratigráfica do Cenozóico Superior, nas Plataformas do Pará e Bragantina (adaptado de Rossetti 2001)                                | 24 |

## RESUMO

A margem leste da Ilha de Marajó (Estado do Pará) apresenta uma diversidade de feições morfológicas, resultantes das oscilações relativas do nível do mar, da neotectônica e da dinâmica costeira, durante o Cenozóico Superior. As variações do nível do mar, do Mioceno ao Holoceno, controlaram a deposição da Formação Barreiras e dos sedimentos Pós-Barreiras, que formam o planalto costeiro, e dos ambientes sedimentares que constituem a atual planície costeira. As estruturas neotectônicas regionais, representadas pelos sistemas de falhas transcorrentes NE-SW e de falhas normais NW-SE, influenciam, em nível local, a distribuição das unidades de relevo e o traçado retilíneo ou anguloso dos principais cursos fluviais e da linha de costa.

A compartimentação do relevo costeiro mostra duas principais unidades: o planalto e a planície costeira. O planalto costeiro representa um relevo aplainado com suaves ondulações e cotas topográficas entre 5 e 15 m. O contato com a planície costeira é abrupto, formando falésias “mortas” e ativas. A planície costeira constitui um relevo plano e de baixo gradiente, com cotas abaixo de 5 m, o que favorece as inundações pela maré e a mobilidade sedimentar.

As mudanças costeiras de longo período, relativas aos últimos 5.000 anos, resultaram na progradação da linha de costa, sob condições regressivas ou de mar estável, durante o Holoceno, com o desenvolvimento de planícies de maré e manguezais, e posterior retrogradação com migração de cordões de praias e dunas sobre depósitos de maguezal. As sucessões estratigráficas Progradacional e Retrogradacional da planície costeira de Soure, são condizentes com a Sucessão Regressiva ou de Mar Estável (S2) e com a Sucessão Transgressiva Atual (S3), do modelo evolutivo proposto para as planícies costeiras de Bragança, Salinópolis, Marapanim e São João de Pirabas.

A dinâmica costeira de médio período (1986/2001) é representada por mudanças morfológicas, resultantes da ação interativa de processos gerados por ondas, correntes, marés e ventos, que acarretaram a variação na posição da linha de costa. A costa de Soure e Salvaterra esteve submetida, nos últimos 15 anos, ao predomínio de processos erosionais, caracterizados pela retrogradação da linha de costa. O total de áreas erodidas variou de 0,89 km<sup>2</sup> (1986/1995), para 0,38 km<sup>2</sup> (1995/1999) e 0,75 km<sup>2</sup> (1999/2001). Enquanto que as

áreas em progradação somaram 0,21 km<sup>2</sup> (1986/1995), 0,32 km<sup>2</sup> (1995/1999) e 0,08 km<sup>2</sup> (1999/2001).

As mudanças costeiras de curto período envolvem a variabilidade morfológica e granulométrica dos perfis topográficos praias de Soure e Salvaterra, entre os períodos chuvoso e o seco, monitorados em 2001. As mudanças sazonais representam uma resposta dos perfis praias às variações de amplitude das marés, de energia das ondas, correntes de maré e ventos, à disponibilidade de sedimentos, à compartimentação e ao gradiente costeiro.

Em Soure, a fase erosiva (fevereiro e abril, período chuvoso e de maiores sizígias da região), mostrou: retração da linha de maré alta (21 m), diminuição da pós-praia (13 m), deslocamento paralelo das zonas de estirâncio, perda sedimentar, aumento granulométrico (2,81 a 2,94  $\phi$ , areia fina), e melhoria da seleção (0,24 a 0,33, muito bem selecionado). A fase acrecional (julho a novembro, período seco e de ventos mais fortes), apresentou: extensão da linha de maré alta (82 m), alargamento da pós-praia (48 m), ganho sedimentar (+339,25 m<sup>3</sup>), diminuição granulométrica (2,86 a 3,10  $\phi$ , areia fina a muito fina) e piora da seleção (0,28 a 0,40, muito bem a bem selecionado). Em Salvaterra, a fase acrecional (fevereiro e abril) mostrou: extensão da linha de maré alta (29 m), alargamento da pós-praia (13 m) e aumento do volume praias. No perfil 1, houve aumento granulométrico (0,84  $\phi$ , areia grossa) e piora da seleção (0,51, moderadamente selecionado). No perfil 2, ocorreu afinamento do grão (1,49  $\phi$ , areia média) e melhora da seleção (0,44, bem selecionado). A fase erosiva (julho e novembro) mostrou: retração da linha de maré alta (25 m), diminuição da pós-praia (8 m), perda sedimentar (-22,67 m<sup>3</sup>), troca de material entre a parte superior e inferior dos perfis, afinamento do grão (1,39  $\phi$ , areia média) e piora da seleção (0,52, moderadamente selecionado).

A vulnerabilidade da zona costeira aos riscos naturais decorre do predomínio dos processos erosivos, nos últimos 15 anos. O zoneamento geoambiental resultou da integração dos dados morfológicos com a análise dos geoindicadores de mudanças costeiras e dos níveis de interferência antrópica. Apresenta a seguinte classificação: áreas de preservação permanente (manguezais, praias e dunas), áreas adequadas à ocupação (planalto costeiro), áreas de risco à ocupação (margens de falésias) e áreas de degradação ambiental (manguezais desmatados, restingas e pós-praias ocupadas). As recomendações de

preservação, uso e ocupação futura da costa devem subsidiar o planejamento e o gerenciamento costeiro.

O uso do sensoriamento remoto e do Sistema de Informação Geográfica, nas várias etapas de desenvolvimento da tese, representaram importantes ferramentas de levantamento de dados, de análise espacial e de síntese, de compreensão da distribuição e das características do relevo costeiro, de monitoramento e quantificação das mudanças e do mapeamento temático, sendo de larga aplicabilidade nos estudos costeiros.

## ABSTRACT

The eastside of the Marajó Island (Pará State) shows a diversity of morphological features produced by sea level changes, neotectonic and coast dynamics, during Late Cenozoic. The sea level changes, from Miocene to Holocene, controlled the deposition of Barreiras Formation and Pós-Barreiras Sediments that form the coastal upland. The framework neotectonic structures control the NE-SW strip-slip fault systems and NW-SE normal faults, influencing the distribution of relief units and the fluvial and shoreline morphology.

The coastal morphology shows two main units: coastal upland and coastal plain. Coastal upland represents a flat relief with low undulations and elevations between 5 and 15 meters. The contact with the coastal plain is abrupt, forming "dead" and active cliffs. The coastal plain has a flat relief with low gradients, with portions below 5 meters in height, which favors sea inundations and the sedimentary dynamic.

Long term coastal changes, during the last 5.000 years, resulted in shoreline accretion in response to regressive or stable sea level conditions, with the development of tide flats and mangroves, with migration of barrier-beaches and dunes over mangrove deposits. The accretional and regressive successions of the Soure coastal plain is agreeable to the regressional succession (S2) and transgressive succession (S3) as proposed to coastal plains of Bragança, Salinópolis, Marapanim and São João de Pirabas.

The medium term coastal dynamic (1986/2001) is represented by morphological changes in response to interactive action of wave, current, tide and wind process, which has produced changes in the shoreline position. Soure and Salvaterra coast has been submitted, in the last 15 years, to erosional processes characterized by shoreline retreat. The total of eroded lands reached from 0.89 km<sup>2</sup> (1986/1995), to 0.38 km<sup>2</sup> (1995/1999) and 0.75 km<sup>2</sup> (1999/2001). While the accretional areas represent a total of 0.21 km<sup>2</sup> (1986/1995), 0.32 km<sup>2</sup> (1995/1999) and 0.08 km<sup>2</sup> (1999/2001).

The short term coastal changes involve the morphological and textural variability from beach topographic profiles in the rain and dry periods season in 2001. The seasonal changes are reflected in answer from the beach profiles in response to variations of tides, ranges of currents, wave energy, availability of sediments and coastal morphology.

In Soure, the erosional phase (february to april rainy period with highest tidal range) when it is possible to observe the shoreline retreat (21 m), backshore reduction (13 m), parallel dislocation of foreshore, sedimentary loses, granulometric coarsing (2.81 to 2.94  $\phi$ , thin sand) and better selection (0.24 to 0.33, very well selected). The accretionary phase (july to november, dry period with stronger winds) showed: high tide line extension (82 m), backshore enlargement (48 m), sedimentary gain (+339.25 m<sup>3</sup>), granulometric fining (2.86 a 3.10  $\phi$ , thin to very thin sand) and worse selection (0.28 to 0.40, very well to well selected). In Salvaterra, the accretional phase (february to april) showed high tide line extension (29 m), backshore enlargement (13 m) and raise of beach volume. In profile 1, there was a granulometric coarsing (0.84  $\phi$ , thick sand) and worse selection (0.51, moderatelly selected). In profile 2, the grain became thinner (1.49  $\phi$  medium sand) and better selection (0.44 well selected). The erosional phase (july to november) showed high tide line retreat (25 m), diminution backshore (8 m), sedimentary loses (-22.69 m<sup>3</sup>), exchange of material between the higher and lower part of the profiles, the grain became thinner (1.39  $\phi$  medium sand) and worse selection (0.52 moderatelly selected).

The vulnerability of the coast zone to natural risks occur in response to erosive processes in the last 15 years. The environmental zonation resulted in an integration of morphological dates with analysis of coastal changes geoindicators and human interference levels. Different sectors of the coastal zone were classified in : permanent preservation areas (mangroves, beaches and dunes), adequated to occupation areas (coastal upland), areas with risk to occupation (cliff sides) and environmental damage areas (deforested mangroves, beach-dune ridges occupied). The recommendations of preservation, use and future occupation from the coast should subsidize the planning and coastal management.

The use of remote sensing and of Geographic Information System, in the several stages of this thesis development, represented important tools to data acquisitions, spatial analysis and synthesis, understanding of coastal relief distribution and characteristics, observation and quantification of the changes, thematic mapping. Thus this information presents a large use in coastal studies.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

A partir da década de 1990, várias dissertações e teses sobre a geologia e a geomorfologia costeira, da região nordeste do Estado do Pará, foram desenvolvidas no âmbito do Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica – CPGG, da Universidade Federal do Pará. Trabalhos pioneiros, apresentando mapeamentos a partir de sensoriamento remoto, monitoramento da dinâmica morfológica, sedimentar e da variação da linha de costa, elaboração de modelos evolutivos das planícies costeiras com base em dados estratigráficos foram realizados em Bragança, Salinópolis, Marapanim, Marudá, Algodual, São João de Pirabas e Mosqueiro. A presente tese vem somar-se à produção científica do CPGG, com estudos inéditos sobre a morfologia e as modificações costeiras da margem leste da Ilha de Marajó (PA).

A zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra apresenta uma diversidade de feições, resultante da atuação de processos geomorfológicos ligados às mudanças relativas do nível do mar, à neotectônica e à dinâmica costeira, durante o Cenozóico Superior. A compartimentação fisiográfica evidencia dois tipos de costas: (1) a costa alta de Salvaterra, caracteriza-se pela presença das falésias esculpidas nos sedimentos do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras e por praias estreitas e íngremes de areias médias a grossas, moderadamente selecionadas; e (2) a costa baixa de Soure, que possui uma planície costeira, resultante de uma fase progradacional desse trecho da costa de Marajó, no Holoceno, onde se desenvolvem manguezais, bordejados por praias-barreiras de baixo gradiente e areias finas bem selecionadas. Entre Soure e Salvaterra, o rio Paracauari representa uma fronteira natural na delimitação dos dois tipos de costa.

A dinâmica costeira atual constitui-se de processos predominantemente erosionais, que determinam as variações da linha de costa e as mudanças das formas das feições costeiras, entre 1986 e 2001 (mudanças de médio período), bem como de processos erosionais e acrecionais que respondem pela variabilidade sazonal da morfologia e da granulometria praias, entre o período chuvoso e o seco de 2001 (mudanças de curto período).

Submetida a processos eminentemente naturais, a zona costeira de Soure e Salvaterra possui ecossistemas bem preservados, como os manguezais, em que a interferência antrópica está

ainda restrita a alguns trechos, não comprometendo o equilíbrio dinâmico do sistema costeiro/estuarino.

A dinâmica natural, associada à diversidade da morfologia e dos ambientes sedimentares, bem como à interação de processos muito pouco compreendidos, motivou a realização desta pesquisa. A facilidade de acesso, a possibilidade de desenvolvimento de uma metodologia já aplicada em outros setores da costa paraense e a carência de trabalhos sobre a zona costeira da Ilha de Marajó foram fatores determinantes na escolha desta área e deste tema de pesquisa.

O objetivo desta tese centraliza-se na compartimentação morfológica e na compreensão das mudanças costeiras, da margem leste da Ilha de Marajó (zona costeira de Soure e Salvaterra), em diferentes escalas de tempo (mudanças médio e curto período). Para tanto, foram necessários os seguintes passos: (1) discussão dos fatores genéticos que deram origem a dois tipos de costas na margem leste da Ilha de Marajó; (2) mapeamento da zona costeira; (3) interpretação dos dados estratigráficos para a elaboração de um modelo de sedimentação holocênica da planície costeira de Soure; (4) aplicação do sensoriamento remoto como ferramenta para a análise multitemporal dos processos costeiros; (5) análise dos indicadores de mudanças costeiras de médio e curto período; (6) balanço dos riscos naturais com base nos processos geomorfológicos atuantes; e (7) ordenamento territorial com vistas ao gerenciamento costeiro.

O conteúdo deste manuscrito é dividido em nove capítulos. Em primeira instância, a contextualização fisiográfica da margem oriental da Ilha de Marajó no cenário regional, com enfoque na evolução paleogeográfica, é baseada na revisão crítica das principais publicações, dissertações e teses, produzidas sobre a costa nordeste do Pará, que apresentam estudos dos processos neotectônicos e eustáticos, durante o Terciário Superior e o Quaternário.

O capítulo 4 trata da compartimentação morfológica da área de estudo, apresenta o mapeamento temático a partir de produtos de sensores remotos, e a caracterização e distribuição das unidades de relevo com base nos aspectos estratigráficos, sedimentológicos, topográficos e vegetacionais.

O capítulo 5 apresenta um estudo estratigráfico da planície costeira de Soure, baseado na interpretação de seis testemunhos a vibração, na análise das associações de *facies* e da sucessão dos ambientes deposicionais quaternários. Propõe-se um modelo de sedimentação holocênica em correlação com o modelo elaborado para a costa nordeste do Estado do Pará.

O capítulo 6 aborda as mudanças costeiras de médio período (1986/2001), utilizando-se como indicador a variação da posição da linha de costa. A análise fundamenta-se no estudo multitemporal de imagens Landsat, na identificação e quantificação de áreas progradacionais e retrogradacionais, no cálculo das taxas de variação da linha de costa, na análise dos processos erosionais e acrecionais e nas formas resultantes.

O capítulo 7 mostra as mudanças costeiras de curto período, representadas pela variação morfológica e granulométrica das praias, ao longo do ano de 2001. A análise morfológica baseia-se no monitoramento de cinco perfis topográficos transversais e no comportamento dos parâmetros morfológicos (extensão, largura, gradiente, cotas, forma do perfil, posição da linha de maré alta e padrão de variabilidade morfológica). A análise granulométrica baseia-se nos parâmetros texturais diâmetro médio e grau de seleção dos sedimentos praias, coletados ao longo dos transectos. Soma-se a esses dados, a variação de volume sedimentar. Os resultados são associados à compartimentação morfológica costeira, ao suprimento sedimentar e às flutuações sazonais entre os períodos chuvoso e seco do clima regional.

O capítulo 8 analisa os riscos ambientais costeiros a partir da integração dos dados sobre a compartimentação e caracterização morfológica, as mudanças e os processos naturais atuantes e a ocupação da zona costeira, e propõe um zoneamento geoambiental com base na adequabilidade das áreas às diferentes formas de uso e ocupação, tendo em vista gerar subsídios ao planejamento e gerenciamento costeiro.

O capítulo 9 tem o caráter conclusivo, buscando integrar os resultados apresentados nos demais capítulos, para uma caracterização geral dos processos e formas decorrentes da história geológica e geomorfológica regional e das mudanças costeiras de médio e curto período, na margem leste da Ilha de Marajó.

Esta tese traz importantes contribuições, mas, longe de pretender alcançar um conhecimento acabado, abre muitas discussões e dúvidas que serão sanadas a partir da continuidade e expansão das pesquisas.

## 1.2 ÁREA DE ESTUDO

A zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra está localizada na margem leste da Ilha de Marajó, fazendo parte da região estuarina compreendida pela Baía de Marajó e adjacências. A distância em relação a Belém é de aproximadamente 86 km, e o acesso se dá por via fluvial, aérea e rodoviária (Figura 1).

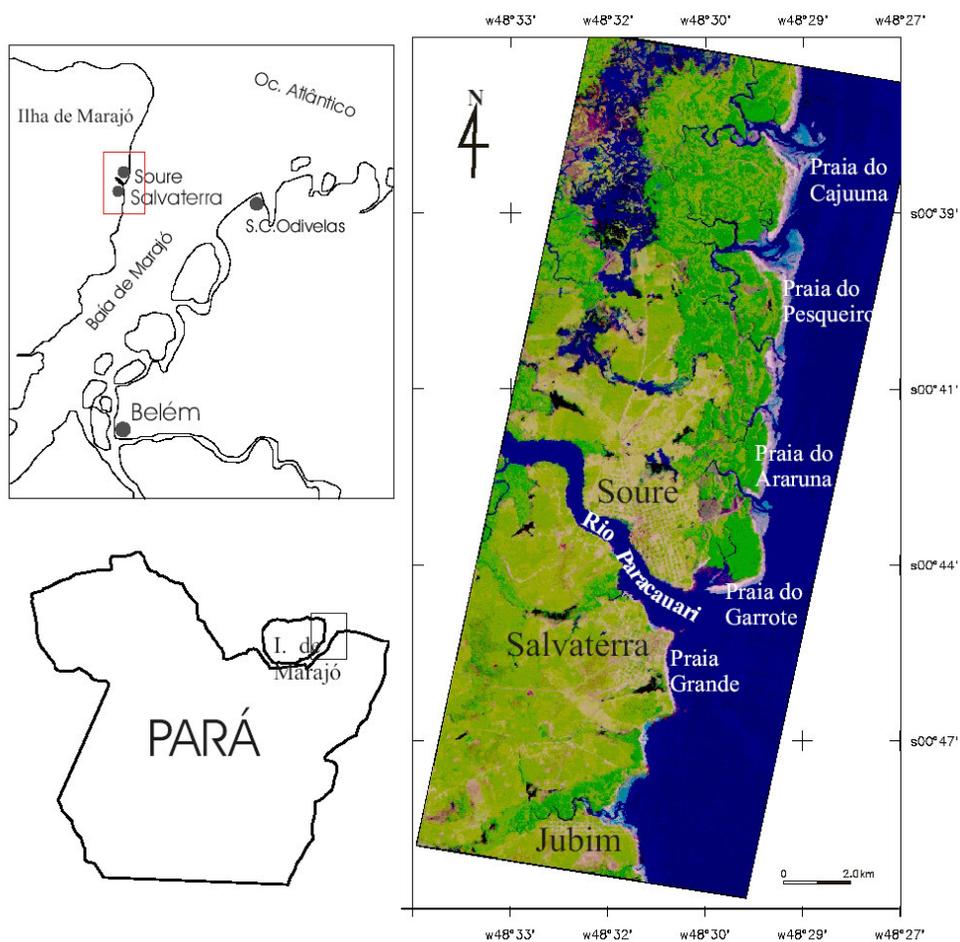


Figura 1 – Localização da área de estudo (cena Landsat TM 1995, composição 5R4G3B).

### **1.2.1 Unidades morfológicas**

O relevo é constituído pelas unidades morfológicas: planalto e planície costeira. O planalto costeiro é formado por arenitos e argilitos terciários e quaternários, do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras, apresentando cotas topográficas acima de 5 m.

A planície costeira é constituída por sedimentos argilosos e arenosos holocênicos, de origem flúvio-marinha. Apresenta cotas abaixo de 5 m, sendo alcançada pelas marés e ondas da Baía de Marajó, favorecendo o desenvolvimento de manguezais e cordões de praias.

### **1.2.2 Condições hidrográficas**

O planalto costeiro apresenta uma rede de drenagem esparsa, formada principalmente por cursos de caráter temporário e lagos (Bemerguy 1981). Os rios que deságuam na Baía de Marajó são de pequeno porte, apresentam cursos retilíneos e meandantes, e orientações preferenciais NNE-SSW e E-W. O regime é influenciado pela pluviosidade e pelas marés. Da drenagem principal, destaca-se o rio Paracauari, que separa as cidades de Soure e Salvaterra, com trajeto influenciado por elementos estruturais do quadro neotectônico.

Na planície costeira, a rede de drenagem é composta por canais de maré. O fluxo e refluxo das marés provocam inversão dos cursos e correntes de maré, favorecendo os processos erosivos e contribuindo com aporte sedimentar para as praias. Os canais de maré têm orientação preferencial W-E e S-N, e deltas de maré vazante com orientação S-N.

A margem leste da Ilha de Marajó pertence a uma região dominada por um regime de meso a macromarés, cuja variação das marés de sizígia alcança valores máximos de 3,6 a 4,7 m, entre as Ilhas de Mosqueiro e dos Guarás (DHN 2001).

### **1.2.3 Cobertura vegetal**

As áreas do planalto costeiro eram recobertas por uma vegetação original composta por matas de terra-firme e campos cerrados. Hoje, as matas são restritas em função da ocupação

antrópica. A Reserva Ecológica do Bacurizal, em Salvaterra, criada pelo Decreto-Lei n.º 109/1987, é uma das poucas áreas ainda em preservação, onde ocorrem espécies como *Platonia insignis* Mart., *Parahancornia amapa* (Hub.) Ducke, *Inga brachyrhachis* Harms, *Cecropia obtusa* Tréc. e *Symphonia globulifera* L.F., dentre outras (Lisboa *et al.* 1993).

Os campos cerrados, caracterizados pela consorciação entre espécies arbóreas e herbáceas, formam manchas que se destacam entre as áreas de capoeiras ou matas secundárias. Dentre as espécies arbóreas, são exemplos: *Hancornia speciosa* Gom, *Curatella americana* L., *Hirtella ciliata* (Mart ex Zucc) e *Salvertia convallariaeodora* A. St. Hill.. Como espécies herbáceas, encontram-se: *Trachypogon plumosus* (Nees) Kunth, *Cassia hispidula* Vahl, *Borreria verticillata* G.F.W. Mey e *Bulbotylis junciformis* C.B. Clarke (Bastos 1984).

A planície costeira é caracterizada pela vegetação de mangues e restingas. Dentre as espécies de mangues, destacam-se: *Rhizophora racemosa* G.F.W. Meyer, *Rhizophora mangle* L., *Avicennia schaweriana* Stapf & Leech, *Avicennia germinans* L. Stearn e *Laguncularia racemosa* Gaertn. Nas restingas, são comuns: *Chrysobalanus icaco* L., *Anacardium occidentale* L. e *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth. (Lisboa *et al.* 1993).

#### **1.2.4 Condições climáticas e meteorológicas**

O clima da margem leste da Ilha de Marajó é classificado como Am1 (adaptado do método de Köppen), apresentando temperatura média anual de 27,3° C e pluviosidade anual superior a 3.000 mm (Martorano *et al.* 1993). Divide-se em dois períodos sazonais: (1) o período chuvoso, que se estende de dezembro a maio, com precipitação média de 2.566 mm, representando 86 % do total anual precipitado, e velocidade média do vento de 6,2 m/s, sendo o período de maior influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); e (2) o período menos chuvoso de junho a novembro, com média de 414,3 mm de chuvas, equivalentes a 14 % do total pluviométrico anual, e velocidade média do vento de 7,0 m/s (Ferreira 2001; Lima 2002).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Procedeu-se pela seleção e revisão crítica das principais publicações, dissertações e teses escritas sobre a região nordeste do Estado do Pará, com temáticas ligadas à evolução sedimentar, paleogeográfica e tectônica, durante a Era Cenozóica; à descrição de seqüências estratigráficas; às discussões sobre as oscilações do nível do mar nas plataformas do Pará e Bragantina, a compartimentação em unidades morfoestruturais e morfoclimáticas, morfodinâmica praial e processos costeiros, transporte sedimentar e distribuição granulométrica.

### 2.2 TRATAMENTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS LANDSAT

O tratamento e o processamento digital das imagens orbitais foi feito através do Programa SPRING 3.5, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram utilizadas três imagens Landsat TM5 dos anos de 1986, 1995 e 1999, e uma imagem Landsat ETM<sup>+</sup> 7 de 2001, cedidas pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da EMBRAPA e da SUDAM e pela Unidade de Análises Espaciais do MPEG. As principais características das imagens são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1- Dados dos sensores utilizados e das condições de maré durante os imageamentos

| Sensor           | Satélite | Órbita-ponto | Data       | Resolução espacial (m) | Bandas  | Condições de maré |
|------------------|----------|--------------|------------|------------------------|---------|-------------------|
| TM               | LANDSAT  | 223-061      | 17/07/1986 | 30                     | 5, 4, 3 | Baixa             |
| TM               | LANDSAT  | 223-061      | 08/06/1995 | 30                     | 5, 4, 3 | Baixa             |
| TM               | LANDSAT  | 223-061      | 13/07/1999 | 30                     | 5, 4, 3 | Alta              |
| ETM <sup>+</sup> | LANDSAT  | 223-061      | 03/08/2001 | 30                     | 5, 4, 3 | Alta              |

#### 2.2.1 Correção geométrica

As imagens foram geometricamente corrigidas, utilizando-se 15 pontos de controle, levantados em trabalho de campo, com auxílio do GPS Magelan 2000, obtendo-se um erro de

0,566 pixel. Devido ao pequeno número de pontos de GPS, optou-se pelo registro das imagens Landsat 1986, 1999 e 2001 a partir da imagem 1995, selecionando-se 32 pontos de controle para cada registro, obtendo-se erros de 0,643, 0,752 e 0,715 pixel, respectivamente. Obteve-se a composição colorida com as bandas 3, 4 e 5, combinação 5R4G3B para todas as imagens utilizadas.

### 2.2.2 Cálculo de erros

Com base nos erros dos pontos de controle e por meio de regra de três simples, estabeleceu-se a margem de erro geométrico para cada imagem e o erro geométrico máximo (cumulativo), expressos na Tabela 2.

Tabela 2 – Margem de erro geométrico de cada imagem e de erro geométrico cumulativo de cada período de tempo, com base nos erros dos pontos de controle

| Ano da imagem | Erro geométrico individual |            | Intervalo de tempo | Erro geométrico cumulativo |            |
|---------------|----------------------------|------------|--------------------|----------------------------|------------|
|               | Por área (m <sup>2</sup> ) | Linear (m) |                    | Por área (m <sup>2</sup> ) | Linear (m) |
| 1986          | 578,7                      | 19,29      | 1986/1995          | 1.088,1                    | 36,27      |
| 1995          | 509,4                      | 16,98      | 1995/1999          | 1.186,2                    | 39,54      |
| 1999          | 676,8                      | 22,56      | 1999/2001          | 1.320,3                    | 44,01      |
| 2001          | 643,5                      | 21,45      |                    |                            |            |

Para o estudo multitemporal, isso significa que, na análise dos dados 1986/1995, por exemplo, mudanças de até 1.088,1 m<sup>2</sup> de áreas costeiras ou de até 36,27 m de distâncias lineares são desconsideradas ou tratadas como fora do limite de detecção dos sensores, interpretando-se como trechos estáveis ou sem mudanças aparentes. Da mesma forma, para os dados 1995/1999 e 1999/2001, adotaram-se os limites de até 1.186,2 m<sup>2</sup> ou 39,54 m, e 1.320,3 m<sup>2</sup> ou 44,01 m, respectivamente, como sendo limites do método, cujas variações não são detectadas.

## 2.3 ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Os mapas temáticos foram elaborados a partir de: (1) fotointerpretação de fotografias aéreas do Levantamento Aerofotogramétrico da Ilha de Marajó (Departamento Nacional de

Portos e Vias Navegáveis e Cruzeiro do Sul), 1966, CIM: SA-22-X-B-V, escala 1:23.100, com base na metodologia descrita por Soares & Fiori (1976); e (2) processamento e tratamento das imagens Landsat TM 5 e ETM 7.

Pela interpretação visual e digitalização vetorial sobre as imagens, através do Programa Spring 3.5, criaram-se os planos de informação: limites da área de estudo, drenagem, estradas, localidades, unidades morfológicas, posição da linha de costa em 1986, 1995, 1999 e 2001 e posição da linha d'água em 1986 e 1995. Em seguida, foi feito o cruzamento de informações, a sobreposição dos vetores, a poligonalização, a classificação, a quantificação das áreas, as medidas de distâncias lineares e o cálculo de taxas e porcentagens de variações.

A integração dos resultados permitiram a elaboração dos mapas temáticos: lineamentos estruturais (Figura 7), morfológico (Figura 9), mudanças costeiras de Soure e Salvaterra nos períodos de 1986/1995, 1995/1999 e 1999/2001 (Figuras 26 e 27), e zoneamento geoambiental (Figura 45).

## 2.4 TRABALHOS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO

Foram realizadas 8 etapas de campo, entre os anos de 2000 e 2001 para: (1) complementação e atualização do mapeamento; (2) identificação das espécies vegetais; (3) levantamento topográfico em áreas de planalto, mangue, *chenier* e praias; (4) coleta de amostras arenosas de praia e terraço arenoso; (5) 4 testemunhagens *push-core* e 6 *vibra-core* (Tabela 3).

Tabela 3 – Períodos e atividades de campo desenvolvidas entre 2000 e 2001

| Períodos de campo | Condições de maré*    |                       |           | Atividades  |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|---|
|                   | Maior maré do período | Menor maré do período | Amplitude |   |
| 22 a 28/02/2000   | 3,5                   | 0,2                   | 3,3       | -Fixação e georreferenciamento dos pontos iniciais dos perfis das praias do Pesqueiro e Araruna;<br>-Levantamento topográfico praial;<br>-Coleta de amostras arenosas;<br>-Tomadas de GPS em pontos estratégicos para correção das imagens Landsat TM e ETM;  |
| 03 a 08/10/2000   | 3,3                   | 0,5                   | 2,8       | -Fixação e georreferenciamento dos pontos iniciais dos perfis das praias do Garrote e Grande;<br>-Levantamento topográfico nas unidades: praias, <i>chenier</i> , mangues e planalto;<br>-Coleta de amostras arenosas nas unidades: praias e terraços;<br>-4 testemunhagens <i>push-core</i> em área de mangue de supra e intermaré;<br>-Coleta de amostras de vegetação em áreas de dunas, manguezais, <i>chenier</i> e terraços arenosos; |
| 14 a 18/02/2001   | 3,0                   | 0,9                   | 2,1       | -Levantamento topográfico praial;<br>-Coleta de amostras arenosas praiais;  |
| 04 a 08/04/2001   | 3,7                   | 0,1                   | 3,6       | -Levantamento topográfico praial;<br>-Coleta de amostras arenosas praiais;  |
| 03 a 07/07/2001   | 3,3                   | 0,2                   | 3,1       | -Levantamento topográfico nas unidades: praias; mangue, planalto;<br>-Coleta de amostras arenosas praiais;  |
| 08 a 12/09/2001   | 3,2                   | 0,7                   | 2,5       | -Levantamento topográfico praial;<br>-Coleta de amostras arenosas praiais;  |
| 11 a 15/11/2001   | 3,6                   | 0,1                   | 3,5       | -Levantamento topográfico praial;<br>-Coleta de amostras arenosas praiais;  |
| 19 a 22/12/2001   | 3,1                   | 0,6                   | 2,5       | -6 testemunhagens <i>vibra-core</i> em áreas de mangue (Soure).   |

\* Dados consultados na Tábua das marés 2000 e 2001, referentes à Ilha de Mosqueiro (DHN 2000; 2001)

### 2.4.1 Levantamento topográfico

Foram realizados cinco transectos topográficos transversais, distribuídos nas praias do Pesqueiro (1 perfil), Araruna (1 perfil), Garrote (1 perfil) e Grande (2 perfis), iniciando-se na zona de dunas ou sobre as falésias, e se estendendo pelas zonas de pós-praia, estirâncio e inframaré de cada praia, até a profundidade em que foi possível manter a estabilidade da régua de leitura. Os transectos foram monitorados durante os sete períodos de trabalho de campo, realizados nos meses de fevereiro e outubro de 2000, fevereiro, abril, julho, setembro e novembro de 2001 (Figura 2). Outros transectos topográficos foram realizados para caracterização da morfologia em áreas de planalto, mangue de supra e intermaré e *chenier* (Figura 2)

Utilizou-se um nível automático “Nikkon” AX 1S, tripé, régua graduada, trena e bússola “Brunton”, segundo o método “Levantamento Stadia”. Cada perfil foi iniciado com a leitura ré de um marco previamente determinado e georreferenciado, em cada praia, e que serviu de ponto inicial em todos os monitoramentos. A medição das distâncias foi feita com trena, e das elevações foi feita através da leitura do fio médio. O cálculo das distâncias e cotas, bem como o gráfico dos perfis foram processados mediante o uso dos programas Excel e Grapher 1.29.

Para o cálculo das cotas topográficas a partir do levantamento de campo, estabeleceu-se um nível de referência para cada perfil, segundo a fórmula :  $NR=AM+LMA-PI$ , onde AM é a amplitude de maré durante o período do levantamento, fornecida pela Tábua das Marés (Marinha do Brasil); LMA corresponde à leitura do nível na linha de maré alta; e PI é a leitura do nível no ponto inicial do perfil (é a 1.<sup>a</sup> leitura ré).

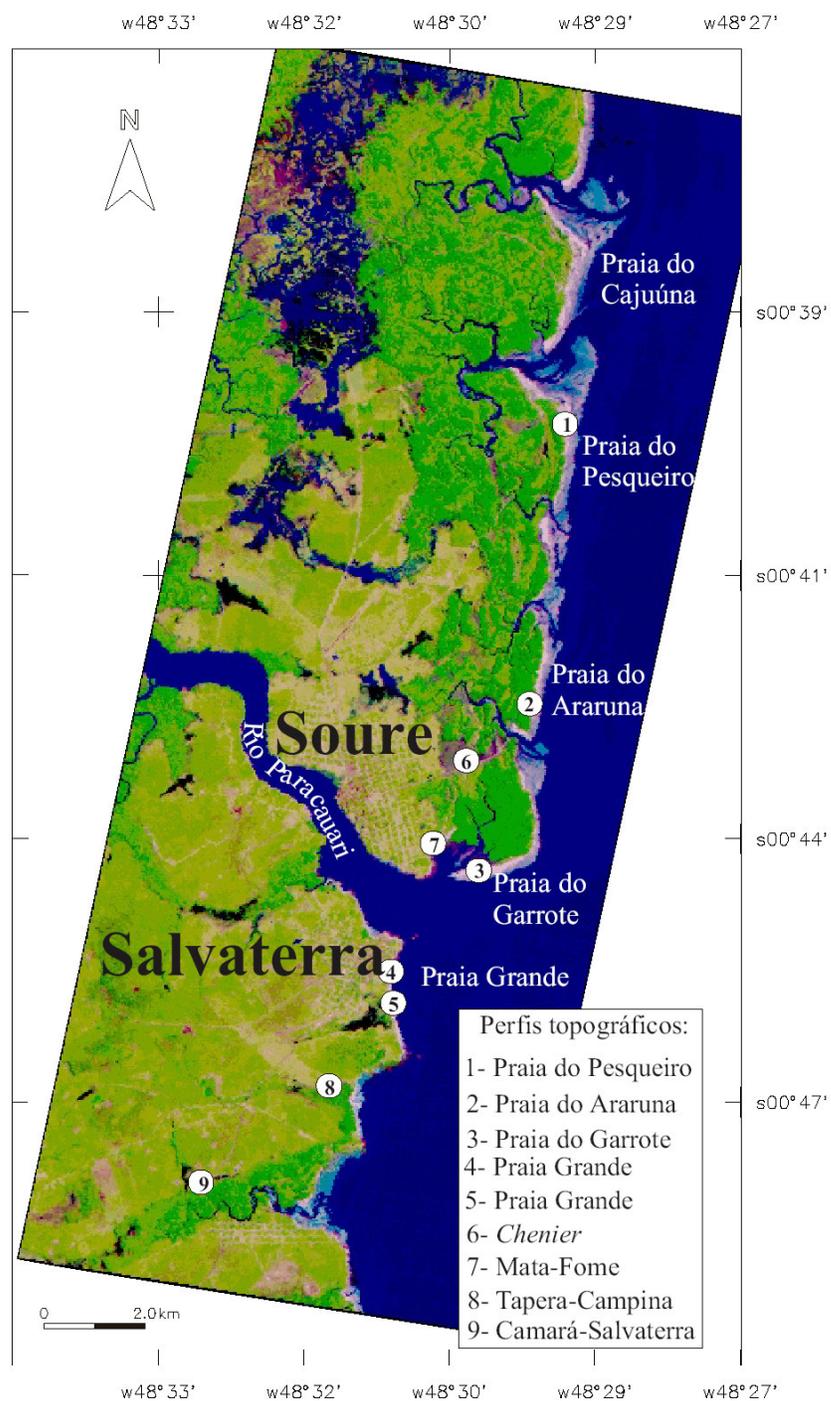


Figura 2 – Localização dos perfis topográficos (cena Landsat TM 1995, composição 5R4G3B).

#### **2.4.2 Volume sedimentar**

Para o cálculo do volume sedimentar, utilizou-se o programa Surfer 7.0. A partir dos levantamentos topográficos praias, estabeleceram-se uma extensão e uma cota únicas para cada conjunto de perfis, como bases para a determinação e comparação dos volumes. O programa calculou o volume sedimentar através de três métodos, cujos resultados mostraram diferenças desprezíveis. Porém, adotaram-se os valores dados pelo Método 3/8 de Simpson, que subdividiu os perfis em 8 intervalos e aplicou a cada um o cálculo do trapezóide, conferindo maior precisão aos resultados.

#### **2.4.2 Coleta e tratamento de amostras arenosas praias**

Durante cada monitoramento topográfico, foram coletados sedimentos em quatro pontos pré-estabelecidos ao longo dos perfis: na duna (início do perfil), na linha de maré alta (LMA), que é considerada como o limite máximo de espraiamento das ondas durante a preamar, na parte intermediária da zona de estirâncio ou de intermaré, e na linha d'água (LDA), que é o limite de máximo espraiamento das ondas durante a maré baixa, no momento do levantamento.

As amostras arenosas foram submetidas à lavagem, secagem e peneiramento. Utilizaram-se peneiras com os seguintes intervalos em mm: >2,0 – 1,41 – 1,0 – 0,71 – 0,5 – 0,35 – 0,25 – 0,177 – 0,125 – 0,088 – 0,062 - <0,062, de acordo com a metodologia descrita por Suguio (1973). As diferentes frações foram cadastradas e pesadas.

Os dados foram transferidos para o programa SAG (Sistema de Análise Granulométrica), desenvolvido pelo laboratório Laboratório de Geologia Marinha da UFF, para a determinação dos parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957): diâmetro médio e desvio padrão (seleção), e para a elaboração dos histogramas. Os resultados da análise morfológica e textural foram confrontados e sintetizados.

#### **2.4.4 Coleta e identificação de amostras de vegetação**

Foram coletadas amostras das espécies visualmente dominantes para caracterização da cobertura vegetal das diferentes unidades morfológicas. A identificação das espécies foi feita no Departamento de Botânica do MPEG.

#### **2.4.5 Realização de testemunhagens**

Foram realizados 4 testemunhos do tipo *push-core*, que alcançaram uma profundidade média de 0,50 m, para caracterização da cobertura sedimentar superficial, e 6 do tipo *vibra-core*, com uma média de 4 m de profundidade, distribuídos na planície costeira (Figura 3). Os testemunhos *vibra-core* foram descritos e analisados com base na metodologia proposta por Figueiredo Júnior (1990), ressaltando-se as estruturas sedimentares, a granulometria e a sucessão de *facies*. A análise dos testemunhos permitiu a caracterização dos ambientes sedimentares, a elaboração das seções estratigráficas das porções proximais, transversais e distais da planície costeira, e a definição de uma coluna estratigráfica. Os testemunhos não foram nivelados devido à ausência de dados topográficos.

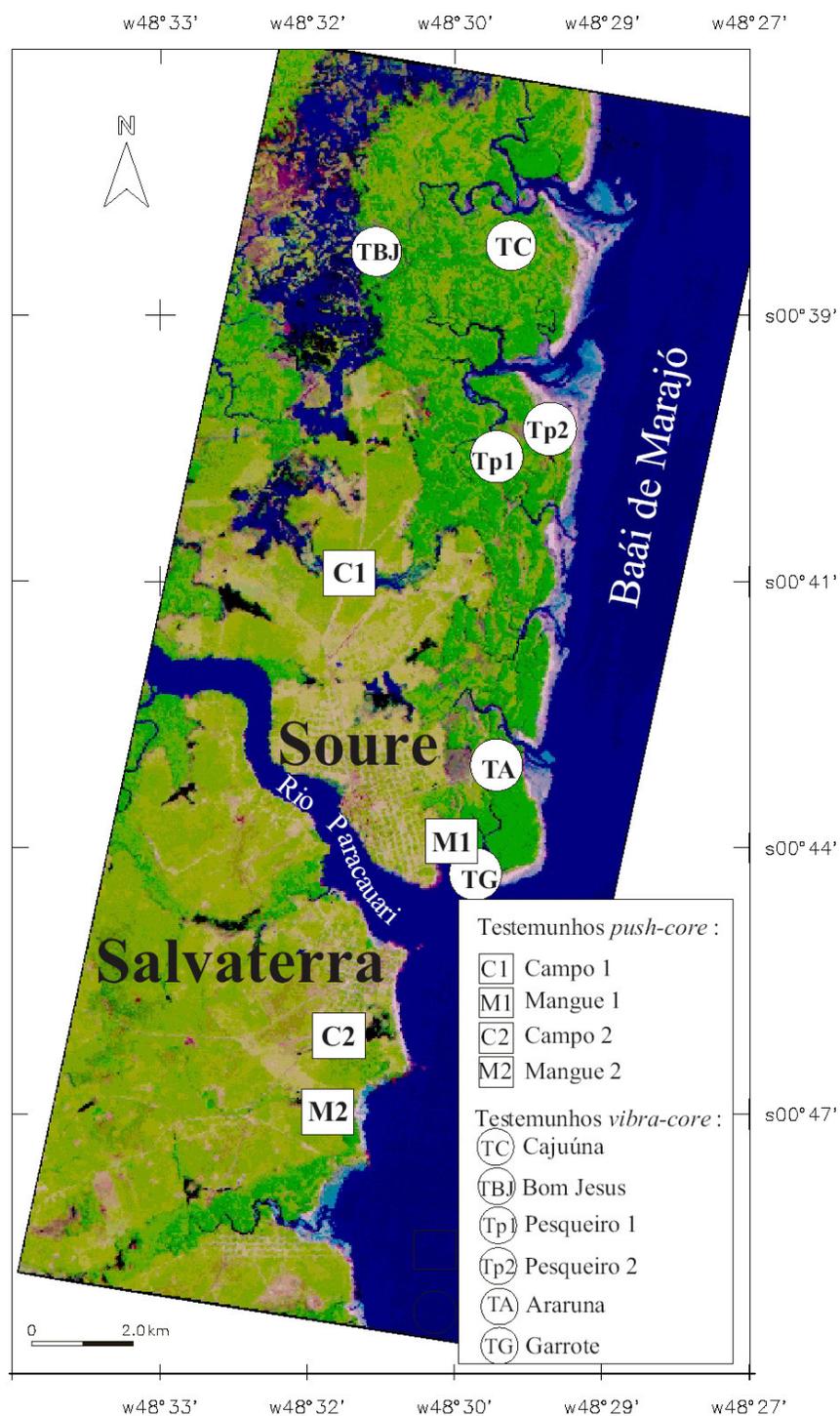


Figura 3 – Localização dos testemunhos do tipo *push-core* e *vibra-core* (cena Landsat TM 1995, composição 5R4G3B).

### **3 QUADRO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO REGIONAL E CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DA MARGEM LESTE DA ILHA DE MARAJÓ (PA)**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

A evolução geológica e o quadro geomorfológico da região nordeste do Estado do Pará, incluindo a Ilha de Marajó, têm sido apresentados por vários autores, através de estudos das estruturas tectônicas e neotectônicas, das unidades morfoestruturais e geomorfológicas (Schaller *et al.* 1971; Japiassu & Goes Filho 1974; Bemerguy 1981; Igreja *et al.* 1990; Franzinelli 1990; Villegas 1994; Bemerguy *et al.* 1995; Borges *et al.* 1995; Costa 1996; Costa *et al.* 1991, 1996; Lima *et al.* 1996; Bemerguy 1997; Costa *et al.* 2002; Soares Júnior 2002), das seqüências estratigráficas e características sedimentológicas (Vital 1988; Rossetti *et al.* 1989; Souza Filho 1995; Vital 1996; Santos 1996; Silva 1996; Souza Filho & El-Robrini 1996; Silva 1998; Souza Filho & El-Robrini 1998; Souza Filho 2000b; Rossetti 2001; Silva Júnior & El-Robrini 2001).

A evolução geológica da Ilha de Marajó está ligada aos movimentos extensionais que separaram os continentes da América do Sul e África, a partir do final do Mesozóico, às oscilações do nível do mar e aos processos neotectônicos que, do Terciário ao Holoceno, controlaram a deposição das seqüências estratigráficas Pirabas e Barreiras/Pós-Barreiras (Rossetti 2001; Costa *et al.* 2002).

As seqüências sedimentares, as estruturas neotectônicas regionais e a distribuição das unidades de relevo inserem a Ilha de Marajó dentro de um contexto estuarino, desde o Mioceno até o presente, e subdividem a área de estudo em dois tipos de costa: (1) a costa alta de Salvaterra, com falésias ativas esculpidas em sedimentos terciários e quaternários do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras; e (2) a costa baixa de Soure, com extensa planície costeira holocênica, coberta por manguezais, bordejada por cordões arenosos de dunas e praias.

O objetivo deste trabalho é apresentar os fatores genéticos que deram origem à diferenciação fisiográfica da margem leste da Ilha de Marajó, relacionados nos eventos eustáticos, neotectônicos, paleoclimáticos de caráter regional, ocorridos durante o Cenozóico Superior, com vistas à contextualização geomorfológica da área de estudo.

### 3.2 UNIDADES MORFOESTRUTURAIS, MORFOCLIMÁTICAS E GEOMORFOLÓGICAS DA ILHA DE MARAJÓ

O relevo da Ilha de Marajó é constituído por duas grandes unidades morfoestruturais: Planalto Rebaixado da Amazônia e Planície Amazônica. O Planalto Rebaixado da Amazônia, também chamado de Planalto do Baixo Amazonas ou Pediplano Pleistocênico, é constituído por sedimentos terciários e quaternários do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras que, na área de estudo, dá origem ao Planalto Costeiro. Essa unidade faz parte do domínio morfoclimático dos planaltos amazônicos rebaixados ou dissecados, áreas colinosos e planícies revestidas por floresta densa. Correspondem a superfícies pediplanadas, que formam níveis de baixos platôs (Barbosa *et al.* 1974; Bemerguy 1981). Na zona costeira de Soure e Salvaterra, no contato com a planície costeira, dá origem a falésias “mortas” e ativas.

A Planície Amazônica é formada por sedimentos holocênicos lamosos e arenosos, e corresponde a um relevo plano de baixas altitudes. Faz parte do domínio morfoclimático das planícies inundáveis recobertas por campos e por vegetação pioneira de mangues. Subdivide-se, segundo Barbosa *et al.* (*op. cit.*), em zonas de influência fluvial, que correspondem à planície fluvial colmatada ou planície aluvial, em zonas de influência estuarina e marinha, relativas à planície flúvio-marinha ou planície costeira (Figura 4).

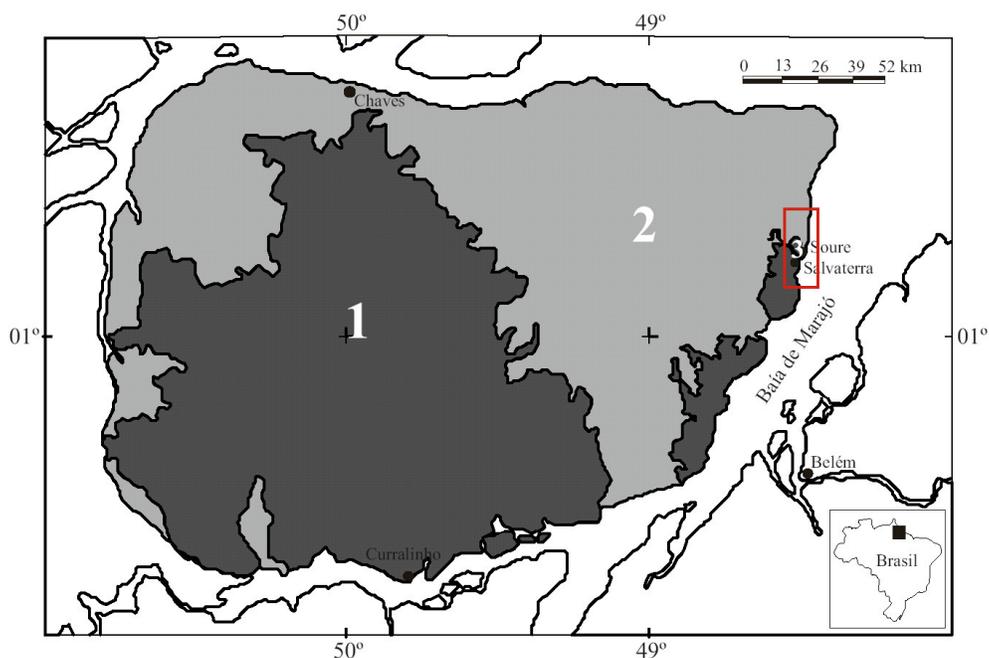


Figura 4 – Mapa das unidades morfoestruturais da Ilha de Marajó (adaptado do Projeto Radam 1974) e localização da área de estudo: 1 – Planalto Rebaixado da Amazônia; 2 – Planície Amazônica; 3 – Área de estudo.

### 3.3 UNIDADES LITO-ESTRATIGRÁFICAS E OSCILAÇÕES DO NÍVEL DO MAR, NO NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ

O arranjo estratigráfico e a constituição litológica da Ilha de Marajó está ligada à história sedimentar da Bacia da Foz do Rio Amazonas e à influência dos estuários do Amazonas, a oeste, e do Pará-Tocantins, a leste.

O pacote sedimentar neocretáceo e cenozóico foi depositado discordantemente sobre o embasamento pré-cambriano dos escudos das Guianas e Brasileiro, e sobre sedimentos das bacias paleozóicas do Amazonas e do Parnaíba. É composto pelas seguintes formações estratigráficas, da base para o topo (Bemerguy 1981; Vital 1988; Franzinelli 1990; Villegas 1994; Bemerguy *et al.* 1995; Costa 1996; Vital 1996):

(1) Jacarezinho (Cretáceo): constituído de fanglomerados e arenitos grossos de depósitos de tálus e leques aluviais;

(2) Limoeiro (paleoceno): constituído de arenitos e argilas/conglomerados subordinados, depositados em ambientes flúvio-deltáicos;

(3) Marajó (Eoceno-Oligoceno): depósitos derivados de ambientes fluviais e deltáicos;

(4) Pirabas (Mioceno): sedimentos carbonáticos (ambientes marinhos rasos);

(5) Barreiras/Pós-Barreiras (Mioceno Médio ao Holoceno): sedimentos clásticos depositados sob condições transicionais (planície de maré, manguezais e canais de maré, ambientes de clima úmido), fluxos gravitacionais e dissipação de dunas eólicas (ambientes de clima seco) (Rossetti *et al.* 1989; Rossetti 2001).

O Grupo Barreiras/Pós-Barreiras constitui o Planalto Rebaixado da Amazônia e aflora na costa sudeste da Ilha de Marajó, ao sul da foz do rio Paracauari, formando falésias de até 20 m de altura. Ao norte desta foz, os afloramentos diminuem de altura e desaparecem sob os sedimentos modernos (Franzlinelli 1990).

Segundo Rossetti (2001), as formações Pirabas e Barreiras e os sedimentos Pós-Barreiras são representados por três seqüências deposicionais, ordenadas da base para o topo (Tabela 4):

(1) Seqüência A : corresponde à Formação Pirabas e à parte inferior da Formação Barreiras, depositadas em ambientes de plataforma externa, de mar raso e de planície de mare/manguezal, em fases de transgressão e regressão marinhas, entre o Oligoceno Superior e o Mioceno Inferior;

(2) Seqüência B : corresponde à parte média e superior da Formação barreiras, depositada em ambientes de planície de maré e canais de maré, sob condições transgressivas, no Mioceno Médio e Superior;

(3) Seqüência C : corresponde aos sedimentos Pós-Barreiras depositados através de movimentos de massa, com vestígios de dissipação de dunas eólicas, em ambientes de clima seco, durante período de regressão marinha, entre o Plioceno Superior e o Holoceno Inferior.

Tabela 4 – Coluna estratigráfica do Cenozóico Superior, nas Plataformas do Pará e Bragantina (adaptado de Rossetti 2001).

| IDADE                                  | LIMITE DE SEQUÊNCIA E SEQUÊNCIA | UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA | DESCRIÇÃO   | NÍVEL DO MAR |
|--|---------------------------------|----------------------------|---|--------------|
| Holoceno<br>Pleistoceno<br>Plioceno    | C                               | Pós-Barreiras              | Areias friáveis, maciças e de cor amarelada; ocorrem algumas estruturas de dissipação de dunas, fluxos gravitacionais e processos eólicos;  | Baixo        |
| Mioceno Superior                       | DS3*                            |                            | Horizonte laterítico (paleossolo) formado sob clima tropical com estação seca bem definida, concreções ferruginosas verticais, <i>lags</i> de clastos lateríticos e seixos de quartzo de tamanhos variados, relevo erosional pronunciado; | Baixo        |
| Mioceno Médio                          | B                               | Barreiras                  | Depósito heterolítico, argilito com laminação plano-paralela, <i>wavy</i> , <i>linsen</i> , <i>flaser</i> ; arenito maciço, bioturbado e com estratificação cruzada, superfícies de reativação e <i>mud drapes</i> ; cores variadas;      | Alto         |
| Mioceno Inferior                       | DS2*                            |                            | Paleossolo e superfície cárstica com buracos de dissolução, fragmentos de madeira e remanescentes de plantas;   | Baixo        |
| Mioceno Inferior<br>Oligoceno Superior | A                               | Pirabas/Barreiras          | Calcário terrígeno, argilito carbonático e arenito calcário, cores variadas, estratificação plano-paralela, <i>wavy</i> , <i>flaser</i> , <i>linsen</i> , estratificação cruzada, superfícies de reativação e <i>mud drapes</i> ;         | Alto         |
| Paleogeno                              | DS1*                            |                            | Horizonte laterítico-bauxítico, paleossolo formado em clima tropical úmido ou equatorial  | Baixo        |

\* Discordância

A evolução holocênica das planícies costeiras do nordeste paraense é representada por três sucessões estratigráficas, da base para o topo (Souza Filho 1995; Santos 1996; Silva 1996; Silva 1998; Souza Filho & El-Robrini 1998; Silva Júnior & El-Robrini 2001):

(1) Sucessão transgressiva basal (S1) ou sucessão marinha retrogradacional (SB): depositada discordantemente sobre os sedimentos da Formação Barreiras/Pós-Barreiras, que constituem o embasamento da planície costeira; a S1 constitui-se de *facies* lamosas de intermaré, de *facies* de areia marinha de antigos cordões praias e areia de barras estuarinas, formando um lençol arenoso transgressivo, representativo de ambientes de alta energia, de águas rasas e de canal estuarino; durante essa fase, que alcançou o seu máximo há 5.100 anos antes do presente, o avanço do mar sobre o continente erodiu as bordas dos depósitos da Formação Barreiras originando falésias, acarretou a migração de cordões arenosos de dunas/praias, formação de praias-barreiras e colmatagem de paleo-estuários;

(2) Sucessão regressiva ou de mar estável ou sucessão progradacional (S2): constituída de *facies* lamosas atribuídas a depósitos de manguezal, de *facies* de areia e lama de canais de maré e de origem marinha/estuarina; nessa fase, houve progradação lamosa da linha de costa na direção do mar, permitindo o desenvolvimento dos manguezais atuais; a progradação foi interrompida por curtas fases transgressivas, erosivas e/ou de redução do suprimento sedimentar lamosos, favorecendo a deposição arenosa e formação de antigos cordões de praias/dunas; o retorno às condições progradacionais, isolou essas cristas arenosas em meio à planície lamosa;

(3) Sucessão transgressiva ou retrogradacional atual (S3): representada pelos depósitos atuais de areias finas de praias-barreiras, dunas, barras e deltas de maré vazante; as praias e dunas transgridem sobre os manguezais, os sistemas de lagoas costeiras e porções do planalto costeiro; observa-se erosão progressiva de falésias, de dunas e manguezais frontais.

O modelo de sedimentação, estabelecido para as planícies costeiras de Bragança, Salinópolis, Marapanim, Marudá e São João de Pirabas, e que pode se estender para toda a costa paraense em geral, sugere uma evolução condicionada pelos ciclos transgressivos e regressivos dos últimos 5.000 anos, com progradação da linha de costa em fase de regressão ou de mar estável, resultando na expansão das planícies de maré e manguezais, e posterior retrogradação sob as condições transgressivas atuais, com desenvolvimento de praias-flechas barreiras e dunas eólicas, que migram sobre os depósitos de manguezais (Souza Filho 1995; Santos 1996; Silva 1996; Silva 1998; Silva Júnior & El-Robrini 2001).

### 3.4 QUADRO TECTÔNICO E NEOTECTÔNICO DA ILHA DE MARAJÓ E ÁREAS ADJACENTES

No arcabouço estrutural da Ilha de Marajó e áreas adjacentes, destacam-se: (1) um sistema de *grabens* (Mexiana, Limoeiro, Cametá e Mocajuba), que constitui a Bacia de Marajó; e (2) as ombreiras sudoeste (Arco de Gurupá) e nordeste (Marajó Setentrional) (Villegas 1994; Bemerguy *et al.* 1995; Soares Júnior 2002) (Figura 5).

A Bacia de Marajó corresponde a um segmento transtensivo do nordeste do Estado do Pará, ligado aos movimentos extensionais crustais do final do Mesozóico, que formaram o oceano Atlântico Equatorial. O sistema de *grabens* é formado por falhas normais lístricas do Terciário que foram reativadas, controlando a deposição das Formações Pirabas e Barreiras (Bemerguy 1997).

As estruturas neotectônicas da Bacia de Marajó (Terciário Superior e Quaternário) são representadas por um sistema de falhas normais na direção NNW-SSE e NW-SE, e por feixes de falhas transcorrentes de orientação preferencial NE-SW e ENE-WSW, sub-paralelas ao tensor extensional (Costa *et al.* 1991; e Costa *et al.* 2002) (Figura 6).

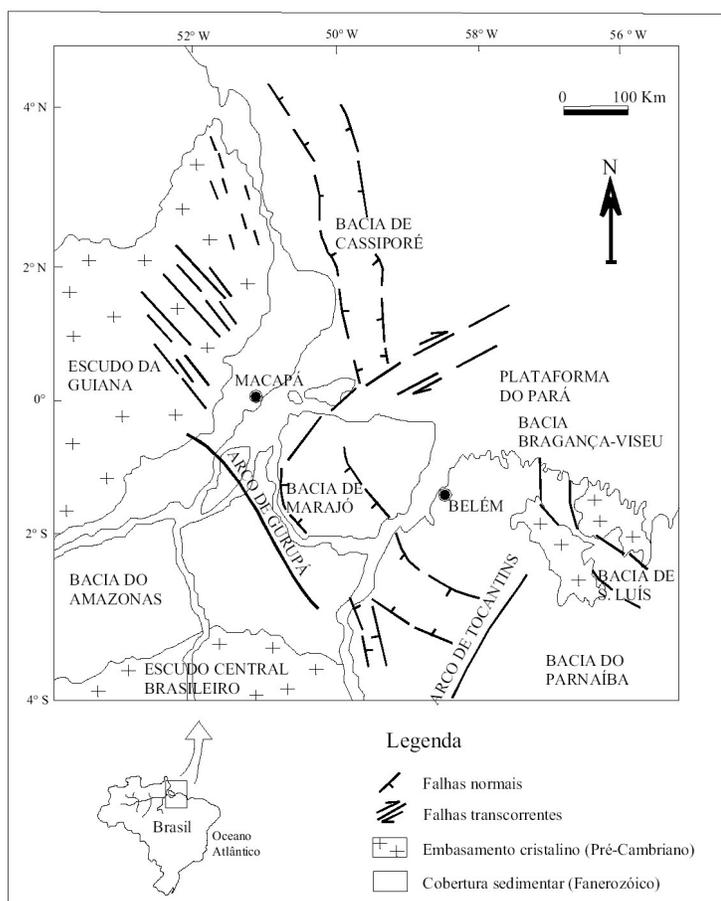


Figura 5 – Arcabouço tectônico simplificado da costa norte do Brasil (adaptado de Costa *et al.* 2002).

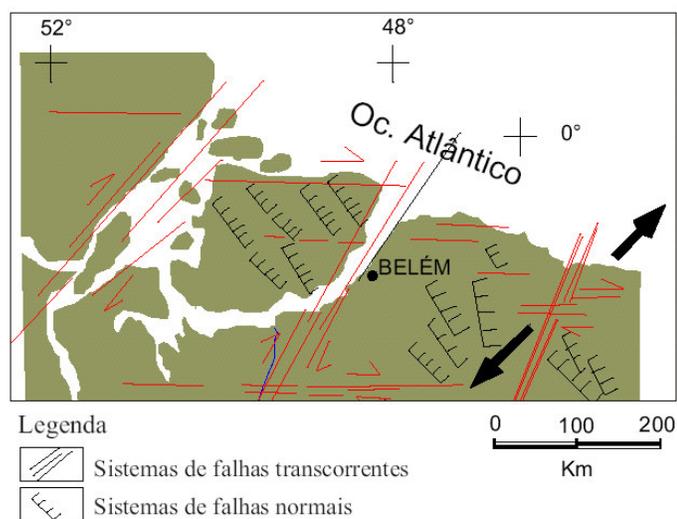


Figura 6 – Principais estruturas do Quaternário da região nordeste do Estado do Pará (adaptado de Costa *et al.* 1996).

### 3.5 ASPECTOS PALEOGEOGRÁFICOS E PALEOCLIMÁTICOS DURANTE O CENOZÓICO SUPERIOR

Os eventos de caráter regional, que marcaram a evolução paleogeográfica da Ilha de Marajó e áreas adjacentes, durante o Cenozóico Superior, definiram as características geomorfológicas atuais e inseriram a região dentro de um contexto estuarino (Bemerguy *et al.* 1995; Borges *et al.* 1995; Costa 1996; Vital 1996; Costa *et al.* 2002; Soares Júnior 2002).

A neotectônica foi marcada pelo regime direcional dextral, com formação de bacias transtensionais de direção NW-SE, resultantes do deslocamento de falhas transcorrentes dextrais E-W, NE-SW e ENE-WSW (regime transcorrente) e falhas normais NW-SE e NNW-SSE. No Marajó Setentrional, desenvolveram-se falhas normais articuladas com os sistemas transcorrentes da Bacia de Marajó (Costa *et al.* 2002; Soares Júnior 2002).

A transgressão marinha, que recobriu a Plataforma do Pará e a Bacia de Marajó, entre o Oligoceno e o Mioceno Inferior, provocou uma inundação de cerca de 40 a 50 m acima do nível atual, alcançando uma extensão de aproximadamente 150 km sobre o continente, dando condições para a deposição de sedimentos carbonáticos das Formações Amapá e Pirabas. No Mioceno Médio, uma nova transgressão marinha controlou a sedimentação sob condições transicionais, influenciada por maré, resultando na Formação Barreiras (Rossetti 2001; Costa *et al.* 2002).

No Pleistoceno Superior, toda a região foi atingida por mudanças climáticas significativas, que resultaram em transformações da biomassa, da rede hidrográfica e das paisagens. As temperaturas médias anuais desceram cerca de 4 a 6° C em relação às de hoje, e as mudanças na circulação atmosférica diminuíram a pluviosidade média anual. O paleoclima caracterizava-se pela aridez e semi-aridez. Esses fatores foram responsáveis pela redução do nível freático, pelo desenvolvimento das savanas e estepes e, conseqüentemente, pela diminuição da área ocupada pelas florestas (Ochsenius 1997).

A queda do nível do mar, em torno de 120 a 140 m abaixo do nível atual, expôs extensas áreas da plataforma continental ao clima seco, propiciando o aumento da continentalidade e da salinidade, a formação de solos, a substituição dos ecossistemas de plataforma e o surgimento de cinturões desérticos arenosos. Tais eram as condições ambientais no período de deposição dos

sedimentos Pós-Barreiras, caracterizada por fluxos de detritos e dissipação de dunas eólicas (Ochsenius 1997; Rossetti 2001).

A retomada da atividade transtensiva condicionou as características morfológicas atuais e os feixes de transcorrências E-W interagiram com os sistemas de falhas normais, definindo romboedros transtensivos, como a Ilha de Marajó. Nesse período, registraram-se ainda: (1) individualização da baía e Ilha de Marajó pela reativação das zonas de fraqueza do Arari e do Tocantins, caracterizadas por um feixe de falhas transcorrentes dextrais de direção NE-SW, no Pleistoceno Superior, que capturaram os baixos cursos dos rios Amazonas e Tocantins, e os condicionaram para a direção NE-SW; (2) segmentação da Ilha de Marajó em blocos basculados e rotacionados no sentido anti-horário condicionados por falhas normais de direção NW-SE e NNW-SSE, inclinadas para NE, o que gerou o soerguimento do lado oriental da ilha, obstrução e entulhamento de uma antiga drenagem que vertia para o Atlântico, erosão acelerada, entalhamento de paleovales e formação de falésias, características das costas de Salvaterra; (3) subsidência do lado ocidental da ilha, dando condições para a instalação de uma drenagem reticulada controlada, em parte, por falhas normais de direção NW-SE, e extensa planície em processo de colmatagem (Costa et al. 2002; Soares Júnior 2002).

No Holoceno Inferior, o paleoclima era úmido e com temperaturas mais altas que as atuais, o que permitiu a expansão das florestas pluviais (Coltrinari 1992). O máximo da transgressão holocênica ocorreu em torno de 5.100 anos A.P. e alcançou uma amplitude de cerca de 5 m. Entre o Holoceno Médio e o Holoceno Superior, registraram-se rápidas oscilações do nível do mar, com amplitudes entre 2 e 3 m. As regressões marinhas desse período ocorreram em 4.900 a 3.900 e 3.600 a 2.800 anos A.P., alternadas com as transgressões entre 3.900 a 3.600 e 2.700 a 2.500 anos A.P. (Clapperton 1993).

Na região do lago Arari (porção centro-oriental da Ilha de Marajó), os eventos tectono-eustáticos acarretaram o isolamento ou inversão de drenagem de um antigo sistema flúvio-lacustre interior, iniciando os processos de afogamento e colmatagem de paleocanais meandrantés, que ligavam esta região à baía de Marajó e ao oceano Atlântico, e propiciando a formação de um grande lago na sub-região dos campos naturais. Com o nível do mar próximo ao atual, a continuidade do processo de colmatagem originou o lago Arari atual, a individualização de lagos menores e o desenvolvimento da extensa planície costeira da porção oriental da Ilha de Marajó (Vital 1988).

### 3.6 CONTRASTE FISIAGRÁFICO ENTRE AS COSTAS DE SOURE E SALVATERRA

A morfogênese regional condicionou uma compartimentação morfológica contrastante, entre Soure e Salvaterra, refletindo-se na orientação e características das unidades, evidenciando dois tipos de costa. A costa baixa de Soure caracteriza-se por extensa planície costeira, disposta longitudinalmente que, na área de estudo, ocupa cerca de 14 km de extensão, e larguras entre 2,9 a 4,4 km, constituída por sedimentos quaternários lamosos e arenosos de origem flúvio-marinha. Apresenta ambientes de manguezais, canais de maré e praias-barreiras de areias finas bem selecionadas.

A costa de Salvaterra é formada por um alinhamento de falésias de aproximadamente 2,5 km de extensão, esculpido em sedimentos do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras, que representa a extremidade oriental do Planalto Costeiro. Este é cortado por paleovales, ocupados por planícies de maré, onde se desenvolvem manguezais e canais de maré, apresentando orientação geral NE-SW e ENE-WSW. A partir do sopé das falésias, surgem praias estreitas e íngremes, constituídas por areias médias a grossas, moderadamente selecionadas.

Os fatores que determinam as diferenças entre os dois tipos de costa estão relacionados aos eventos neotectônicos e às oscilações do nível do mar, durante o Cenozóico Superior.

A borda oriental da planície costeira de Soure apresenta contornos retilíneos, associados a um possível controle da sedimentação por sistemas de falhas normais NW-SE e NNW-SSE, ligados aos lineamentos regionais, que determinam a orientação das praias do Pesqueiro, Araruna, Barra-Velha e Garrote, ou da própria planície costeira (Figura 7).

O planalto costeiro, em Soure, é limitado por escarpas de direção NW-SE, N-S e NE-SW, entre 1 e 10 m de altura. Essas escarpas constituem as falésias ativas da margem esquerda do rio Paracauari e as falésias “mortas” das zonas de contato entre o planalto e a planície costeira, esculpidas durante as fases transgressivas do Holoceno. As bordas ocidental e oriental do planalto apresentam-se recortadas por antigos sistemas fluviais, que aprofundaram seus vales quando do basculamento de blocos ou da queda do nível de base.

Os recortes geométricos angulosos das margens do rio Paracauari e da costa de Salvaterra podem resultar da interação de falhas transcorrentes NE-SW e de falhas normais NW-SE, que condicionam a orientação das falésias e a disposição das praias, como a Grande. As falhas transcorrentes determinam a direção dos paleovales, das suas planícies e canais de maré, bem

como a alternância de promontórios e enseadas, à semelhança das costas das Ilhas de Mosqueiro e Outeiro (Igreja *et al.* 1990) (Figura 7).

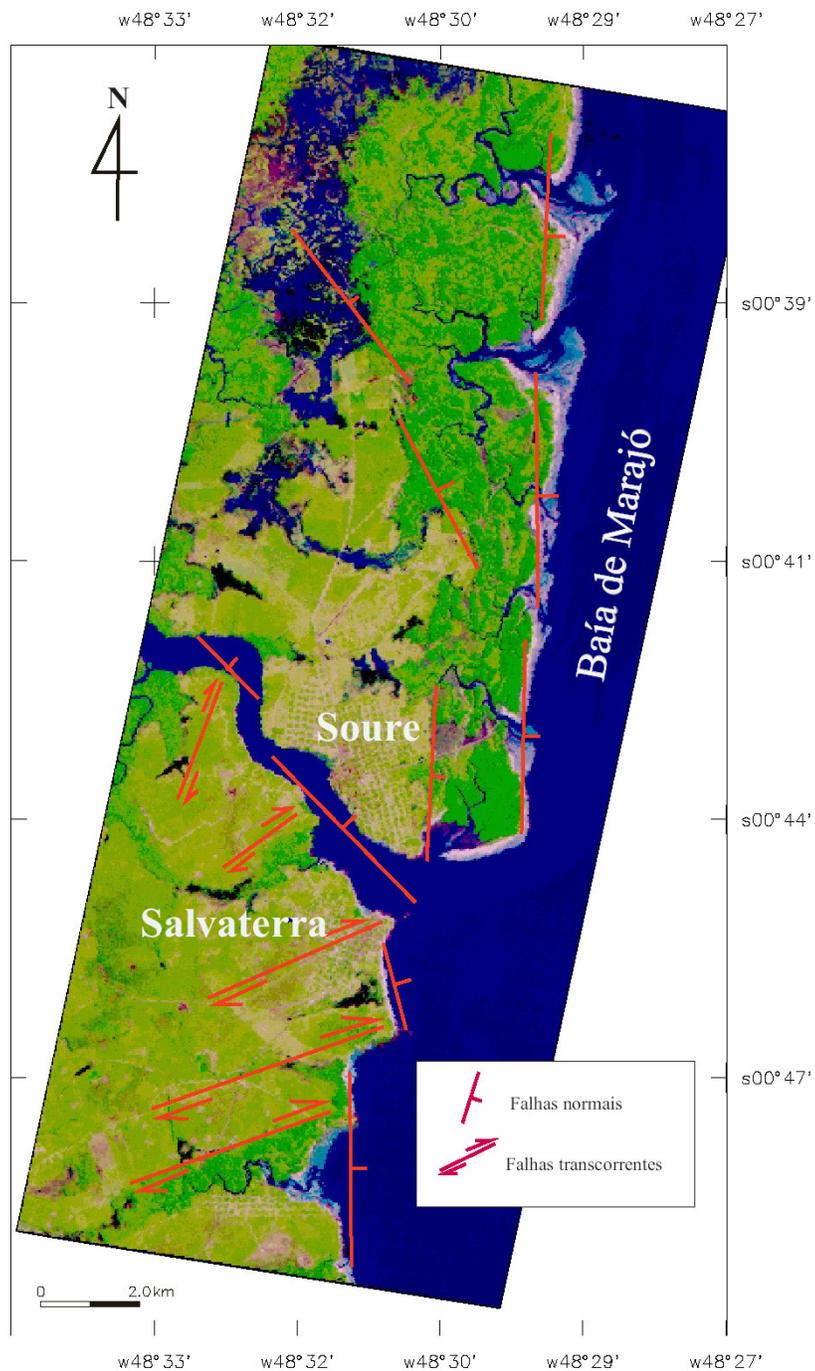


Figura 7 – Interpretação dos principais elementos estruturais das costas de Soure e Salvaterra (cena Landsat TM 5, composição 5R4G3B).

Os depósitos do Cenozóico Superior (Formação Barreiras/Pós-Barreiras), que afloram nas margens do rio Paracauari e nas falésias da costa de Salvaterra, expõem, da base para o topo, a parte superior da seqüência B, a discordância DS3 e a seqüência C, de acordo com a coluna estratigráfica de Rossetti (2001), para a região nordeste do Pará.

O grau de intemperismo dificulta a análise da estrutura sedimentar e dos ambientes deposicionais, porém é bem marcado um horizonte conglomerático laterítico, com presença de seixos a blocos sub-angulosos e angulosos, limitado no topo por uma superfície irregular erosiva, correspondente ao limite de seqüência entre a Formação Barreiras e os sedimentos Pós-Barreiras (discordância DS3), atribuído ao Mioceno Superior (Rossetti 2001) (Figura 8).

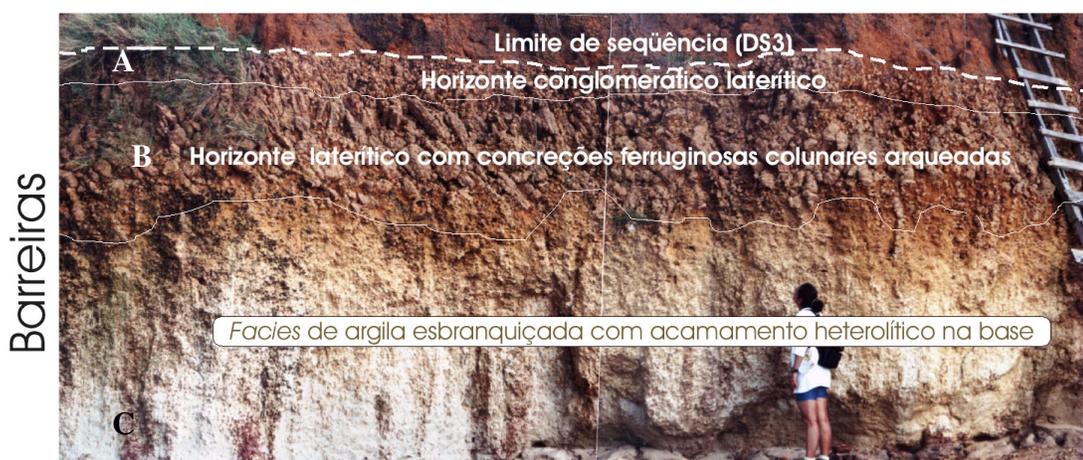


Figura 8- *Facies* reconhecidas nos afloramentos da Formação Barreiras, nas falésias de Salvaterra: A) *facies* conglomerática; B) *facies* laterítica com blocos colunares arqueados; e C) *facies* de argila esbranquiçada com acamamento heterolítico na base (Foto realizada em julho/2001).

Correlacionando com o modelo deposicional estabelecido por Rossetti (*op.cit.*), para a região nordeste do Pará, as costas de Soure e Salvaterra estiveram submetidas a processos transgressivos, no Mioceno Médio, que depositaram os sedimentos Barreiras, seguidos de queda do nível do mar e exposição sub-aérea, no Mioceno Superior e no Plioceno ao Holoceno, que proporcionaram a formação de paleossolo e a deposição do Pós-Barreiras, sob influência de um paleoclima seco. Tais seqüências sedimentares constituem, hoje, o planalto costeiro de Soure e Salvaterra, uma subdivisão do planalto rebaixado da Amazônia.

A sedimentação de uma extensa planície costeira, em Soure, limitada ao sul pelo rio Paracauari, pode ser o resultado da relação entre os seguintes fatores: (1) soerguimento do bloco

de Salvaterra em relação ao de Soure, indicado pela atual distribuição das unidades morfológicas entre as duas costas; (2) ocorrência de uma fase progradacional costeira, durante o Holoceno, com desenvolvimento de planícies de maré e manguezais, sucedida por uma fase retrogradacional atual, com expansão dos cordões arenosos praias sobre depósitos de mangues, conforme a similaridade de feições entre as costas de Soure, São João de Pirabas, Salinópolis e Brangança; (3) presença do rio Paracauari cuja pluma ruma para a direção norte, durante a maré baixa, o que possibilita o aporte de sedimentos para a costa de Soure, além da contribuição dos canais de maré.

### 3.7 CONCLUSÕES

A evolução geológica e geomorfológica da Ilha de Marajó e áreas adjacentes foi controlada por fatores tectono-eustáticos e glácio-eustáticos, atuantes principalmente durante o Cenozóico Superior, em escala regional, resultando numa morfologia estuarina e em seqüências sedimentares constituídas por depósitos fluviais, estuarinos e marinhos.

As oscilações do nível do mar determinaram a deposição da Formações Pirabas e do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras, em ambientes marinho raso e estuarino, incluindo ambientes de planície de maré e manguezal. As fases de regressão marinha e exposição sub-aérea deram origem à formação de horizontes lateríticos (paleossolos), sob a influência de paleoclimas tropicais secos, que marcam as discordâncias entre as seqüências sedimentares.

A estruturas neotectônicas controlaram o preenchimento sedimentar da Bacia de Marajó, a direção das desembocaduras do rio Amazonas e do rio Pará e, em nível local, a distribuição das unidades de relevo e o traçado retilíneo ou anguloso da costa.

Os principais eventos que definiram as características atuais da Ilha de Marajó, ocorreram entre o Mioceno Médio e o Holoceno:

- (1) transgressão marinha, do Mioceno Médio, que controlou a sedimentação sob condições transicionais influenciadas por maré, resultando na Formação Barreiras;
- (2) significativa queda do nível do mar, no Mioceno Superior, que expôs a plataforma continental do Pará às condições sub-aéreas, sob clima tropical com estação seca bem

marcada, e formação de um horizonte laterítico, que representa o limite superior da Formação Barreiras;

- (3) deposição dos sedimentos Pós-Barreiras, do Plioceno ao Holoceno, sobre a discordância do topo da Formação Barreiras, em fase de regressão marinha e de condições climáticas mais secas;
- (4) interação de sistemas de falhas transcorrentes NE-SW e normais NW-SE, no Pleistoceno, que definiram romboedros transtensivos e individualizaram a foz dos rios Amazonas, Tocantins e Pará, e a própria Ilha de Marajó;
- (5) basculamento e rotação de blocos, no Pleistoceno Superior, condicionados por falhas normais NW-SE, inclinadas para NE, geraram o soerguimento do lado oriental da Ilha de Marajó, obstrução de antiga drenagem, entalhamento de paleovales e formação de falésias; subsidência do lado ocidental e instalação de uma drenagem reticulada;
- (6) a alternância de processos transgressivos e regressivos erodiu a borda oriental do planalto rebaixado da Amazônia, esculpindo formas escarpadas, que constituem as falésias “mortas” da zona de contato com a planície costeira, em Soure, e as falésias “vivas” de Salvaterra; e formação da planície costeira atual com os depósitos de planícies de maré e manguezais, de cordões arenosos de praias e dunas.

As diferenças morfológicas da margem leste da Ilha de Marajó evidenciam dois tipos de costas. Em Soure, a evolução quaternária originou uma extensa planície costeira, disposta longitudinalmente, caracterizando uma costa baixa, com depósitos lamosos (planícies de maré recobertas por manguezais) e arenosos (cordões de praias e dunas com vegetação de restinga), cuja borda de contornos retilíneos demonstra um possível controle da sedimentação por falhas normais, ligadas aos sistemas regionais NW-SE. Em Salvaterra, o alinhamento de falésias do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras caracteriza uma costa alta, cujos contornos podem refletir uma interação de falhas transcorrentes e normais, ligadas aos sistemas regionais NE-SW e NW-SE. A planície costeira é representada por estreitas praias arenosas, com disposição controlada pelas estruturas neotectônicas, e planícies de maré que ocupam o interior de paleovales.

## 4 COMPARTIMENTAÇÃO MORFOLÓGICA DA ZONA COSTEIRA DE SOURE E SALVATERRA

### 4.1 INTRODUÇÃO

A evolução geomorfológica de vários setores da costa nordeste do Estado do Pará tem sido estudada por vários pesquisadores (Franzini 1990; Igreja *et al.* 1990; Bemerguy *et al.* 1992; Senna 1993; Souza Filho 1995; Santos 1996; Silva 1996; Bemerguy 1997; Silva 1998; Silva Júnior 1998; Souza Filho 2000b; Costa *et al.* 2002; Souza Filho & Paradella 2002), que anunciam o controle das mudanças relativas do nível do mar, durante o Quaternário, das estruturas neotectônicas e da dinâmica costeira atual na configuração geomorfológica do litoral paraense. A compartimentação fisiográfica das zonas costeiras resultam da interação de vários processos (morfológicos, tectônicos, eustáticos, abrasivos e deposicionais), que respondem pela gênese da costa (Ab'Saber 2000).

As costas de Soure e Salvaterra, na margem leste da Ilha de Marajó, apresentam um contraste na compartimentação do relevo, na geologia e litologia, no gradiente costeiro e na distribuição dos ecossistemas, onde se distinguem duas principais unidades morfológicas: planalto costeiro e planície costeira.

O uso do sensoriamento remoto no estudo da diferenciação morfológica costeira permite a identificação das formas erosionais e deposicionais, o arranjo espacial das unidades de relevo e fornece subsídios à compreensão dos processos que operaram (e operam) na evolução do litoral (Gowda *et al.* 1995).

Diante disso, os objetivos do presente capítulo são o mapeamento, a compartimentação e a caracterização morfológica das costas de Soure e Salvaterra, com base em dados de sensores remotos e nos fatores geológicos, topográficos e vegetacionais.

## 4.2 COMPARTIMENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA ZONA COSTEIRA DE SOURE E SALVATERRA

Com base nas formas de relevo, na topografia, na geologia, na granulometria dos sedimentos e na cobertura vegetal, foi possível compartimentar a área de estudo em duas unidades principais: Planalto e Planície Costeira (Figura 9).

### 4.2.1 Planalto Costeiro

O planalto costeiro representa a superfície dos baixos platôs, que constitui o nível Belém-Marajó (Ab'Saber 1967), cujas cotas topográficas variam de 5 a 20 m, formando um relevo aplainado com suaves ondulações, tratando-se do mais baixo dos níveis regionais de terras-firmes da Amazônia brasileira (Ab'Saber *op. cit.*). Na área de estudo, estende-se por 402,23 km<sup>2</sup> com posição espacial N-S.

O planalto costeiro é constituído por sedimentos do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras. As seqüências estratigráficas expostas nos afloramentos das falésias, próximas à praia Grande de Salvaterra, mostram da base para o topo: a) a parte média e superior da Formação Barreiras ou Seqüência B (Rossetti 2001), apresentando acamamentos heterolíticos *linsen*; *facies* areno-argilosa com pequenos blocos ferruginosos e grânulos de quartzo esparsos; *facies* de arenito com tubos fósseis; horizonte laterítico com concreções ferruginosas colunares arqueadas; b) a discordância DS3 (Rossetti *op. cit.*) marcando uma superfície irregular erosiva, constituída por um horizonte conglomerático laterítico (seixos a blocos angulosos e sub-angulosos); e c) sedimentos Pós-Barreiras ou Seqüência C (Rossetti *op. cit.*), sobrejacentes à discordância DS3, constituídos por arenito fino a grosso, estruturação maciça e grânulos de quartzo esparsos (Figura 10).

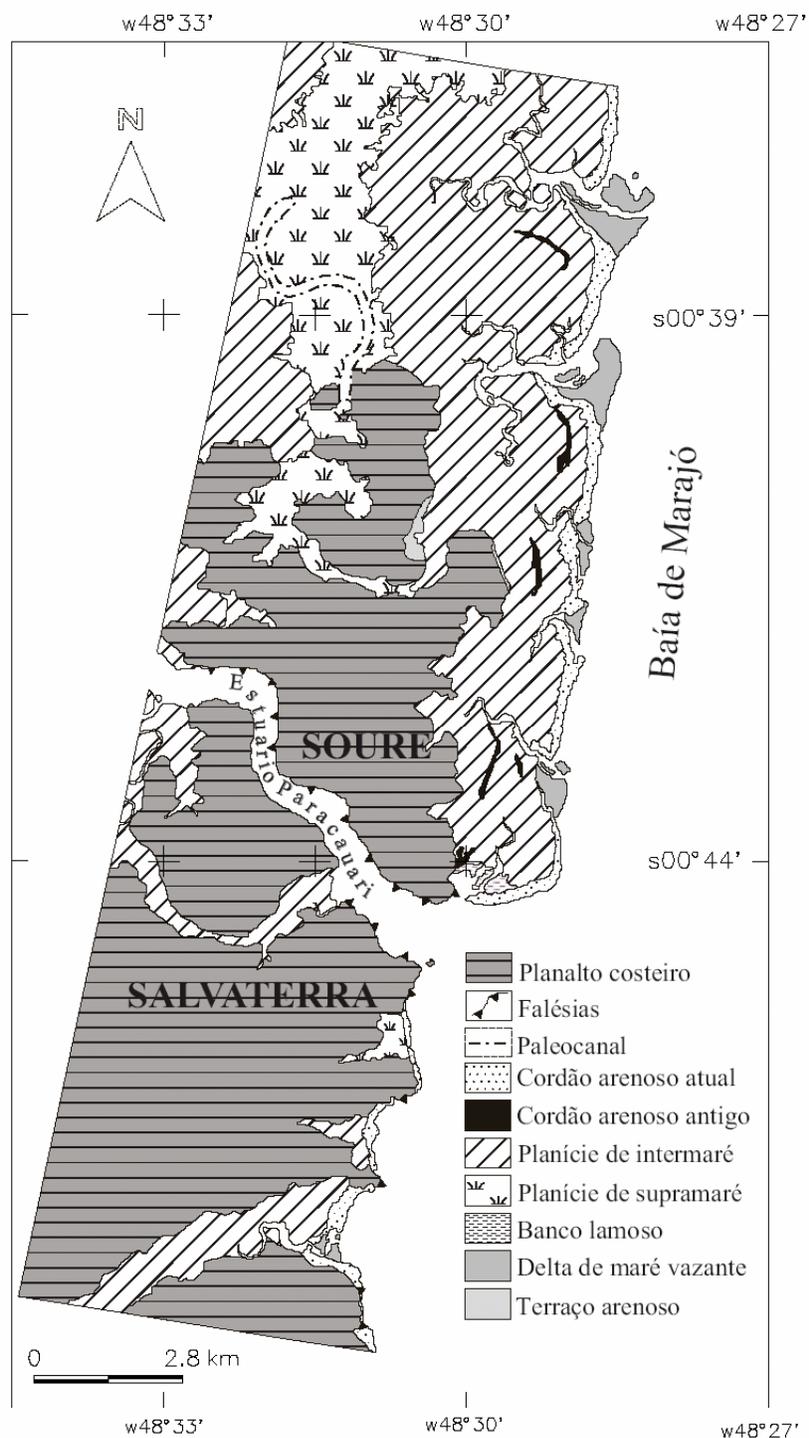


Figura 9 – Mapa morfológico da zona costeira de Soure e Salvaterra, elaborado a partir da interpretação de fotografias aéreas de 1996 e imagem Landsat TM 5 de 1995.

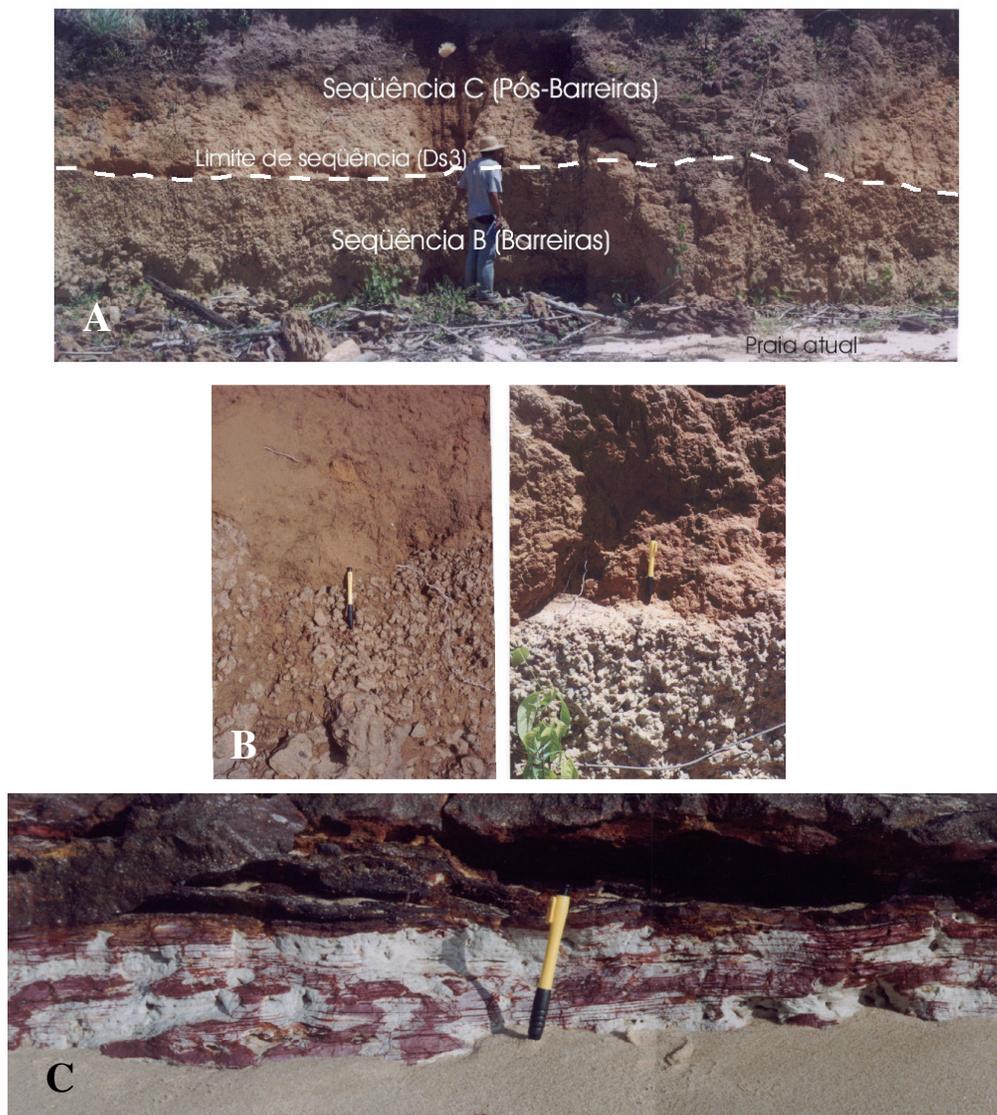


Figura 10 – A e B) Seqüências estratigráficas e limite de seqüência reconhecidos nas falésias de Salvaterra, com base em Rossetti (2001); C) *facies* heterolítica com acamamento *lenticular* em trechos isolados, na base das falésias (Fotos realizadas em julho 2001).

Os limites do planalto com a planície costeira caracteriza-se, no interior da área de estudo, por desníveis topográficos de baixo gradiente, apresentando superfícies que gradam suavemente na direção da planície, ou por pequenas escarpas, de aproximadamente 0,5 a 1,5 m de altura, formando falésias inativas. Na costa, o contato topográfico se dá abruptamente, originando falésias ativas, sujeitas à ação erosiva das ondas, com alturas entre 1 e 6 m (Figura 11).

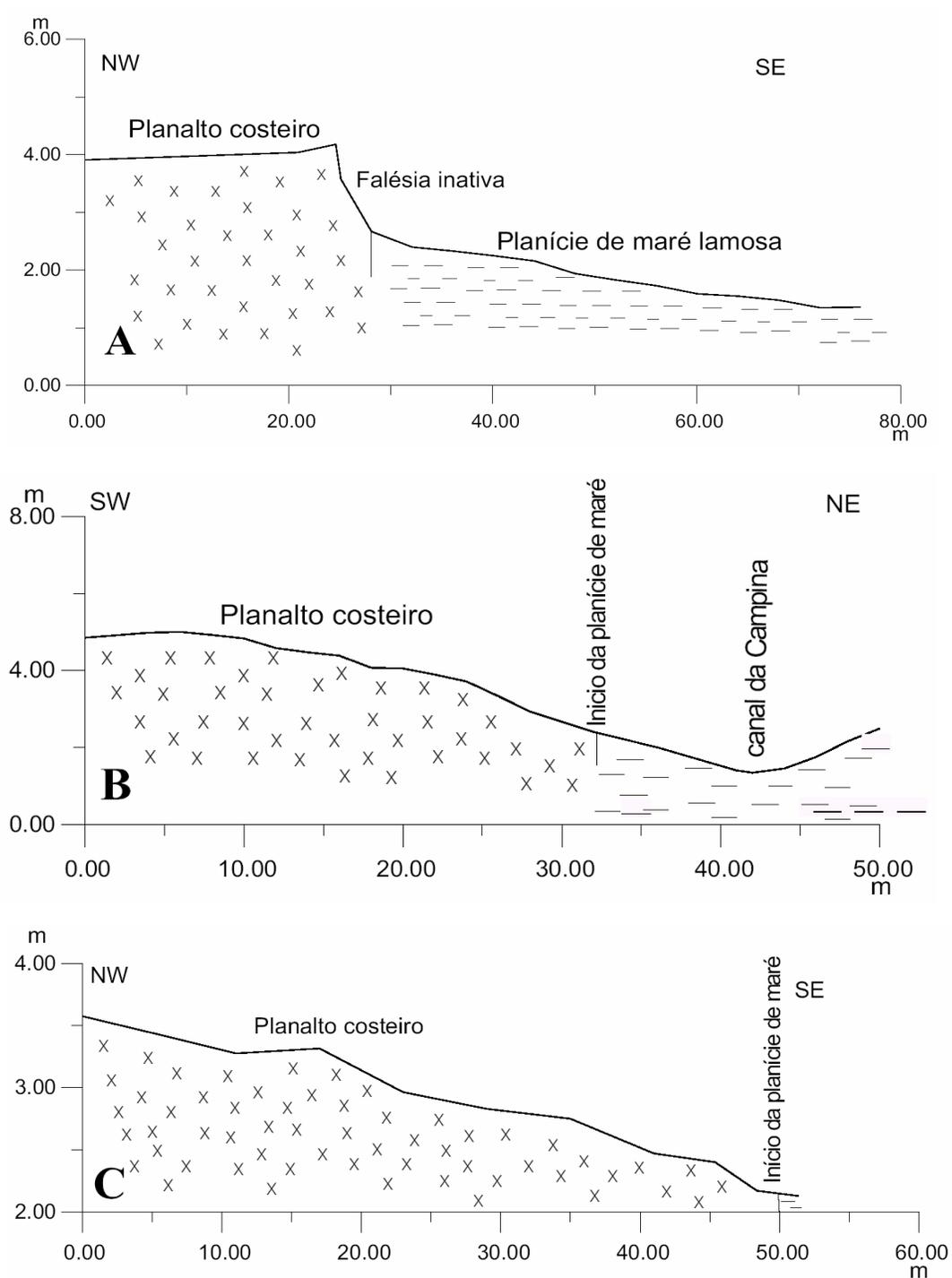


Figura 11- Perfis morfológicos mostrando o limite entre o planalto costeiro e a planície de maré : A) em Mata-Fome (P7); B) em Tapera-Campina (P8); C) próximo à estrada Camará-Salvaterra (P9) ( perfis realizados em outubro de 2000).

Além das características topográficas, o contorno do planalto é recortado, fragmentado e entalhado por paleovales, chegando a ocorrer blocos isolados. Tal situação evidencia a erosão que se processou durante o basculamento tectônico, na porção oriental da Ilha de Marajó, controlado por sistemas de falhas normais e transcorrentes (Costa *et al.* 2002), e durante as fases de regressão e transgressão marinhas, na costa nordeste do Pará, do Mioceno ao Quaternário (Souza Filho & El-Robrini 1998). Os paleovales encontram-se colmatados e ocupados por estreitas planícies de maré, cujas larguras variam de 300 a 1.300 m.

Na margem esquerda do rio Paracauari (Soure), surgem pequenos terraços escalonados, possivelmente relacionados a rápidas flutuações do nível do mar, durante o Holoceno, ou são decorrentes das variações entre as forças erosivas e a litologia (erosão diferencial). O topo é recoberto por vegetação rasteira ou arbustiva (capoeiras), de cerca de 3 m de altura e, em alguns trechos, por manchas de cerrado e mata secundária. A base dos terraços é constituída por bancos de cascalhos, decorrentes do retrabalhamento dos afloramentos da Formação Barreiras/Pós-Barreiras.

Em alguns trechos da costa, como na Ponta do Tapariuaçu (Salvterra), a erosão removeu completamente as falésias, deixando um depósito de material laterítico ou restos de concreções ferruginosas. Em pontos isolados da Baía de Marajó próximos à costa e à foz do rio Paracauari, alguns afloramentos dão origem a ilhotas, chamadas regionalmente de “coroas”, que representam perigo à navegação uma vez que ficam submersas durante a maré alta.

#### **4.2.2 Planície Costeira**

A planície costeira ocupa a porção centro-oriental da área de estudo, abrangendo cerca de 377,18 km<sup>2</sup>, apresentando cotas topográficas inferiores a 5 m. Estende-se para oeste até o alcance máximo da zona de influência das marés, onde se limita com o planalto costeiro.

Esta planície é constituída por sedimentos lamosos e arenosos quaternários, cuja deposição foi realizada por processos flúvio-marinhos e eólicos, durante fase progradacional da linha de costa, sob condições regressivas ou de mar estável, no Holoceno (Souza Filho 1995, 2000b), com desenvolvimento dos ambientes de planície de maré, manguezal, cordões de praias e dunas.

Em Soure, a planície costeira possui disposição N-S, apresentando uma borda leste retilínea, controlada por possíveis falhas normais NW-SE, e cortada por desembocaduras com orientação preferencial NW-SE. Em Salvaterra, as planícies costeiras têm orientação W-E, NE-SW e NNW-SSE, e se estendem pelo interior dos paleovales, dispendo-se provavelmente segundo o controle de estruturas neotectônicas.

Identificam-se as seguintes sub-unidades: terraços arenosos, planície lamosa de supramaré recoberta por campos, planície lamosa de intermaré recoberta por manguezais, cordões arenosos antigos (*cheniers*), cordões arenosos de dunas e praias atuais, canais de maré e deltas de maré vazante (Figura 9).

#### 4.2.2.1 Terraços arenosos

Os terraços arenosos ocupam as áreas topograficamente mais elevadas da planície costeira, entre o planalto e a planície lamosa de intermaré. Possuem uma distribuição descontínua, irregular, com topografia suave e constituição arenosa. Teixeira & Costa (1992) consideram essas superfícies como terraços marinhos, resultantes de depósitos de antigas praias, formadas durante a última transgressão (Holoceno), e que marcam uma linha de costa pretérita.

Silva (1996) identifica superfícies similares em Salinópolis (costa NE do Estado do Pará) e as classifica como Coberturas Arenosas Retrabalhadas de Supra-maré, inundadas durante as marés de sizígea e desenvolvidas a partir do retrabalhamento dos sedimentos Barreiras/Pós-Barreiras pelas marés, águas pluviais e ventos, em fase de nível do mar superior ao atual.

A análise granulométrica de amostras coletadas em uma trincheira, próximo à estrada Aeroporto de Soure-Fazenda Bom Jesus, revelou a presença de areias finas ( $2,72 \phi$ ), bem selecionadas ( $\sigma = 0,4$ ), de coloração branca até a profundidade de 0,40 m, sobrepostas a uma camada de areias finas ( $2,88 \phi$ ), muito bem selecionadas ( $\sigma = 0,33$ ), de coloração amarelada até 0,60 m de profundidade (Figura 12).

Os limites dos terraços arenosos com o planalto costeiro são gradacionais, do ponto de vista topográfico, e abruptos do ponto de vista vegetacional. A mata secundária ou capoeira do planalto é substituída por uma vegetação de duna ou campo. Ocorrem espécies, tais como:

*Paspalum vaginatum* Sw. (“capim-de-praia”), *Cyperus sp.*, *Syngonanthus tenuis* (H.B.K.) Ruhl. e *Rynchospora riparia* (Nees) Boeck.

A transição para a planície lamosa de intermaré é abrupta, nos aspectos topográfico e vegetal. A vegetação de duna ou campo arenoso é substituída bruscamente pelo manguezal, que ocupa um nível topográfico inferior (Figura 12).

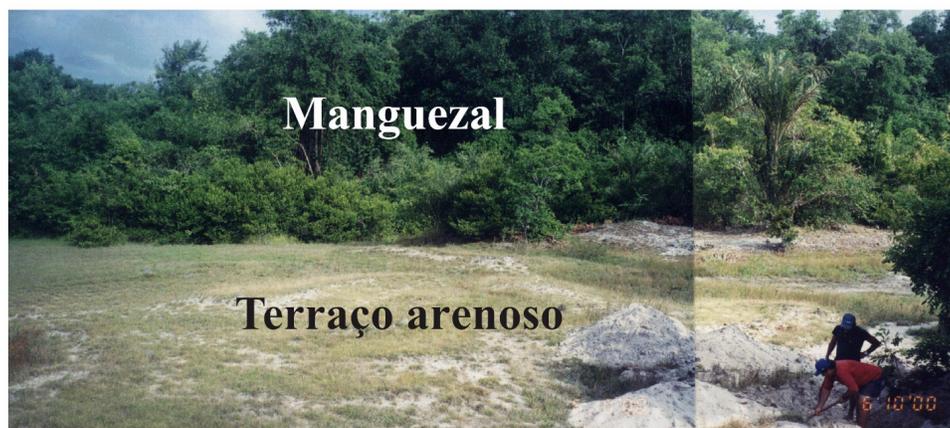


Figura 12- Limite topográfico e vegetal abrupto entre o terraço arenoso e o manguezal (Soure). Análise granulométrica superficial revelou areias finas bem a muito bem selecionadas (Foto realizada em outubro/2000).

#### 4.2.2.2 Planície lamosa de supramaré (campos)

É constituída por sedimentos clásticos quaternários, cuja origem está relacionada aos processos de afogamento e colmatagem de paleocanais, que ligavam o interior da Ilha de Marajó à Baía de Marajó e Oceano Atlântico, entre o Pleistoceno Superior e o Holoceno (Bemerguy 1981; Vital 1988; Costa *et al.* 2002).

Localiza-se no interior da área de estudo, formando estreitas faixas de larguras entre 200 e 2.300 m, com disposição N-S (em Soure) e E-W (em Salvaterra), entre o planalto costeiro e a planície lamosa de intermaré.

No período de dezembro a maio, o regime é controlado pela pluviosidade, sendo secundária a influência das marés. Entre junho e novembro, a redução das chuvas favorece a maior penetração das marés, tornando salobra a água superficial.

A planície lamosa de supramaré apresenta cotas topográficas inferiores a 5 m, é coberta por vegetação aluvial campestre, onde ocorrem espécies tais como: *Eleocharis interstincta* R. Br. (“junco poque-poque”), *Eleocharis mutata* R. et Sch. (“junco triângulo”), *Fimbristylis capillaris* (L.) Kunth., *Xyris jupicai* L.C.Rich., *Borreria laevis* (Lam.) Gris., *Tonina fluviatilis* Aubl., *Nymphoides indica* O. Kuntze, *Panicum sp.* e *Hidrolea spinosa* L.. São espécies características de brejo herbáceo, de várzea e solos areno-argilosos úmidos (Figura 13).

Os contatos com a planície de intermaré se dá pela gradação suave no sentido topográfico e, com o planalto costeiro, se dá com pequeno desnível (falésias “mortas”) e com mudança vegetal abrupta (da mata secundária ou capoeira para a vegetação campestre) (Figura 13).



Figura 13 - Planície lamosa de supramaré recoberta por vegetação campestre. Ao fundo, contato abrupto com o planalto costeiro (Foto realizada em outubro 2000).

Testemunhos *push-core*, realizados nesta unidade, mostraram depósitos de areia fina lamosa com seixos esparsos, pobremente selecionada, e areia fina moderadamente selecionada, respectivamente (Figuras 14).

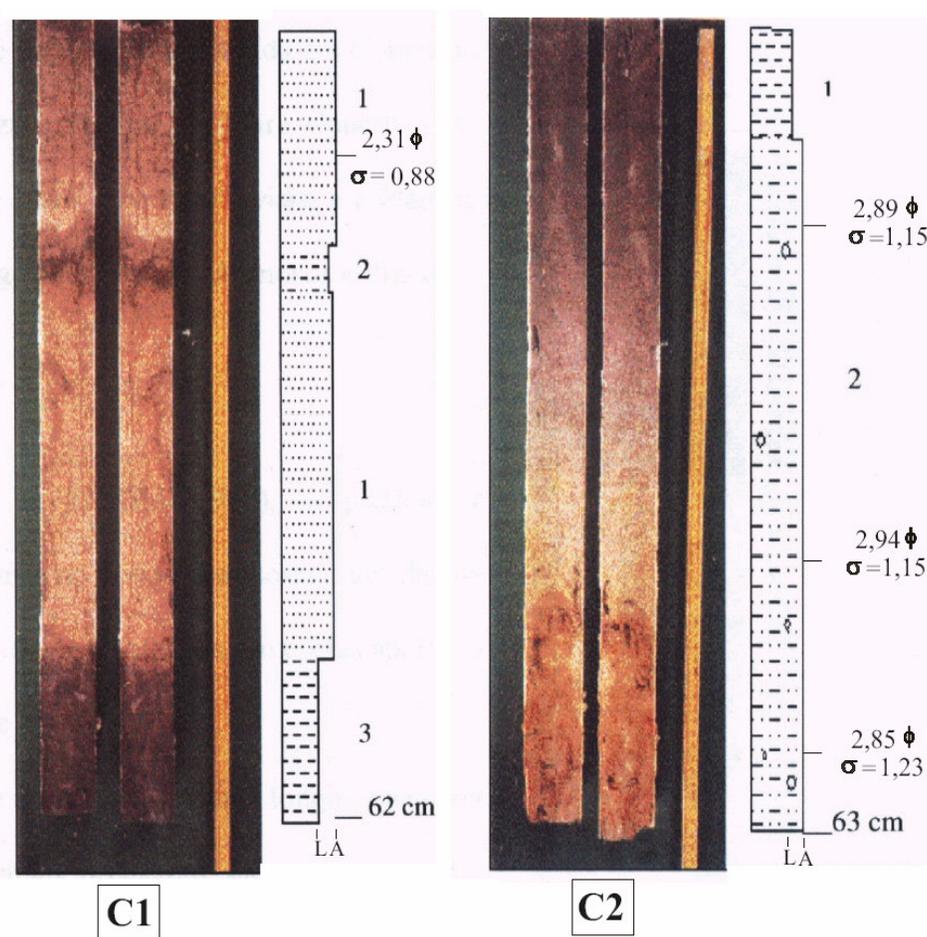


Figura 14 – Testemunhos *push-core* C1 e C2 em área de planície lamosa de supramaré: A) 1- Silte/argila; 2- Areia fina lamosa com seixos esparsos, pobremente selecionada; B) 1- Areia fina, moderadamente selecionada; 2- Areia/lamosa; 3- Silte/argila.

#### 4.2.2.3 Planície lamosa de intermaré (manguezais)

Segundo Reineck & Singh (1980), as planícies de maré são unidades morfológicas que se formam ao longo de costas de declive suave, recortadas e dominadas por maré, em estuários ou em costas abertas, apresentando geometria alongada e paralela à linha de costa.

Em Soure, as planícies lamosas de intermaré estendem-se longitudinalmente, alargando-se para norte. Ocupam, na área de estudo, aproximadamente 155,95 km<sup>2</sup> e apresentam larguras que variam de 1 a 3,8 km. Limitam-se a oeste com o planalto costeiro e a planície lamosa de supramaré, a leste com os cordões de dunas e praias, e ao sul com o rio Paracauari. As principais drenagens são representadas pelos canais do Uruci, Araruna, Glória, Barco, Pesqueiro e Cajuúna.

Em Salvaterra, as planícies de intermaré ocupam o interior dos paleovales, escavados no planalto costeiro, até o limite de influência das marés. Ocupam uma área de aproximadamente 59,63 km<sup>2</sup> e apresentam larguras entre 0,1 a 1,3 km. As principais drenagens são representadas pelos canais Guajará e Jubim.

A cobertura vegetal é representada pelos mangues. Na extremidade leste da planície costeira de Soure, em contato com os cordões arenosos de praias e dunas atuais, sob a ação das ondas e correntes de maré, os manguezais de intermaré apresentam feições erosivas, como terraços lamosos, soterramento e destruição das árvores adultas, refletindo a migração dos cordões praias sobre os depósitos lamosos e a retrogradação da linha de costa. Na parte interna, nos setores protegidos da costa, atrás da praia-barreira do Garrote e nas margens deposicionais dos canais de maré, desenvolvem-se formas acrecionais que respondem pela progradação da linha de costa, com instalação de espécies vegetais pioneiras e mangues jovens.

Na orla da Baía de Marajó, em Soure, os manguezais adultos estendem-se desde os limites da praia do Garrote até os limites com a praia do Cajuúna, predominando a espécie *Rhizophora mangle* L. (“mangue vermelho”). Nos setores internos da planície de maré, nas margens do canal do Pesqueiro e nas zonas de progradação, em Soure, e no vale dos canal do Jubim, em Salvaterra, encontram-se as espécies: *Rhizophora mangle* L. (“mangue vermelho”), *Avicennia schaweriana* Stapf & Leech. (“siriúba preta”), *Laguncularia racemosa* Gaertn. (“tinteira”), *Fimbristylis spadicea* (L.) Vahl, *Machaerium ferox* Mart. ex Benth. (“aturiá”), *Stigmaphyllon bannisterioides* (L.) C. And., *Spartina sp.*, *Alisma macrophyllum* Kunth. e *Hippeastrum equestre* Herb.

Os coqueirais, onde ocorre a espécie *Cocus nucifera* Mart., ocupam áreas internas e ao longo das margens de alguns canais de maré, onde a topografia é mais elevada, e coexistem com os mangues. A presença dos coqueirais deve-se à ação antrópica e posterior disseminação de brotos pelas correntes de maré.

#### 4.2.2.4 Cordões arenosos antigos (*cheniers*)

Os cordões arenosos antigos formam cristas lineares situadas no interior dos manguezais de intermaré, representando depósitos de antigas praias que ficaram preservadas em meio aos sedimentos siltosos/argilosos das planícies de maré progradantes (Souza Filho 1995).

Segundo Reineck & Singh (1980), a variação do suprimento sedimentar é fator fundamental para a formação dos *cheniers*. Quando o suprimento de sedimentos finos é interrompido, durante fase erosiva ou de rápida subida do nível do mar, as ondas retrabalham os sedimentos existentes na costa, dando origem a uma flecha arenosa que se forma à frente do mangue. À medida que o suprimento de finos cresce, com o retorno das condições acrecionais, uma nova zona lamosa se forma na frente da flecha arenosa, abandonando-a em meio à planície de lama. Como tal processo se repete, várias cristas arenosas alongadas podem ocorrer.

Para Augustinus (1989), os principais fatores que influenciam a formação dos *cheniers* e que determinam mudanças ambientais são: deslocamento de desembocaduras fluviais, flutuações do nível do mar, flutuações climáticas e frequência de tempestades.

De acordo com Souza Filho (1995; 2000b), os cordões arenosos antigos ou *cheniers* são também constituídos por cordões de duna/praias e os leques de lavagem podem lhes conferir uma forma irregular. Sua origem está ligada ao retrabalhamento de sedimentos areno-lamosos mal selecionados e que são transportados para a costa como barras longitudinais. São feições morfológicas importantes por fornecerem um registro do nível do mar pretérito e das mudanças ambientais, durante o Holoceno, por estarem relacionados à retrogradação da linha de costa, em condições transgressivas, seguida de fase progradacional das planícies de maré e desenvolvimento de manguezais.

Na planície costeira de Soure, os cordões arenosos dispõem-se paralela ou quase paralelamente à linha de costa atual, distando entre 0,2 a 1,5 km da mesma, e possuem comprimentos variados e formas lineares ou curvadas. Apresentam direção preferencial N-S e NW-SE, e ocupam uma área de 5,2 km<sup>2</sup>.

Em Salvaterra, os cordões arenosos são em menor número e formam agrupamentos próximos à foz do canal do Jubim. Apresentam forma estreita e retilínea, e posição no sentido NE-SW, com área de 0,8 km<sup>2</sup>.

O perfil topográfico de um cordão arenoso, distante cerca de 1 km da praia da Barra Velha (Soure), mostrou gradiente de 1:29 a oeste da crista (lado interno), e de 1:7 a leste da crista (lado externo). Isso indica uma morfologia característica, ligada ao transporte de sedimentos para o interior da planície de maré, quando da formação do cordão arenoso, gerando um lado externo mais curto e mais íngreme, e um lado interno mais extenso e suave (Augustinus 1989) (Figura 15).

A cobertura é representada por vegetação herbácea e arbustiva aberta, e espécies como: *Borreria sp.*, *Cyperus laxus* Vahl., *Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K. (“muruci-do-campo”), na zona arenosa, e *Eleocharis caribea* (Rot.) Blake, *Avicennia schaweriana* Stapf & Leech. (“siriúba preta”), *Fimbristylis spadicea* (L.) Vahl e *Paspalum vaginatum* Sw. (“capim-de-praia”), na zona de transição para o mangue.

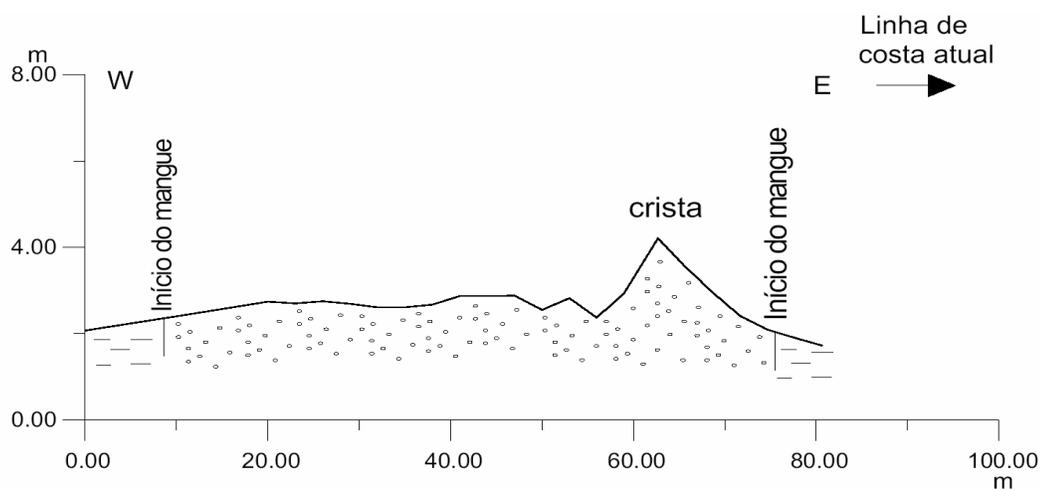


Figura 15 – Características morfológicas de um cordão arenoso antigo, situado a 1 km a oeste da atual linha de costa: lado externo (leste) mais íngreme e mais curto do que o lado interno (oeste) (Perfil realizado em outubro de 2000).

#### 4.2.2.5 Cordões arenosos de dunas e praias atuais

##### a) Dunas

As dunas costeiras são comuns nas áreas de ventos fortes e de grande suprimento sedimentar arenoso, de origem marinha ou fluvial, trazidos para as praias pelas ondas ou redistribuídos ao longo da costa pela corrente litorânea. Uma vez depositadas nas praias, as areias são expostas ao ar e ressecadas, durante a maré baixa, permitindo o retrabalhamento pelo vento (joeiramento), que as seleciona, transporta e deposita acima da zona de pós-praia. As dunas são mais desenvolvidas nas costas que apresentam praias dissipativas, planas e constituídas por areias finas, ao contrário das praias reflectivas, onde a face da praia é íngreme, o estoque sub-aéreo de areia é menor e de granulometria grossa, que não são facilmente joeirados. As características morfológicas e sedimentares das praias influenciam sobremaneira no volume, altura, extensão e complexidade morfológica das dunas, assim como a cobertura vegetal. (Carter 1988)

Dependendo do tipo de vegetação e dos processos aerodinâmicos, há duas classes principais de dunas, segundo Carter (*op. cit.*): uma representada por cristas paralelas à costa, formadas em áreas de vegetação densa, e outra representada pelas formas barcanóides, piramidais, etc, geradas em costas de vegetação esparsa, onde o vento atua livremente. Em Soure e Salvaterra, a maioria das dunas se enquadra na primeira classificação. São dunas baixas, longitudinais e cobertas por vegetação predominantemente arbustiva, abrangendo uma área de 3,29 km<sup>2</sup>. Ocorrem espécies como: *Paspalum vaginatum* Sw. (“capim-de-praia”), *Ipomea pes-caprae* Rott., *Psidium guajava* L. (“goiabeira”), *Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K. (“muruci-do-campo”) e *Chrysobalanus icaco* L. (“ajuru”).

Nas praias do Pesqueiro e Araruna, as cristas paralelas à costa possuem direção preferencial N-S e, próximo à desembocadura do canal do Pesqueiro, apresentam cristas descontínuas. A granulometria varia de 2,37 a 3,07  $\phi$  (areia fina a muito fina) e a seleção apresenta valores de 0,25 a 0,47 (sedimento muito bem a bem selecionado).

Na praia Grande (Salvaterra), as cristas dispõem-se no sentido NNW-SSE, são ainda mais baixas e de maior granulometria em função das características da costa. O tamanho do grão está entre 1,3 e 1,59  $\phi$  (areia média), e o selecionamento varia de 0,36 a 0,42 (bem selecionado).

## b) Praias

As praias formam cristas arenosas que se estendem desde o nível da maré alta de sizígea, limitando-se com a base das dunas ou falésias, até o nível da maré baixa de sizígea (Souza Filho *et al.* 2002). Em Soure, ocorre o desenvolvimento de praias-barreiras, que limitam a progradação das planícies de maré lamosas cobertas por manguezais. Segundo Silva (1996), os sistemas de barreiras evoluem através do crescimento e progradação de flechas arenosas a partir de extremidades da costa, e do crescimento e emergência de barras arenosas de *offshore*, que migram na direção do continente. Esses cordões arenosos geram setores protegidos, favorecendo a sedimentação lamosa e o crescimento de manguezais entre a barreira e o continente.

Para Reineck & Singh (1980), na planície arenosa costeira encontram-se as zonas de *backshore*, *foreshore* e *shoreface*, que se diferenciam pelas características morfológicas e granulométricas, pelo tempo de exposição sub-aérea ou de inundação e pela dinâmica. A zona de *backshore*, também chamada de zona de supra-maré ou pós-praia, estende-se desde o limite inferior das dunas ou falésias até a linha de maré alta média, que é o limite entre as zonas de *backshore* e *foreshore*. Sendo a parte superior da praia, a zona de *backshore* ou pós-praia permanece a maior parte do tempo seca, exposta ao vento, exceto nas marés altas excepcionais. O vento remove os sedimentos mais finos, que são depositados acima, formando as dunas constituídas de areia fina bem selecionada.

A zona de *foreshore* ou de inter-maré, também chamada de zona de estirâncio das praias, estende-se da linha de maré alta média até a linha de maré baixa média. As correntes longitudinais podem originar uma ou mais barras e calhas, constituídas de areia média a fina, que ficam expostas durante a maré baixa. Podem ser destruídas durante as tempestades e reconstruídas durante os períodos de mar calmo. Em função da exposição sub-aérea, na maré baixa, e conforme a intensidade e direção do vento, areias podem ser deslocadas para a zona de *backshore* ou para as extremidades laterais, contribuindo, neste último caso, para o crescimento do arco praial.

Abaixo da linha de maré baixa média, estende-se a zona de *shoreface* ou de infra-maré, que inclui as zonas de arrebentação e de surfe. Sempre submersa, é também constituída de uma ou mais barras e calhas longitudinais, onde se acumulam sedimentos mais grossos, vindos de

inter-maré. A presença das barras está associada à zona de arrebentação das ondas e às correntes longitudinais (Reineck & Singh 1980).

Na área de estudo, as praias estendem-se pelo extremo oriental da planície costeira, sob a dinâmica da Baía de Marajó e do estuário do Paracauari. O posicionamento espacial das praias e suas características obedecem a um possível controle estrutural e às diferenças fisiográficas entre as costas de Soure e Salvaterra.

As principais praias de Soure, como Cajuúna, Pesqueiro, Araruna (com orientação espacial N-S), Barra Velha (orientação NNW-SSE) e Garrote (orientação E-W), formam extensos cordões entre 1,7 a 4,5 km, apresentando forma retilínea a convexa. São praias-barreiras que permitem o desenvolvimento de zonas protegidas no litoral e extensos manguezais. Pertencem a uma costa de baixo gradiente, seccionada por grandes canais de maré (Figura 16).

A praia Grande pertence à costa alta de Salvaterra, limitada por falésias e promontórios do planalto costeiro. Representa um estreito cordão arenoso de forma côncava, de 1,2 km de extensão, com orientação NNW-SSE (Figura 17).

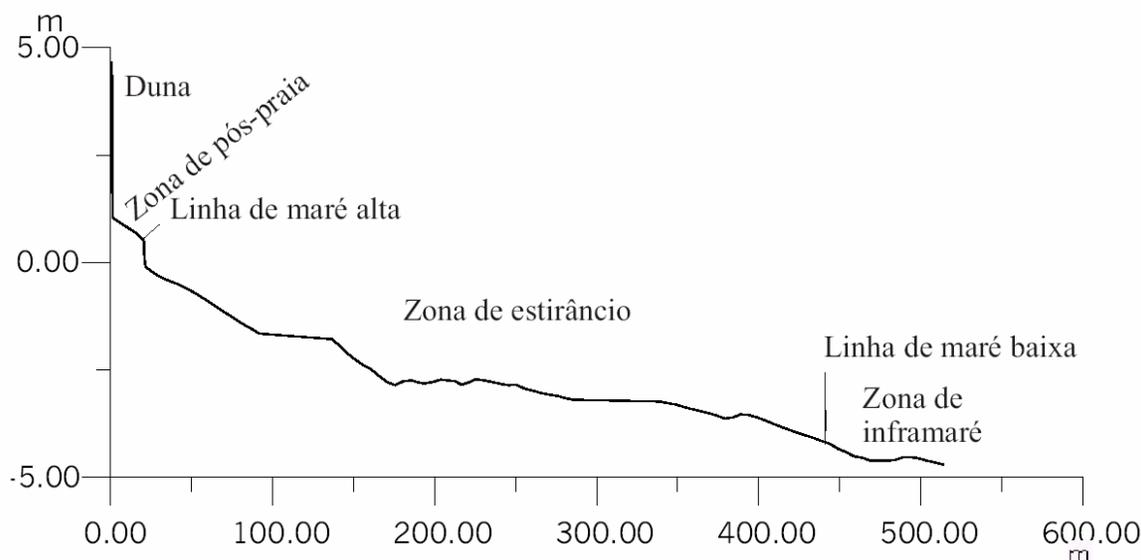


Figura 16 - Perfil morfológico da praia do Pesqueiro (Soure), mostrando os diferentes sub-ambientes praias (perfil realizado em abril de 2001).

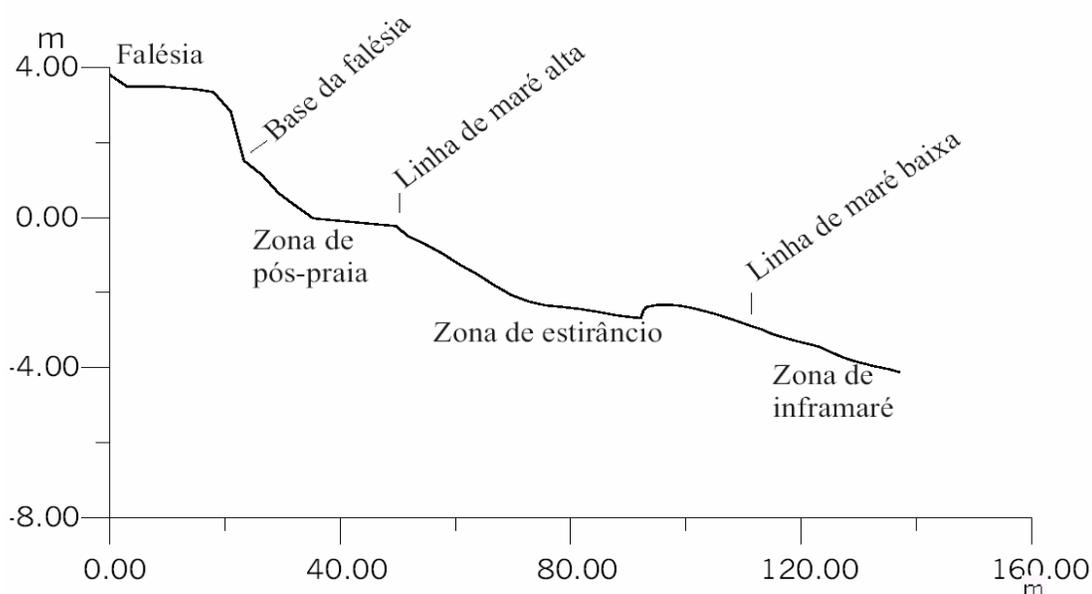


Figura 17 - Perfil morfológico da praia Grande (Salvaterra), mostrando os diferentes sub-ambientes praias (perfil realizado em fevereiro/2001).

#### 4.2.2.6 Canais de Maré e deltas de maré vazante

Os canais de maré constituem vias de irrigação, de drenagem, de nutrientes e de sedimentos, conforme os ciclos de maré, sendo importantes no desenvolvimento das planícies de maré e manguezais. Para montante, os canais tornam-se bifurcados, estreitos, rasos e de fundos lamosos e, na direção de jusante, apresentam-se largos, retilíneos e com fundos arenosos, em resposta às atividades das correntes de maré e ao retrabalhamento dos sedimentos (Reineck & Singh 1980; Souza Filho 1995; Silva 1996).

A migração lateral é um dos fenômenos mais freqüentes nos canais de maré, decorrente da erosão nas margens côncavas e deposição nas margens convexas. As margens erosivas dos canais de maré formam escarpas íngremes com níveis escalonados (terraços lamosos) e, em alguns trechos, expõem estratificação plano-paralela. Nas margens deposicionais, dependendo da

taxa de sedimentação, favorece a colonização por mangues, preferencialmente pela *Avicennia sp.*, *Laguncularia sp.* e *Rhizophora sp.*.

Em Soure, os principais canais de maré (Cajuúna, Pesqueiro, Barco, Glória, Araruna e Uruci) apresentam larguras máximas entre 112 e 468 m, e direções preferenciais NW-SE e N-S. Em Salvaterra, os canais Guajará e Jubim possuem larguras máximas de 58 e 150 m, respectivamente, e direções NE-SW e W-E. Todos os canais de maré desembocam no estuário do Paracauari e Baía de Marajó.

Os deltas de maré vazante ocorrem nas desembocaduras dos canais de maré. A morfologia caracteriza-se pela presença de dois ou mais braços rasos, separados por bancos arenosos de foz de canal, que ficam expostos na maré baixa. A sedimentação arenosa pode originar grandes bancos que se estendem na direção do mar.

Os canais do Cajuúna, Pesqueiro, Glória, Araruna e Jubim possuem deltas de maré vazante, com áreas de 1, 0,9, 0,4, 0,3, e 0,08 km<sup>2</sup>, respectivamente, e com tendências de desenvolvimento no sentido S-N e W-E, conforme análise da imagem Landsat 1995 adquirida em condições de maré baixa (08/06/1995).

#### 4.3 CONCLUSÕES

As características morfológicas da zona costeira de Soure e Salvaterra resultaram da interação de processos geomorfológicos, relacionados : (1) à neotectônica, que condicionou, em nível local, a distribuição e a posição das unidades fisiográficas; b) às oscilações do nível do mar, cujos ciclos transgressivos e regressivos, do Terciário Superior ao Holoceno, controlaram a deposição da Formação Barreiras e dos sedimentos Pós-Barreiras, que constituem o Planalto Costeiro, e dos depósitos flúvio-marinhos da Planície Costeira; e c) à ação das correntes de maré, e ondas da Baía de Marajó e rio Paracauari, responsáveis pela dinâmica costeira atual.

Na costa de Soure, onde se destaca a planície costeira, os processos geomorfológicos dominantes são gerados por maré, em função do baixo gradiente, permitindo o desenvolvimento das planícies de maré e manguezais. Em Salvaterra, a proximidade do planalto e o gradiente mais

acentuado da zona costeira limitam a ação das marés, favorecendo uma influência maior das ondas na elaboração das formas costeiras.

Com base em dados de sensores remotos e nas características geológicas, morfológicas e vegetacionais, compartimentou-se a área de estudo, em duas principais unidades: Planalto Costeiro e Planície Costeira.

O Planalto Costeiro é constituído pelos sedimentos datados do Mioceno Médio ao Holoceno Inferior (Grupo Barreiras/Pós-Barreiras). Apresenta os mais elevados níveis topográficos da área de estudo (entre 5 e 20 m), caracterizando-se por um relevo aplainado com suaves ondulações, classificado como baixo platô. Os seus limites com a planície costeira são recortados e marcados por desníveis topográficos, representados por falésias inativas e ativas, cuja formação está ligada a processos tectônicos de soerguimento e aos ciclos transgressivos e regressivos do nível do mar e à dinâmica costeira atual. A cobertura vegetal é constituída por matas secundárias e capoeiras, tendo quase desaparecido a mata original em função da ocupação humana.

A Planície Costeira ocupa a porção centro-oriental da área de estudo e o interior dos paleovales escavados no planalto costeiro, na zona de influência das marés, apresentando cotas abaixo de 5 m. É constituída por sedimentos lamosos e arenosos quaternários, cuja deposição foi controlada pelos ciclos transgressivos e regressivos do Holoceno e pelas estruturas neotectônicas. Subdivide-se em: terraços arenosos, planícies lamosas de supramaré cobertas por campos, planícies lamosas de intermaré cobertas por manguezais, cordões arenosos antigos (*cheniers*), cordões arenosos de praias e dunas atuais, canais de maré e deltas de maré vazante.

## 5 ANÁLISE FACIOLÓGICA E ESTRATIGRÁFICA DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SOURE

### 5.1 INTRODUÇÃO

A evolução holocênica da planície costeira do nordeste do Estado do Pará tem sido estudada por vários autores à luz da estratigrafia de seqüências, da morfoestratigrafia e da palinologia (Souza Filho 1995; Silva 1996; Souza Filho & El-Robrini 1996; Santos 1996; Silva 1998; Souza Filho & El-Robrini 1998; Silva Júnior & El-Robrini 2001; Behling & Costa 2001; Senna & Absy 2002). Esses trabalhos buscam reconstituir os ambientes deposicionais pretéritos, através da análise das *facies* sedimentares e da sucessão palinológica.

As sucessões estratigráficas e os dados palinológicos, interpretados na costa paraense, indicam uma evolução controlada pelas flutuações do nível do mar, distinguindo-se três importantes episódios durante o Holoceno. A transgressão marinha, do Holoceno Inferior (7.000-6.000 anos A.P.), que resultou no desenvolvimento de bosques de mangues, com predomínio do gênero *Rhizophora*. A regressão marinha, que marcou o Holoceno Médio (6.000-3.000 anos A.P.), reduziu a área de dominância dos manguezais, permitindo a expansão de pântanos de água doce ou igapós, dominando gêneros como *Symphonia*, *Ilex* e *Mauritia*. E, no Holoceno Tardio (2.350 anos A.P.), uma outra fase transgressiva propiciou a substituição dos antigos ambientes de água doce por manguezais, com gêneros botânicos mais diversificados e predomínio de *Avicennia* e *Rhizophora* (Behling & Costa 2001; Senna & Absy 2002).

A planície costeira de Soure pertence à costa norte-brasileira, dominada por um regime de meso a macromarés, sob a dinâmica da Baía de Marajó. Suas feições morfológicas caracterizadas por planícies de maré, manguezais e estuários, bordejados por extensos cordões de praias-barreiras, guardam semelhanças com os demais setores da costa paraense. A presença de depósitos sedimentares correspondentes e associações de *facies* similares indicam que a história sedimentar de Soure tem relação com os processos que atuaram ao longo de toda a costa do Pará, durante o Holoceno.

O objetivo deste capítulo é: (1) caracterizar a planície costeira de Soure sob o aspecto estratigráfico, analisando as associações de *facies*, a sucessão dos ambientes deposicionais e suas

relações laterais; (2) propor um modelo de sedimentação holocênica; e (3) correlacionar com o modelo de sedimentação proposto para a planície costeira do nordeste do Estado do Pará.

## 5.2 ASSOCIAÇÃO DE *FACIES* ESTRATIGRÁFICAS E AMBIENTES DEPOSICIONAIS DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SOURE

A zona costeira de Soure é constituída por áreas de acumulação lamosa e arenosa, de baixos gradientes, sujeitas a inundações periódicas, relacionadas a processos gerados por marés e ondas. A variação dos processos e do suprimento sedimentar propiciaram o desenvolvimento de vários ambientes deposicionais. Os ambientes de sedimentação lamosa são caracterizados por baixos níveis de energia e por processos dominados por maré, onde o agente de deposição mais importante é representado pelas correntes de maré. As *facies* sedimentares se definem por estruturas heterolíticas, com espessuras variadas, relacionadas às mudanças periódicas na velocidade das correntes, caracterizando unidades ambientais como planícies de maré e manguezais.

Os ambientes de deposição arenosa, representados principalmente pelas praias-barreiras, caracterizam-se por altos níveis de energia, onde os agentes mais atuantes são as correntes de maré e ondas. A estrutura interna das *facies* reflete estratificações paralelas a inclinadas ou sem estratificação aparente, decorrentes das condições hidrodinâmicas, do modo de acamamento ou do fluxo de grãos.

As transformações das condições físicas, como a alteração dos fluxos, dos níveis de energia e do fornecimento sedimentar, implicam em mudanças nos ambientes deposicionais, que se sucedem e se preservam no registro geológico (Reinson 1992). A análise da evolução da zona costeira está pautada na descrição das diferentes estruturas sedimentares e dos tipos de grãos das camadas depositadas. A correlação lateral e vertical das várias unidades permite a elaboração de seções estratigráficas, fundamentais para a reconstrução dos ambientes deposicionais e sua sucessão ao longo do tempo (Silva 1996).

### 5.2.1 Descrição das associações de *facies* estratigráficas

Com base na litologia, nas estruturas e texturas sedimentares, interpretadas nos testemunhos e em afloramentos de campo, foram identificadas cinco associações de *facies* estratigráficas, na planície costeira de Soure : areia e lama de planície de maré, lama de manguezal, areia de barra de canal, areia de praia e areia de duna. As figuras 18 a 24 mostram a localização e as características sedimentares dos testemunhos TBJ, Tp1, TC, Tp2, TA e TG.

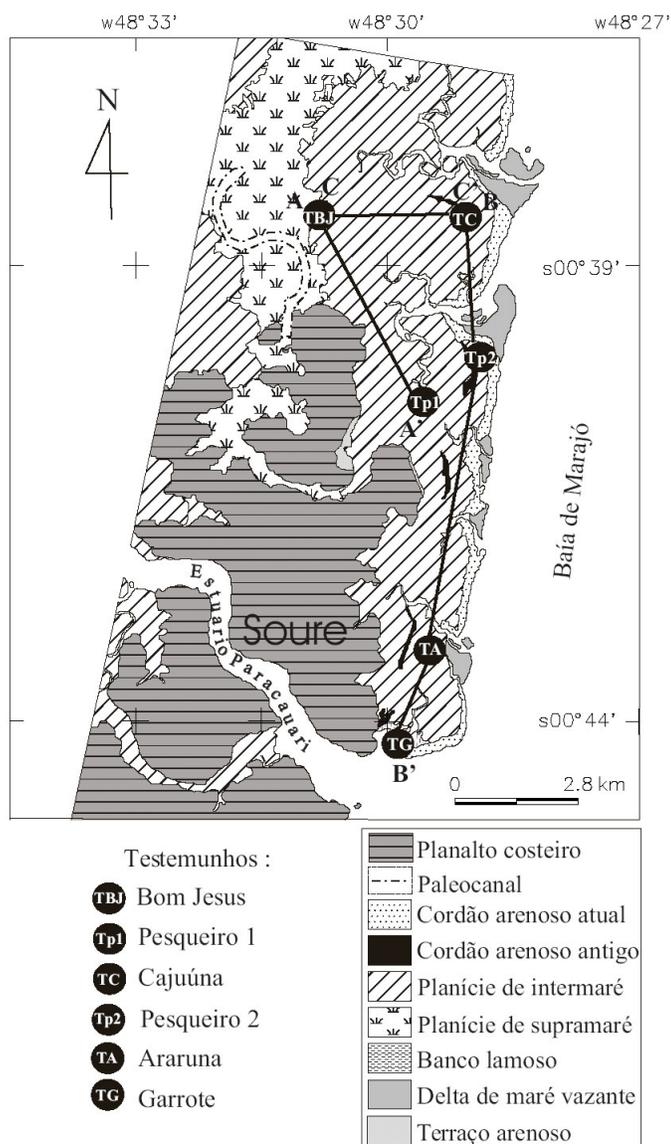


Figura 18 – Mapa morfológico e localização dos testemunhos *vibra-core*. Observar a posição das seções estratigráficas proximal (A-A'), distal (B-B') e transversal (C-C') da planície costeira de Soure.

As associações de *facies* são descritas abaixo como:

#### 5.2.1.1 Associação de *facies* de planície de maré

Esta associação constitui-se das seguintes *facies*: a) lama cinza *stripe lamination*; b) areia/lama com acamamento lenticular; c) lama negra laminada paralelamente; d) lama cinza escura a negra; e) areia/lama com estrutura *lenticular* a *wave* e marcas onduladas; f) areia/lama com acamamento *wave* a *flaser*.

Os depósitos de planície de maré encontram-se na base e na parte média dos testemunhos da porção interna da planície costeira TBJ e Tp1, alcançando profundidades de 2,70 a 4,20 m, e espessuras de 0,50 a 1,75 m. Nos testemunhos da porção externa, esses depósitos variam de profundidade, encontrando-se na parte inferior (testemunhos TG e Tp2), intermediária (testemunhos TC e Tp2) e superior (testemunho TA), com espessuras entre 0,50 e 2,50 m (Figuras 19 a 24). As *facies* de planície de maré apresentam-se, geralmente, em contato gradacional com as *facies* de manguezal, e em contato abrupto com as *facies* de cordão praial.

Os ambientes de planície de maré desenvolvem-se em costas dominadas por maré, protegidas por barreiras arenosas. Os baixos níveis de energia e os mecanismos de transporte carreiam sedimentos de granulometria fina (silte, argila e areia fina), que são depositados conforme a diminuição da competência das correntes e durante o estófo da maré. O elevado teor de lama decorre da flocculação físico-química das argilas, da formação de organo-argilas e do trapeamento de sedimentos biogênicos (Souza Filho & El-Robrini 1996).

Há um padrão de distribuição de sedimentos característico das planícies de maré. Nas porções interiores, próximo à linha de maré alta de sizígea e divisores de água, os sedimentos são lamosos em função do tempo mais prolongado de atuação das correntes de baixa velocidade. Próximo à linha de maré baixa, as ondas são mais fortes e atuam por um período mais longo, favorecendo um aumento no teor de areia dos depósitos (Reineck & Singh 1980; Dalrymple 1992). A variação no teor de areia e nas estruturas sedimentares possibilitam a identificação das planícies lamosas de supramaré, que desenvolvem estruturas do tipo *lenticular*, *stripe lamination* e lamas com acamamento paralelo, e planícies de intermaré e inframaré com estruturas heterolíticas do tipo *wave* e *flaser* (Souza Filho & El-Robrini 1996).

#### 5.2.1.2 Associação de *facies* de manguezal

Esta associação é constituída por *facies* de lama maciça cinza escura a negra e de lama orgânica cinza *stripe lamination*, com abundância de raízes e outros fragmentos orgânicos. São *facies* localizadas na porção superior dos testemunhos, com espessuras entre 0,50 a 2,15 m, nos perfis internos da planície costeira (testemunhos Tp1 e TBJ), e entre 0,20 a 0,75 m nos perfis externos (testemunhos TC, Tp2 e TA).

Os processos de sedimentação dos ambientes de manguezal são similares aos descritos anteriormente, porém o que diferencia esses depósitos é a intensa atividade biológica, que desenvolve estruturas mosqueadas e marcas de raízes, destruindo a estratificação original das camadas (Souza Filho & El-Robrini 1996).

#### 5.2.1.3 Associação de *facies* de barra de canal de maré

Esta associação é constituída predominantemente de areias finas, com acamamento heterolítico *wave a flaser*, intercaladas com *facies* de estratificação plano-paralela a inclinada de baixo ângulo, relativa à migração lateral dos sedimentos no interior dos canais de maré. São *facies* que se encontram no topo do testemunho Tp1 até a profundidade de 1,10 m.

#### 5.2.1.4 Associação de *facies* de praia

Esta associação caracteriza-se por areias finas (2,98  $\phi$ ), muito bem selecionadas (0,32), apresentando estratificação plano-paralela a inclinada de baixo ângulo, algumas vezes intercaladas com camadas delgadas de estratificação heterolítica *wave e flaser*. São *facies* arenosas com espessuras entre 0,70 a 2,25 m, nos testemunhos da porção distal da planície costeira.

Os processos de deposição, nos ambientes praias, são controlados pela ação das ondas e correntes de maré, que retrabalham o suprimento sedimentar ao longo da costa, transportando em

suspensão os materiais mais finos (silte/argila) e depositando os mais grossos, resultando num empilhamento arenoso.

As cristas arenosas são comuns em áreas de estuários e em costas abertas dominadas por maré, formando corpos alongados separados por canais de maré. A formação de praias-barreiras permite o desenvolvimento de lagunas e manguezais, entre a praia e o continente, tendo os sedimentos das porções internas cercados e interdigitados com sedimentos da planície lamosa (Darymple 1992).

#### 5.2.1.5 Associação de *facies* de duna

Esta associação de *facies* é constituída de areias finas ( $2,84 \phi$ ), muito bem selecionadas ( $0,27$ ), com estratificação inclinada de baixo ângulo, formando estratos de pequeno porte.

Os processos de deposição são controlados pela ação dos ventos, que retrabalham os sedimentos praias expostos durante a maré baixa e os transportam para a região compreendida entre o manguezal e a pós-praia. A superposição das camadas sedimentares ocorre por precipitação e deslizamento das areias na área de sotavento das dunas (Silva 1996).

Em Soure, as dunas são longitudinais à linha de costa e recobertas por vegetação arbustiva e herbácea.

### 5.2.2 Sucessão de ambientes deposicionais na planície costeira de Soure

A análise da associação de *facies* permite definir a sucessão dos ambientes deposicionais e sua distribuição nas porções internas e externas da planície costeira de Soure.

Os perfis internos são representados pelos testemunhos TBJ e Tp1 (Figura 18). Apresentam *facies* de planície lamosa de supramaré na base dos testemunhos, com espessuras de 1,60 e 1,80 m. No TBJ, realizado a 4 km de distância da linha de costa atual, a planície de supramaré grada para depósitos de manguezal com 2,15 m de espessura, marcando a parte superior do testemunho (Figura 19). No Tp1, distante cerca de 1,33 km da linha de costa atual, o limite superior da planície de supramaré é marcado por um contato abrupto (2,15 m de

profundidade) com os depósitos sobrejacentes de manguezal. Estes apresentam espessura de 0,75 m e gradam novamente para planície lamosa de supramaré. Na parte superior, a planície lamosa é substituída por *facies* granocrescentes ascendentes (Figura 20).

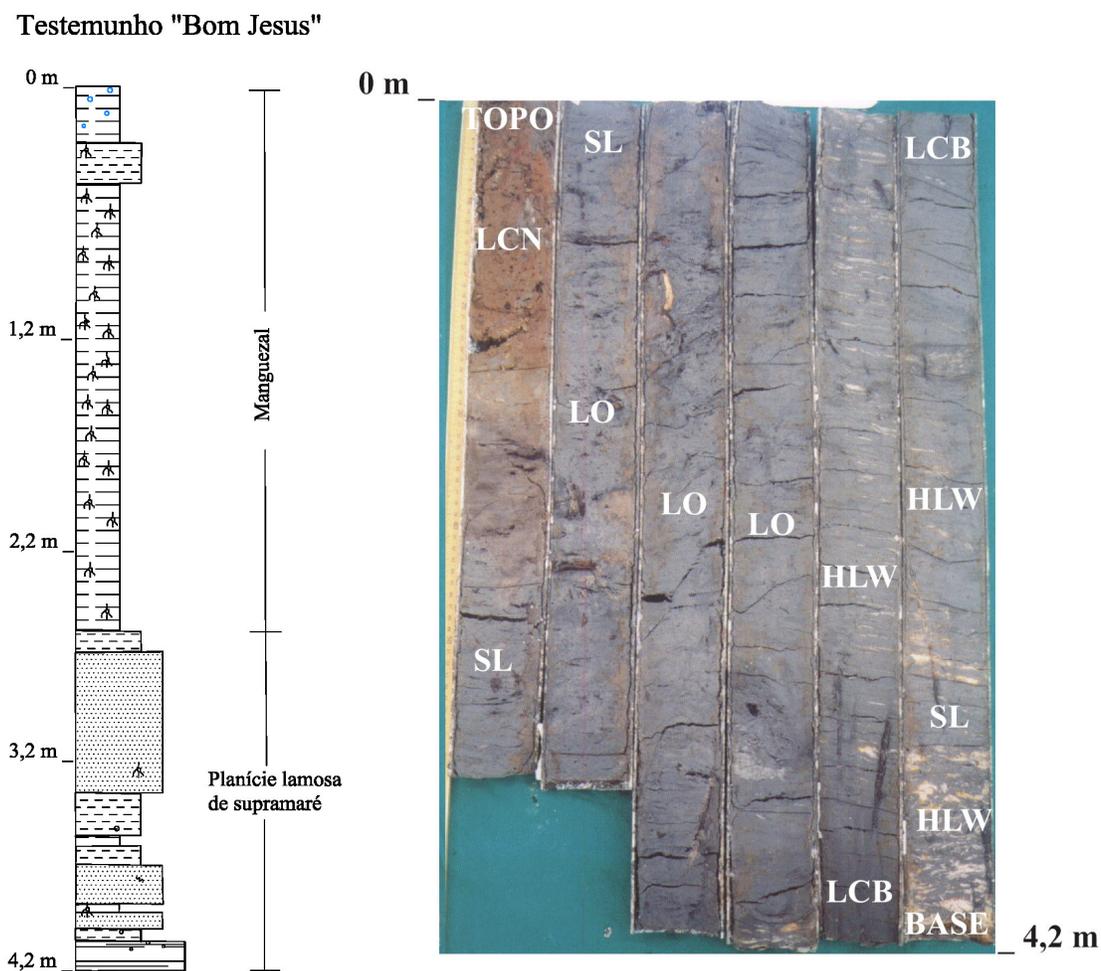


Figura 19 – Perfil estratigráfico “Bom Jesus” (TBJ) : a) na base: acamamento heterolítico *lenticular a wave* (HLW), lama cinza escura *stripe lamination* (SL) e lama cinza escura e marcas de bioturbação (LCB); b) na parte média e topo: lama cinza escura a negra, abundância de fragmentos orgânicos (LO), lama cinza escura a negra (LCN) com grânulos e seixos de laterita.

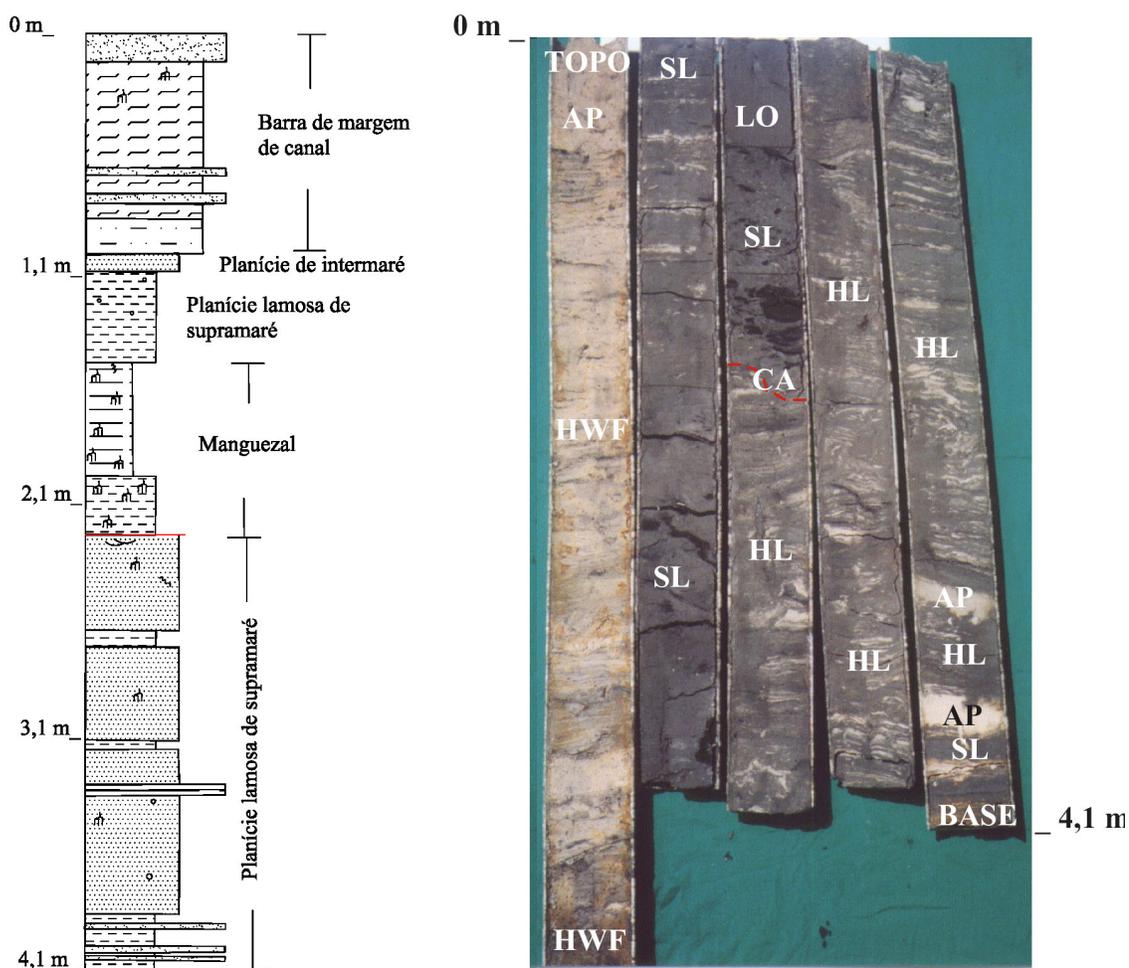


Figura 20 – Perfil estratigráfico “Pesqueiro 1” (Tp1): a) na base: lama cinza *stripe lamination* (SL) intercalada com delgadas camadas de areia fina; acamamento heterolítico *lenticular* (HL) e bioturbação; contato abrupto (CA); b) parte média: lama cinza *stripe lamination* (SL) e lama maciça cinza escura a negra com abundância de raízes e traços fósseis (LO); c) topo: estratificação heterolítica *wave e flaser* (HWF), areia fina com estratificação plano-paralela a inclinada de baixo ângulo (AP).

A sucessão de *facies*, dos testemunhos internos (TBJ e Tp1), registra uma granodecrescência ascendente, com progradação final do ambiente de manguezal sobre o ambiente de planície de maré lamosa, indicando a maior espessura dos depósitos lamosos, na porção interna da planície costeira. A localização do Tp1 na margem direita do canal do Pesqueiro revela uma fase progradacional da planície de maré e manguezal, sobreposta por *facies* granocrescentes ascendentes, relativas à formação de uma barra areno-lamosa de margem de canal.

Os perfis estratigráficos externos, da planície costeira de Soure, são representados pelos testemunhos TC, Tp2, TA e TG, coletados próximo à atual linha de costa (Figura 20). Constituem-se de *facies* mais arenosas, relativas a ambientes de inter e inframaré e cordão praial, com espessuras variadas.

O TC, realizado a 615 m de distância da linha de costa, registra dois ciclos de empilhamento granodecrescente ascendente, da base para o topo, que caracterizam a sucessão de antigos ambientes praias e planícies areno-lamosas de inframaré por ambientes de planície lamosa de supramaré, registrando no topo a progradação de manguezal. Essa sucessão representa as mudanças das condições físicas ambientais, como a alternância do nível de energia e do aporte sedimentar, ao longo do tempo, propiciando fases de deposição arenosa e fases de deposição lamosa (Figura 21).

O Tp2, localizado a poucos metros da praia do Pesqueiro, também registra pulsos progradacionais alternados entre a planície de maré e o cordão praial. A parte inferior do testemunho é marcada por depósitos heterolíticos, com espessura de 2,5 m, característicos de ambiente de supramaré/intermaré. A parte intermediária é marcada por um contato abrupto (2,60 m de profundidade), quando a planície de maré é sobreposta por um cordão arenoso praial, com 0,60m de espessura. Outra passagem abrupta (2,0 m de profundidade) marca a sucessão do cordão praial por planície de inframaré e, no topo do testemunho, por *facies* cada vez mais lamosas, relativas a ambientes de planície de intermaré, supramaré e manguezal (Figura 22).

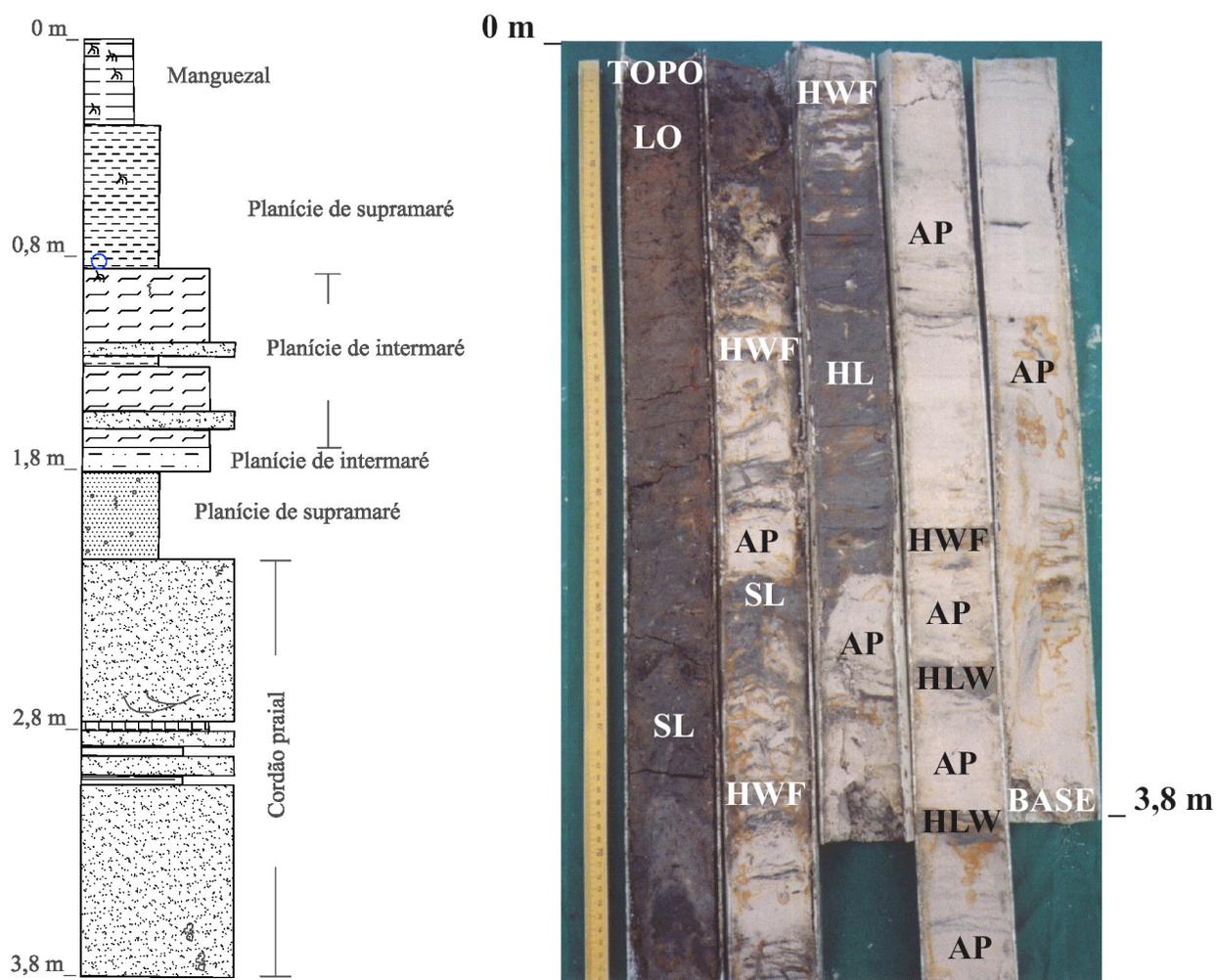


Figura 21 – Perfil estratigráfico “Cajuína” (TC): a) base: areia fina cinza-esbranquiçada com estratificação plano-paralela, inclinada de baixo ângulo e acanalada (AP), intercalada com camadas delgadas de estratificação heterolítica *lenticular* e *wave a flaser* (HL e HWF), marcas onduladas; b) porção média: acamamento heterolítico *lenticular* (HL) com estruturas de bioturbação, *wave e flaser* (HWF), intercalações de areia fina plano-paralela a inclinada de baixo ângulo (AP); c) topo: lama cinza *stripe lamination* (SL) e lama maciça cinza escura a negra com abundância de raízes (LO).

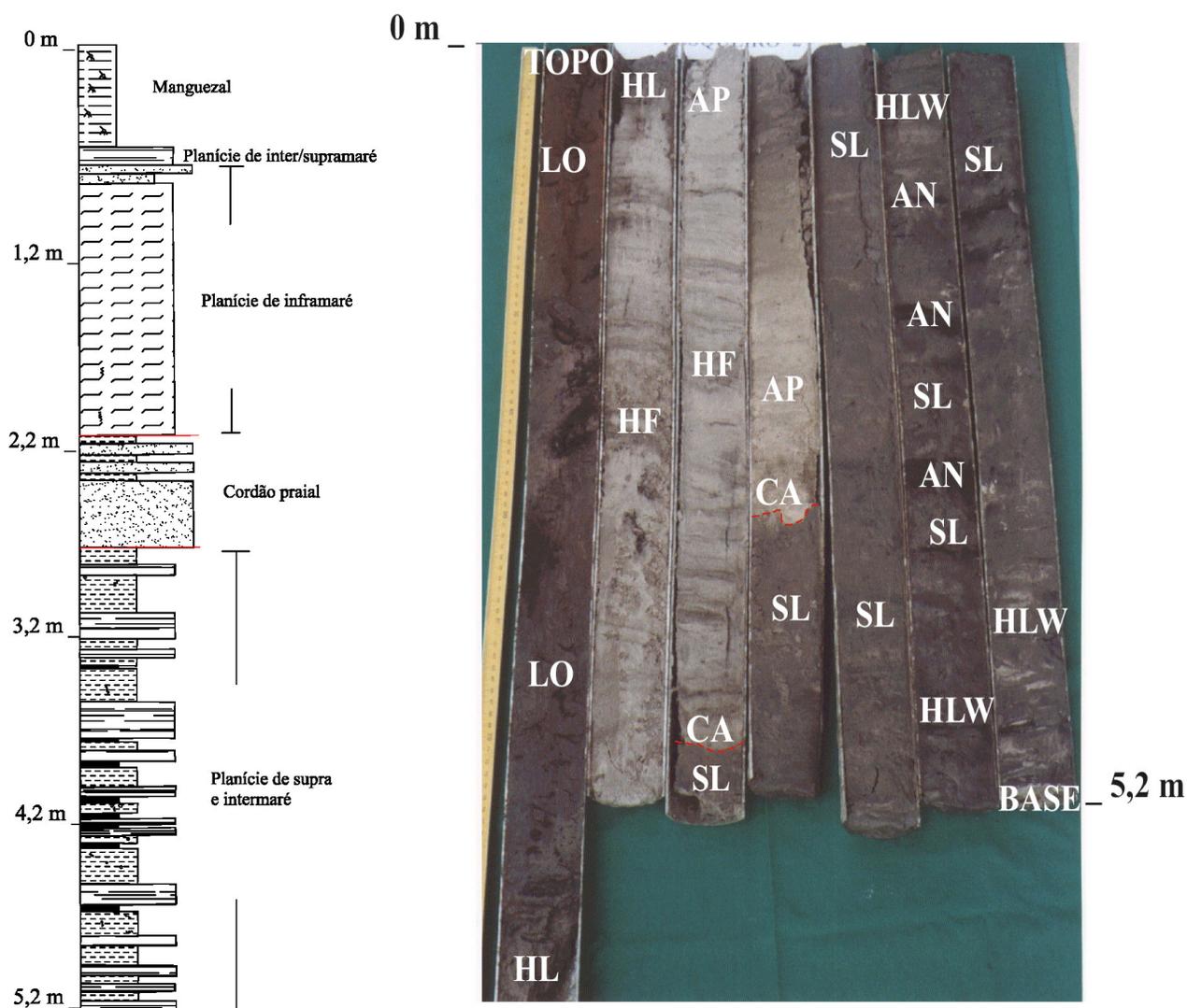


Figura 22 – Perfil estratigráfico “Pesqueiro 2” (TP2): a) base: *facies* com estratificação heterolítica *lenticular a wave* (HLW), marcas onduladas, intercaladas com lama cinza *stripe lamination* bioturbadas (SL) e com *facies* de argilito negro laminado paralelamente (NA); contato abrupto (CA); b) parte média: areia fina esbranquiçada plano-paralela a inclinada de baixo ângulo (AP), intercalações de lama cinza *stripe lamination* (SL); contato abrupto (CA); c) topo: estratificação *flaser* (HF), laminação plano-paralela e de baixo ângulo gradando para *facies* de granulometria mais fina (AP), estratificação *lenticular* (HL) e lama maciça cinza a negra com abundância de restos orgânicos (LO).

O TA foi coletado a cerca de 190 m de distância da costa atual. A parte inferior do testemunho mostra uma associação de *facies* arenosas, que formam um espesso pacote de 1,8 m, relativas a ambiente praiial. *Facies* lamosas sobrepõem-se, no topo do testemunho, constituindo um perfil granodecrescente ascendente, representando a progradação dos ambientes de planície lamosa de supramaré e manguezal sobre os depósitos de antigo cordão praiial (Figura 23).

O TG coletado na área lagunar, atrás da praia-barreira do Garrote, apresenta na base do testemunho *facies* areno-lamosas de planície de inframaré, sucedidas por *facies* arenosa associada a leque de lavagem. Registra-se um contato abrupto entre as *facies* de planície de inframaré e a *facies* de leque de lavagem (2,60 m de profundidade). Os leques de lavagem, que se estendem para dentro da laguna, constituem-se em corredores de transferência de sedimentos arenosos, provenientes da praia-barreira, formando planícies arenosas. Este é o principal mecanismo de alargamento da barreira, cujo desenvolvimento cria, na porção interna, ambientes favoráveis ao crescimento de pântanos (Reinson 1992). A *facies* de leque de lavagem é sobreposta por *facies* areno-lamosas de planície de infra, inter e supramaré, na porção intermediária do testemunho. Para o topo, os depósitos tornam-se novamente arenosos, formando um pacote de 1,78 m de espessura de areia fina cinza clara a esbranquiçada. A sucessão de *facies* retrata um perfil granocrescente ascendente, representando a alternância da planície de maré e do cordão arenoso, e a instalação definitiva da praia do Garrote no topo (Figura 24).

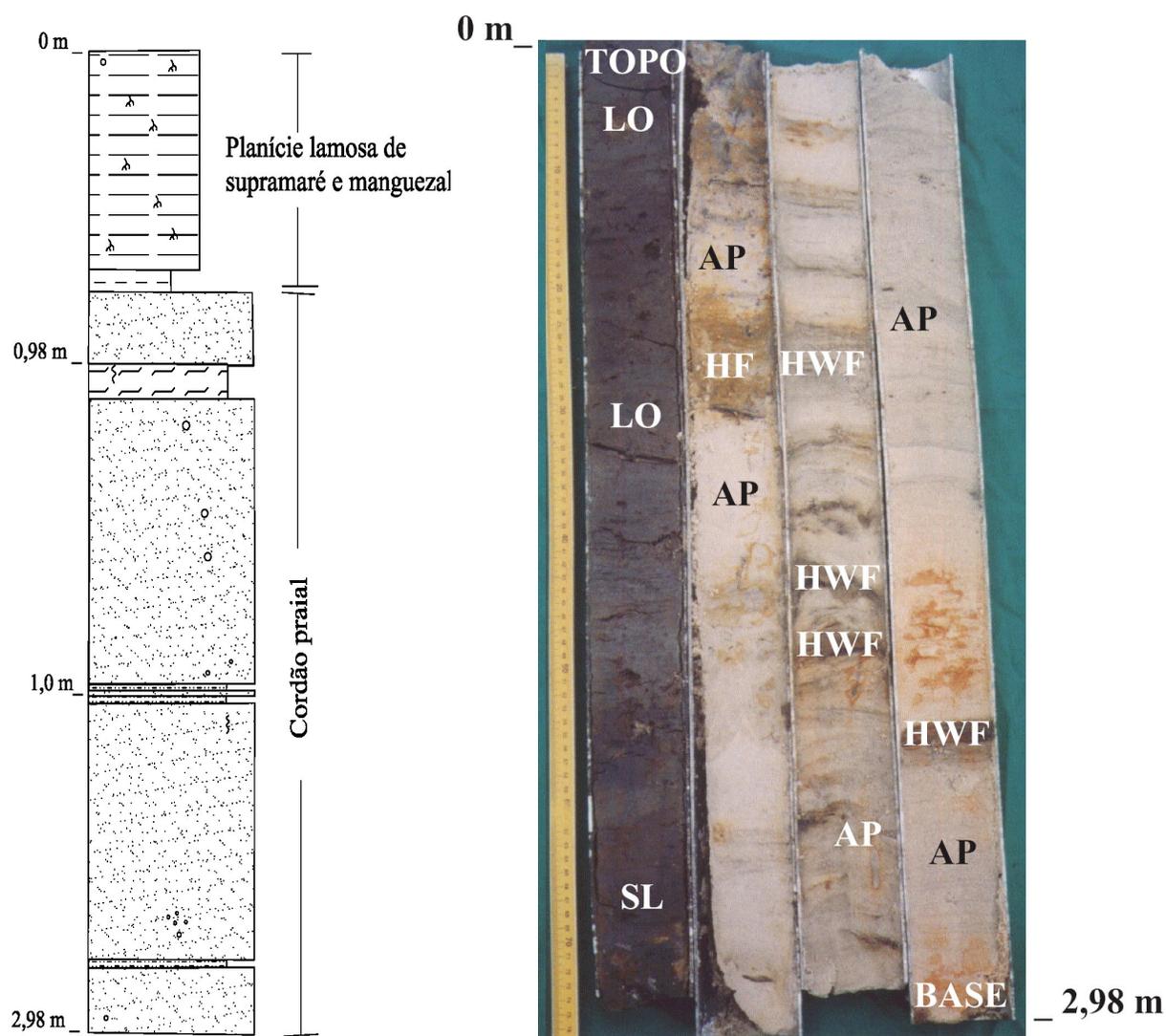


Figura 23 – Perfil estratigráfico “Araruna” (TA): a) base e parte média: areia fina, cinza clara a cinza-esbranquiçada, estratificação plano-paralela e inclinada de baixo ângulo (AP), marcas de bioturbação, intercalações heterolíticas *wave* e *flaser* (HWF); b) topo: lama cinza *stripe lamination* (SL) sobreposta por lama cinza escura, acamamento plano-paralelo a maciço e abundância de raízes (LO).

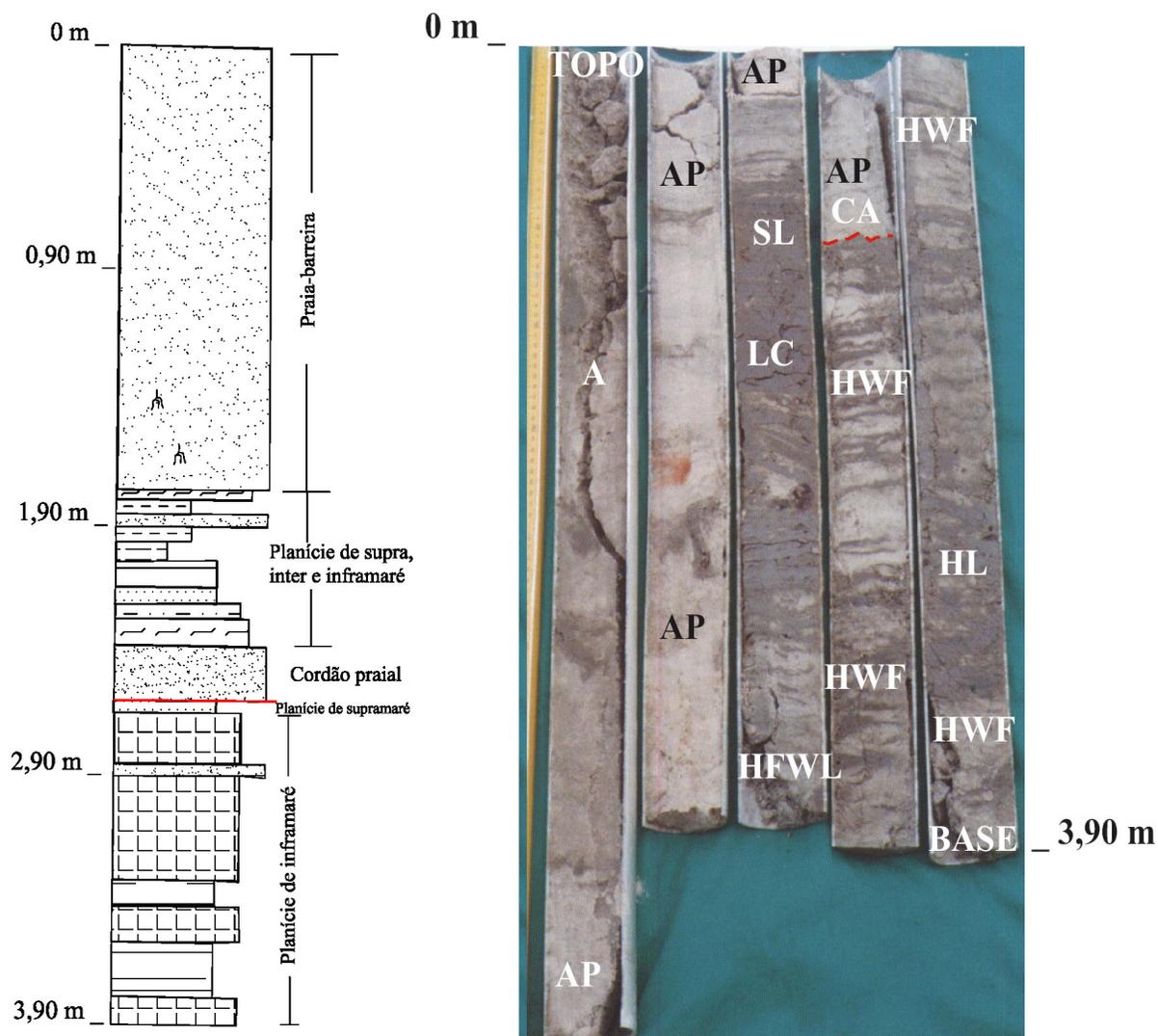


Figura 24 – Perfil estratigráfico “Garrote” (TG): a) base: estratificação heterolítica *wave a flaser* (HWF) e *lenticular* (HL); contato abrupto (CA); b) parte média: areia fina sem estratificação aparente (A) gradando para depósitos heterolíticos, *flaser*, *wave* e *lenticular* (HFWL) até lama maciça cinza escura (LC) e lama *stripe lamination* (SL); c) topo: areia fina cinza clara a esbranquiçada com estratificação plano-paralela, cruzada (AP) e sem estratificação aparente (A).

### 5.3 MODELO DE SEDIMENTAÇÃO HOLOCÊNICA DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SOURE

A interpretação e a correlação das *facies* estratigráficas, baseadas na descrição dos testemunhos a vibração, da planície costeira de Soure, permitiram a visualização geral da distribuição dos ambientes deposicionais e sua sucessão temporal. Com os dados obtidos, foi possível construir seções estratigráficas da porção proximal (interna), distal (externa) e transversal da planície costeira, retratando uma visão esquemática da morfologia de sub-superfície, bem como de suas relações laterais (Figuras 25, 26 e 27). O número de perfis e a profundidade alcançada não foram suficientes para um estudo mais completo do pacote sedimentar depositado durante o Holoceno, sendo possível caracterizar apenas as sucessões estratigráficas superficiais.

A história sedimentar holocênica, da planície costeira de Soure, é representada por duas sucessões estratigráficas: progradacional e retrogradacional.

A Sucessão Progradacional é caracterizada por : (1) *facies* com acamamento heterolítico *lenticular*, *wave* e *flaser*, marcas onduladas, lamas *stripe lamination* e lamas negras laminadas paralelamente, atribuídas a depósitos influenciados por maré (ambientes de planície de supramaré, intermaré e inframaré e barra de canal de maré); e (2) *facies* de lama cinza escura a negra, com abundância de restos orgânicos, relativas a ambientes de manguezal, situadas em geral no topo dos testemunhos (Figuras 25, 26, 27 e 28).

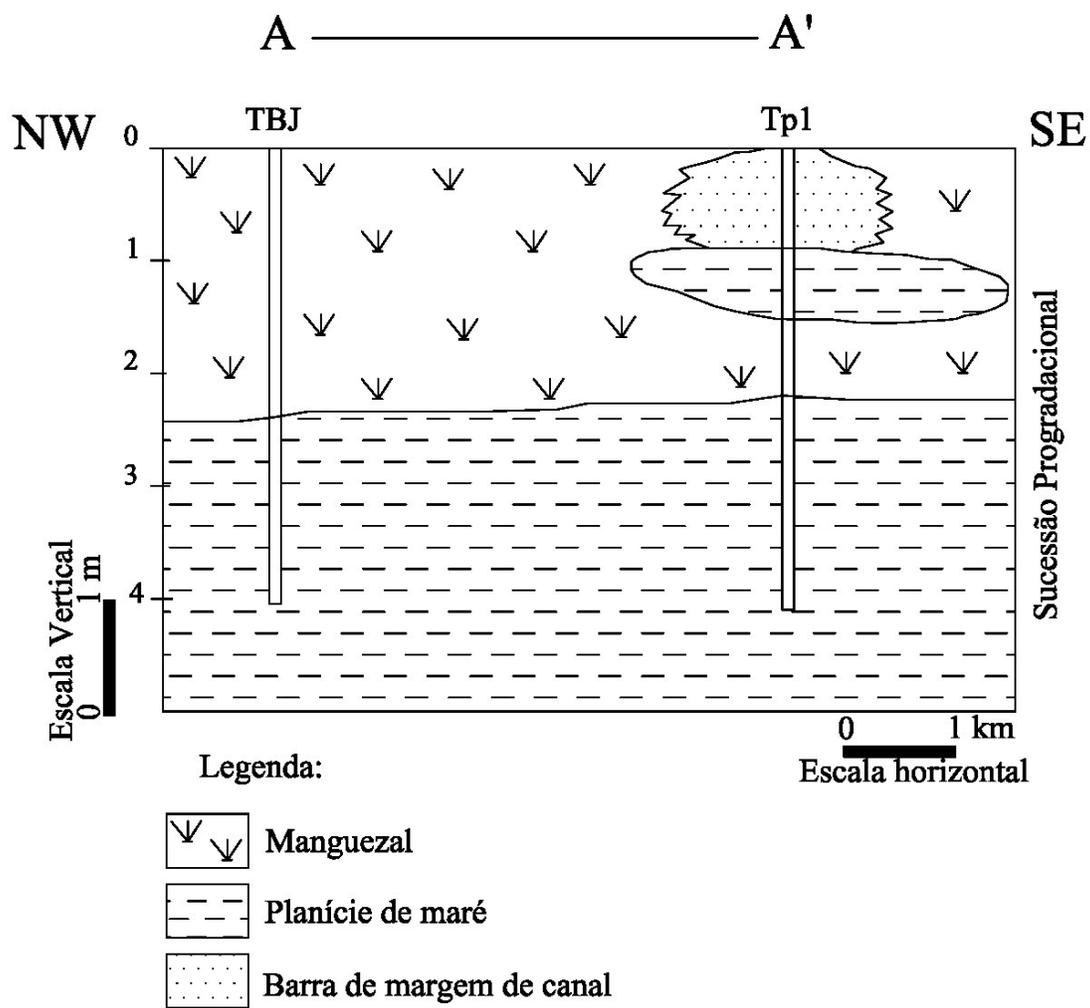
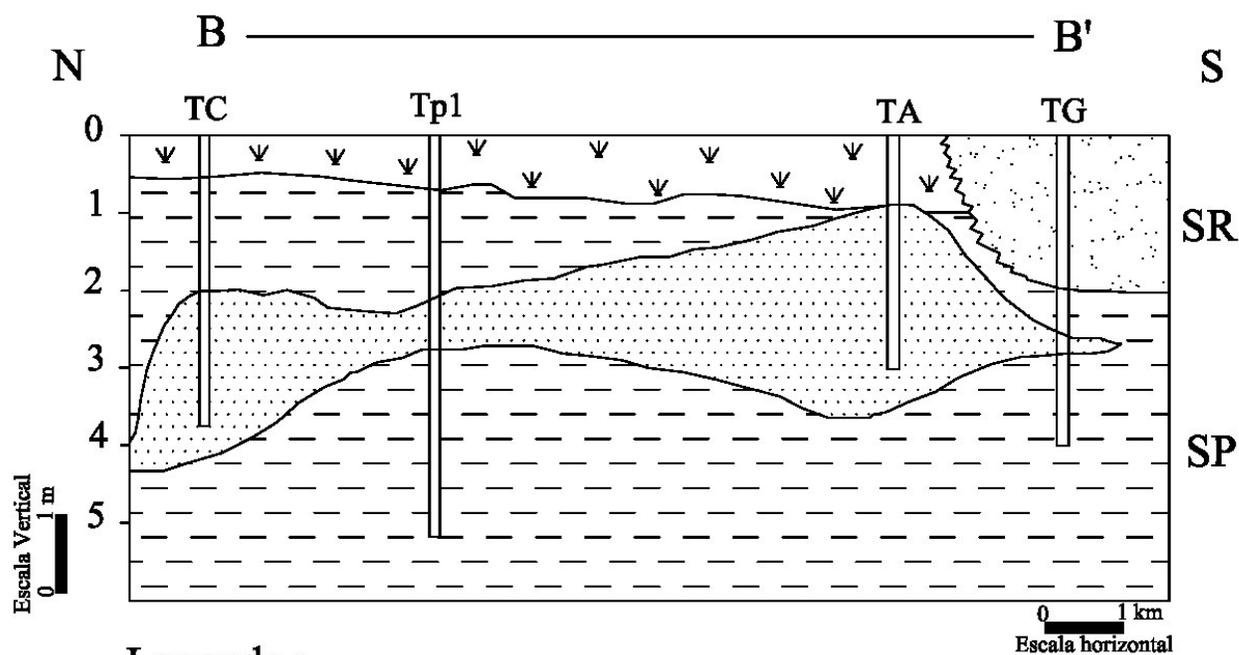


Figura 25 – Seção estratigráfica da porção proximal (A-A') da planície costeira de Soure.



### Legenda :

- |  |  |
|--|--|
| 1 - Sucessão Retrogradacional (SR) :   | 2 - Sucessão Progradacional (SR) :   |
|  Planície de maré               |  Praia-barreira e duna |
|  Antigo cordão praial (chenier) |  |
|  Manguezal                      |  |

Figura 26 – Seção estratigráfica da porção distal (B-B') da planície costeira de Soure, paralela à linha de costa.

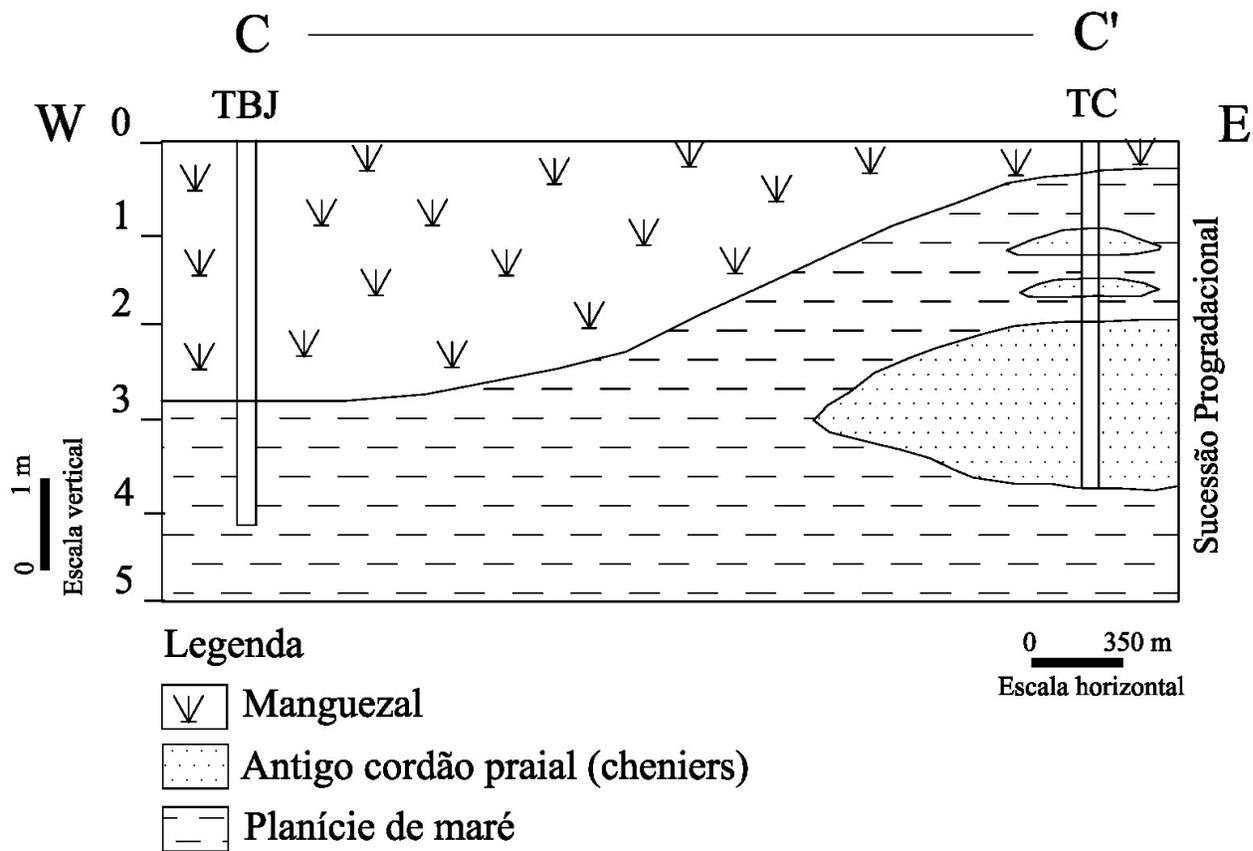


Figura 27 – Seção estratigráfica transversal (C-C') da planície costeira de Soure, perpendicular à linha de costa.

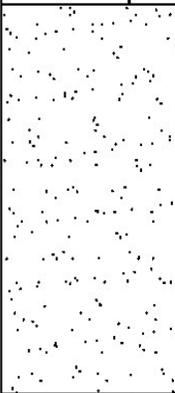
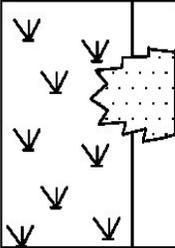
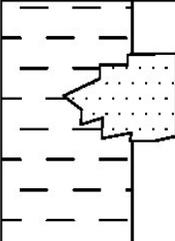
| S/A<br>—<br>AF  | AMBIENTES   | CARACTERÍSTICAS   | SUCESSÃO              |
|---|---|---|-----------------------|
|    | Cordões arenosos de praias-barreiras e dunas atuais | Areia fina, estratificação plano-paralela a inclinada de baixo ângulo   | Retrogradacional (SR) |
|   | Manguezal   | Lama cinza escura a negra, acamamento plano-paralelo a maciço, abundância de raízes e outros fragmentos de matéria orgânica.  | Progradacional (SP)   |
|  | Planície de supra, inter e inframaré                | Acamamento heterolítico flaser, wave e lenticular, laminação plano-paralela a inclinada de baixo ângulo, marcas onduladas, lama cinza stripe lamination, argilito negro laminado paralelamente. |                       |

Figura 28 – Coluna estratigráfica da planície costeira de Soure.

A Sucessão Progradacional desenvolveu-se sob condições de mar alto ou regressivo, no Holoceno Médio e Superior, tendo como resultado a progradação sub-aérea e o avanço da linha de costa em direção à Baía de Marajó. A sedimentação, nesse período, foi principalmente lamosa controlada por processos de maré, o que justifica o predomínio das estruturas heterolíticas *lenticular*, *wave* e *flaser*, o desenvolvimento de depósitos de manguezal, e as sucessões de *facies* granodecrescentes ascendentes.

A fase acrecional foi interrompida, algumas vezes, por curtas fases erosionais ou retrogradacionais, com mudanças nas condições energéticas dos ambientes e no suprimento

sedimentar, que acarretaram novo retrabalhamento dos sedimentos costeiros e sedimentação arenosa, propiciando a formação de cordões de praia, bordejando as planícies de maré. Posteriormente, a retomada da progradação lamosa, devido ao retorno das condições ambientais anteriores, produziu o isolamento desses cordões arenosos (*cheniers*). Isso explica a presença de *facies* lamosas ou com acamamento heterolítico sobrepostas a *facies* de areia fina com estrutura plano-paralela a inclinada, nos testemunhos TC, Tp2 e TA, indicando a ocorrência de cordões praias que marcam antigas linhas de costa, posicionadas paralelamente ou sub-paralelamente e a distâncias variadas em relação à costa atual (Figuras 21, 22 e 23).

As *facies* da porção interna da planície costeira são constituídas por sedimentos mais finos (silte/argila e areia fina), relativas a regiões de mais baixos níveis de energia. Na porção externa, os depósitos refletem o aumento das condições energéticas relacionadas à maior velocidade das correntes de maré e ao maior tempo de atuação das ondas, caracterizados pela presença de *facies* mais arenosas.

A Sucessão Progradacional da planície costeira de Soure é condizente com a Sucessão Regressiva ou de Mar Estável (S2), do modelo deposicional proposto para as planícies costeiras de Bragança, Salinópolis, Marapanim e São João de Pirabas, baseado em estudos morfoestratigráficos (Souza Filho 1995; Silva 1996; Souza Filho & El-Robrini 1998; Silva 1998; Silva Júnior & El-Robrini 2001), ou condizente com o episódio transgressivo marinho, do Holoceno Superior, descrito por Behling & Costa (2001) e Senna & Absy (2002), através de estudos palinológicos, que registraram uma expansão dos manguezais com diversidade de espécies, no litoral de Marapanim e Magalhães Barata.

A Sucessão Retrogradacional sobrepõe-se à Sucessão Progradacional na porção distal da planície costeira. É constituída por *facies* arenosas, de cor cinza clara a esbranquiçada, com estratificação plano-paralela a inclinada, ou sem estratificação aparente, representativas de antigos cordões praias (*cheniers*) e de praias-barreiras e dunas atuais (Figuras 26 e 28).

Na parte sul da planície de Soure, representada pelo testemunho TG, as condições ambientais de maior energia e o maior suprimento arenoso retratam pulsos de sobreposição da planície de maré pelo ambiente praias e de duna, intercalando depósitos de planície de infra, inter e supramaré e leques de lavagem (Figura 24). A transposição da praia-barreira está relacionada a um outro processo, já registrado em vários setores da costa paraense, e que se caracteriza pela migração dos lençóis arenosos praias sobre os ambientes lamosos de maré e assoreamento de

desembocaduras (retrogradação costeira). Esse fenômeno é vinculado a uma provável subida do nível do mar, gerando depósitos transgressivos (Souza Filho 1995). A Sucessão Retrogradacional corresponde à Sucessão Transgressiva Atual (S3), do modelo de sedimentação das planícies costeiras do nordeste do Pará (Souza Filho 1995; Silva 1996; Souza Filho & El-Robrini 1998; Silva 1998; Silva Júnior & El-Robrini 2001).

O estudo sobre o modelo sedimentar da planície costeira de Soure, requer pesquisas mais amplas, que incluam testemunhagens mais profundas, análises polínicas e datações, a fim de que se possa produzir uma melhor compreensão da evolução ambiental, durante o Holoceno, e sua correlação com os demais setores da costa paraense.

#### 5.4 CONCLUSÕES

A interpretação do processo de sedimentação da planície costeira de Soure baseou-se na descrição estratigráfica dos testemunhos a vibração e de afloramentos de campo, na análise da associação de *facies* e da sucessão de ambientes deposicionais, durante o Holoceno, o que permitiu a elaboração de um modelo de sedimentação e de seções estratigráficas das porções proximal, distal e transversal da planície costeira.

Com base na estrutura sedimentar, na cor e na granulometria, foi possível distinguir cinco associações de *facies* estratigráficas: areia e lama de planície de maré, lama de manguezal, areia de barra de canal de maré, areia de praia e areia de duna. As associações de *facies* definem vários ambientes sedimentares, produtos de diferentes processos deposicionais: planície de maré (supramaré, intermaré e inframaré), manguezal, barra de margem de canal, praia-barreira e duna.

A estratigrafia holocênica, da planície costeira de Soure, é representada pelas sucessões Progradacional e Retrogradacional. A Sucessão Progradacional foi depositada sob condições de mar alto ou regressivo, que acarretou o avanço da linha de costa em direção à baía de Marajó. É constituída por *facies* heterolíticas *lenticular*, *wave* e *flaser*, por *facies* lamosas cinza escura a negra, com estratificação paralela e *stripe lamination*, abundância de fragmentos orgânicos. Refletem processos controlados pela variação de velocidade das correntes de maré, resultando em depósitos de planície de maré e manguezal.

A Sucessão Retrogradacional foi depositada sob condições transgressivas atuais, relacionadas a uma possível elevação do nível relativo do mar. É constituída por *facies* arenosas com acamamento plano a inclinado, representativas de ambientes de praias-barreiras e dunas, cujos processos deposicionais são controlados pelo tempo de atuação das ondas e dos ventos da Baía de Marajó. Esta sucessão sobrepõe-se à Sucessão Progradacional, refletindo a migração dos cordões arenosos de praias e dunas sobre os depósitos de manguezal.

O modelo de sedimentação da planície costeira de Soure é condizente com o modelo proposto para as planícies costeiras do nordeste do Estado do Pará. É correlacionável à Sucessão Regressiva ou de Mar Estável (S2) e à Sucessão Transgressiva Atual (S3), que retratam uma fase de expansão dos manguezais, no Holoceno Médio a Superior, e uma posterior fase de retração, representada pela superposição dos ambientes praias e dunares, no Holoceno Superior.

Dada a complexidade dos fatores geológicos e dos processos que atuaram ao longo do tempo, as idéias expressas sobre o modelo sedimentar holocênico da planície costeira de Soure não são conclusivas. Estudos mais criteriosos deverão ser realizados a fim de fornecer dados mais completos para a discussão e a elucidação da história ambiental da margem leste da Ilha de Marajó.

## **6 MUDANÇAS MORFOLÓGICAS COSTEIRAS DE MÉDIO PERÍODO, ATRAVÉS DE IMAGENS LANDSAT, DA MARGEM LESTE DA ILHA DE MARAJÓ (PA).**

### **6.1 INTRODUÇÃO**

As mudanças morfológicas costeiras consistem de um conjunto de transformações desencadeadas por processos naturais, que atuam em várias escalas temporais e espaciais, e se apresentam como crescimento ou diminuição de áreas de manguezais, desenvolvimento de cordões e bancos arenosos, recuos de falésias, migração de desembocaduras de canais de maré, etc. Essas mudanças são controladas pela ação interativa dos processos de maré, ondas e ventos, que causam erosão, transporte e sedimentação, de acordo com a configuração e orientação da costa, com os tipos de materiais que constituem os substratos costeiros, com a vegetação e com a presença de desembocaduras, refletindo uma resposta integrada do comportamento da costa aos processos e agentes dinâmicos (Santos 2000; Souza Filho 2000a, 2000b).

Dependendo da escala de observação, podem-se classificar mudanças de longo, de médio e de curto período. As primeiras e segundas são entendidas como mudanças progressivas, que correspondem a tendências acumulativas, envolvendo períodos de dezenas a milhares de anos, significando fases retrogradacionais ou progradacionais, ligadas à mobilidade sedimentar ao longo da costa, às flutuações relativas do nível do mar e a movimentos crustais de soerguimento ou subsidência costeira (Forbes & Liverman 1996).

As mudanças de curto período referem-se a flutuações cíclicas, que ocorrem dentro de uma escala de tempo de dias a um ano, conforme a sazonalidade. Nesse caso, as mudanças podem estar relacionadas aos padrões cíclicos de frequência e intensidade de tempestades, de alternância entre períodos úmidos e secos, de direção e intensidade dos ventos, de regime de ondas, de ocorrência de marés de sizígea, de transporte sedimentar e de balanço local de sedimentos (Nordstrom 1980).

Os indicadores geomorfológicos ou geoindicadores são a base da análise das mudanças costeiras, fornecendo elementos para a mensuração e avaliação de processos e formas, que ocorrem em escalas de tempo de até 100 anos (Berger 1996). O mais importante geoindicador, adotado neste trabalho, foi a posição da linha de costa, tida como a linha de maré alta de sizígea,

por ser considerado o mais preciso e o mais facilmente reconhecido em trabalhos de campo e em produtos de sensores remotos, utilizado principalmente para os estudos das zonas costeiras úmidas, dominadas por macro-marés, como a costa do Estado do Pará (Souza Filho 2000a, 2000b). Assim, a linha de maré alta de sizígea estabelece os limites da vegetação permanente de manguezais ou a interface destes com unidades morfológicas, tais como os cordões arenosos de praias e dunas, canais de maré, estuários, etc. O movimento da linha de costa fornece um registro da direção das mudanças e dos setores costeiros em erosão e acreção (Forbes & Liverman 1996).

Diversos trabalhos utilizando técnicas de sensoriamento remoto, para analisar variações da linha de costa de médio período, têm sido realizados para registrar, mapear, comparar e monitorar as diferentes posições dos limites das formas erosionais e acrecionais, ao longo do tempo. As mudanças dos limites e das formas podem ser compiladas, digitalizadas e manipuladas em Sistema de Informação Geográfica (SIG), sendo expressas em áreas, distâncias lineares, taxas e porcentagens (Gowda *et al.* 1995; Morton 1996; Souza Filho 2000b; Faure 2001).

O objetivo deste trabalho é, portanto, a análise multitemporal das mudanças costeiras, dos municípios de Soure e Salvaterra, na margem leste da Ilha de Marajó, durante os períodos de 1986-1995, 1995-1999 e 1999-2001, visualizadas a partir de produtos de sensores remotos ópticos, utilizando-se a variação da linha de costa como geoindicador.

## 6.2 MUDANÇAS MORFOLÓGICAS DA COSTA DE SOURE E SALVATERRA, NOS ÚLTIMOS 15 ANOS

Os resultados da análise multitemporal permitiram a caracterização, a quantificação e o mapeamento das mudanças costeiras de médio período, de Soure e Salvaterra, relacionada aos avanços e recuos da linha de costa, à migração das principais desembocaduras e ao crescimento de praias-barreiras, entre 1986/1995, 1995/1999 e 1999/2001. As mudanças morfológicas foram classificadas em progradacionais e retrogradacionais.

Em função da divisão da zona costeira em unidades morfológicas, a análise das variações da linha de costa foi agrupada em três itens: a) interface manguezal - cordão arenoso duna/praias (em Soure e Salvaterra); b) interface falésia – cordão arenoso praias (somente em Salvaterra); e c) interface campo – cordão arenoso duna/praias (somente em Salvaterra).

## 6.2.1 Variações da linha de costa

### 6.2.1.1 Interface manguezal – cordão arenoso duna/praias

#### a) Em Soure

Em Soure, registraram-se durante o período de 1986/1995 (9 anos) um total de 168.120 m<sup>2</sup> de áreas progradacionais (Tabela 2), com avanço linear máximo da linha de costa calculado em 148 m, à taxa máxima de 16 m/ano. A taxa média anual de progradação costeira foi de 18.680 m<sup>2</sup>/ano.

As áreas retrogradacionais totalizaram 727.804 m<sup>2</sup>, com taxa de recuo da linha de costa de 80.867 m<sup>2</sup>/ano, e distância linear máxima de 192 m, que equivale à taxa de 21 m/ano (Figura 29).

Entre 1995/1999 (4 anos), a costa de Soure apresentou 266.275 m<sup>2</sup> de áreas de progradação de manguezais, quando a linha de costa alcançou a distância máxima de 182 m. A taxa de progradação foi de 66.568 m<sup>2</sup>/ano e a taxa de avanço linear da linha de costa foi estimada em 45 m/ano. O total de áreas retrogradacionais chegou a 351.877 m<sup>2</sup>, entre 1995/1999, com taxa anual de 87.969 m<sup>2</sup>/ano e recuo linear da linha de costa de 39 m/ano (Figura 29).

O período de 1999/2001 (2 anos) apresentou 78.355 m<sup>2</sup> de áreas de progradação de manguezais, com taxa anual de 39.177 m<sup>2</sup>/ano, e as áreas de retrogradação de manguezais totalizaram 703.443 m<sup>2</sup>, e taxa anual de 351.721 m<sup>2</sup>/ano. As taxas de avanço e recuo linear da linha de costa foram de 93 e 185 m/ano, respectivamente (Figura 29).

Ao longo da costa de Soure, a distribuição das áreas progradacionais e retrogradacionais não foi uniforme, apresentando variações conforme a sub-região. As sub-regiões de Cajuúna (entre o canal do Cajuúna e o canal do pesqueiro) e de Barra Velha/Garrote (entre o canal do Araruna e a praia do Garrote), mostraram as maiores áreas de retrogradação de manguezais (668.672 m<sup>2</sup> e 436.893 m<sup>2</sup>, respectivamente), representando 37 e 24 % do total de manguezais erodidos, no período de 1986 a 2001 (15 anos). Esses recuos máximos da linha de costa estão relacionados à posição dessas sub-regiões, uma próxima à desembocadura do canal do Cajuúna e outra próxima à ponta de Soure, que são locais da costa considerados de grande dinamicidade, devido à atuação de fortes correntes de maré e transporte de sedimentos.

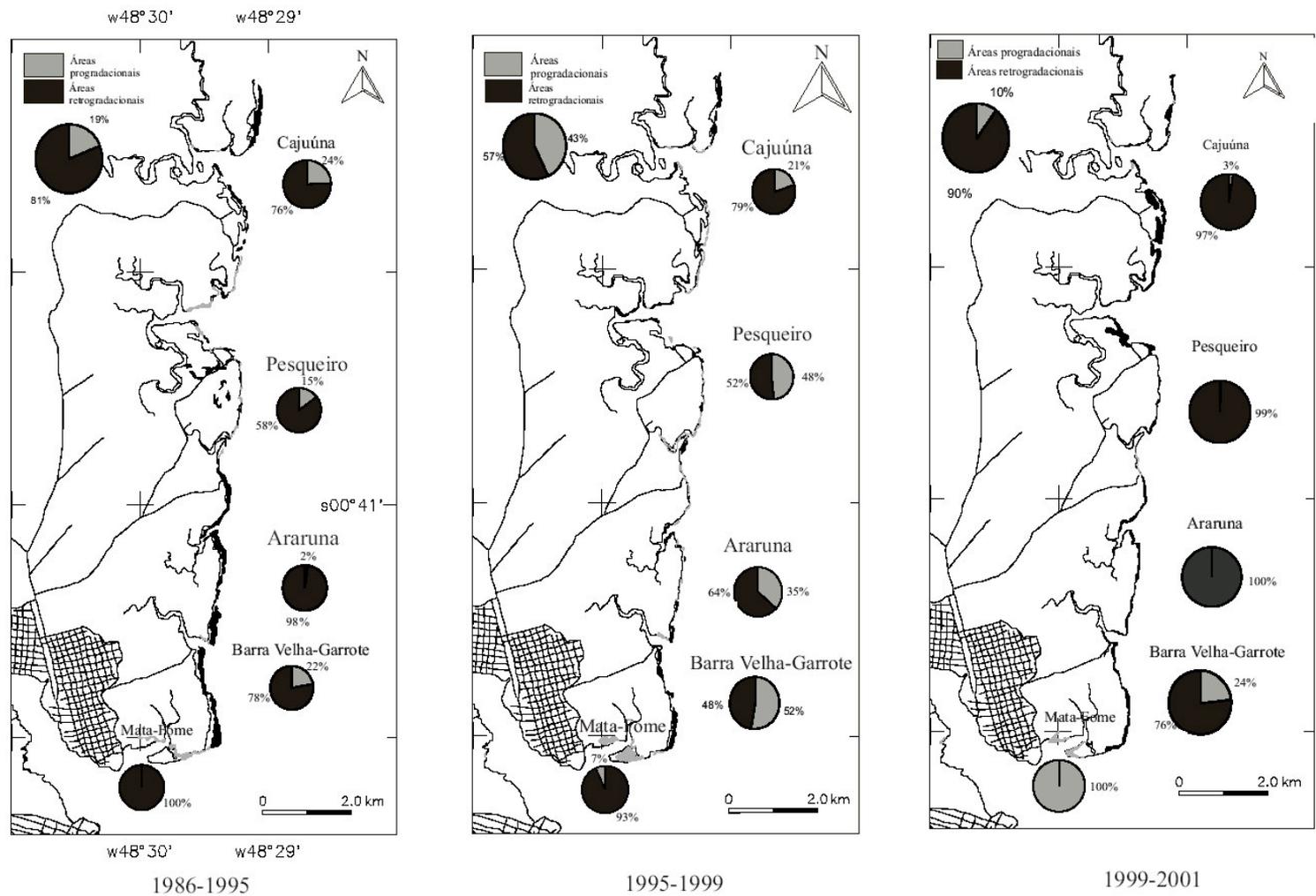


Figura 29 – Áreas progradacionais e retrogradacionais na interface manguezal/cordão duna-praia, da costa de Soure, entre 1986/1995, 1995/1999 e 1999/2001.

## b) Em Salvaterra

Em Salvaterra, registraram-se, durante o período de 1986/1995, 18.326 m<sup>2</sup> de áreas de progradação de manguezais contra 124.243 m<sup>2</sup> de áreas de retrogradação. Os manguezais progradaram à taxa de 2.036 m<sup>2</sup>/ano e deslocaram a linha de costa em 62 m, à taxa de 6 m/ano. A taxa de retrogradação foi de 13.804 m<sup>2</sup>/ano, com recuo máximo da linha de costa na ordem de 77 m à taxa de 8 m/ano.

Entre 1995 e 1999, as áreas progradacionais expandiram-se, chegando a 49.445 m<sup>2</sup> diante de 2.340 m<sup>2</sup> de áreas retrogradacionais. A taxa de avanço da linha de costa foi de 12.361 m<sup>2</sup>/ano, e a distância linear máxima alcançada foi de 95 m, representando 23 m/ano.

De 1999 a 2001, as áreas retrogradacionais alcançaram 42.162 m<sup>2</sup>, à taxa anual de 21.081 m<sup>2</sup>/ano, contra 8.035 m<sup>2</sup> do total de áreas progradacionais. O recuo máximo da linha de costa foi de 73 m, equivalente à 36 m/ano (Figura 30).

Os pulsos de variação da linha de costa, registrados como crescimento e diminuição de áreas progradacionais e retrogradacionais, relativos aos diferentes intervalos de tempo (9, 4 e 2 anos), revelaram um brusco aumento da retrogradação de manguezais, nos últimos dois anos. O recuo linear dos manguezais, em Soure, apresentou taxas máximas anuais, que variaram de 21 m/ano (1986/1995) para 39 m/ano (1995/1999) e 185 m/ano (1999/2001). Enquanto que, em Salvaterra, as taxas lineares pularam de 8 m/ano (1986/1995) para 36 m/ano (1999/2001). Esses valores quantificados demonstram um recrudescimento dos processos erosionais da linha de costa em toda a área de estudo, nos últimos anos.

### 6.2.1.2 Interface falésia – cordão arenoso praiar

Na costa de Salvaterra, cuja morfologia se caracteriza por um alinhamento de falésias esculpidas no planalto costeiro, registraram-se apenas recuos da linha de costa.

No período 1986/1995, totalizaram-se 34.988 m<sup>2</sup> de áreas retrogradacionais, com taxa de 3.887 m<sup>2</sup>/ano. O recuo máximo da linha de falésias chegou a 65 m ou 7 m/ano (Tabela 2). Entre 1995/1999, não se registraram mudanças na linha de costa. Porém, em 1999/2001, totalizaram-se 6.331 m<sup>2</sup> de áreas de falésias que foram erodidas, à taxa de 3.165 m<sup>2</sup>/ano (Figura 30).

### 6.2.1.3 Interface campo – cordão arenoso duna/praias

Em Salvaterra, a planície de supramaré recoberta por vegetação campestre estende-se desde os limites com os cordões de praias e dunas até os limites com o planalto costeiro, no interior de um paleovale. No período de 1986/1995, registraram-se 28.085 m<sup>2</sup> de áreas progradacionais, que diminuíram para 5.901 m<sup>2</sup>, em 1995/1999. Essa redução da progradação das áreas campestres refere-se à queda da taxa anual de 3.120 m<sup>2</sup>/ano (1986/1995) para 1.475 m<sup>2</sup>/ano (1995/1999).

As áreas retrogradacionais apresentaram comportamento inverso, isto é, representavam em 1986/1995 apenas 3.460 m<sup>2</sup>, e aumentaram bruscamente para 26.866 m<sup>2</sup>, entre 1995/1999 (Tabela 2). A taxa de retrogradação passou de 384 m<sup>2</sup>/ano para 6.716 m<sup>2</sup>/ano, respectivamente. O recuo máximo da linha de costa chegou a 167 m, no período 1995/1999, à taxa de 41 m/ano. Entre 1999/2001, não se registraram recuo na área de campos (Figura 30).

As flutuações sazonais da pluviosidade influenciaram sobremaneira no comportamento da vegetação campestre, no entanto, o adensamento da ocupação humana na zona de pós-praia e de duna, nesse trecho da costa de Salvaterra, foi o principal fator responsável pelas mudanças nos limites entre os campos inundáveis e o cordão duna/praias, nos últimos anos.

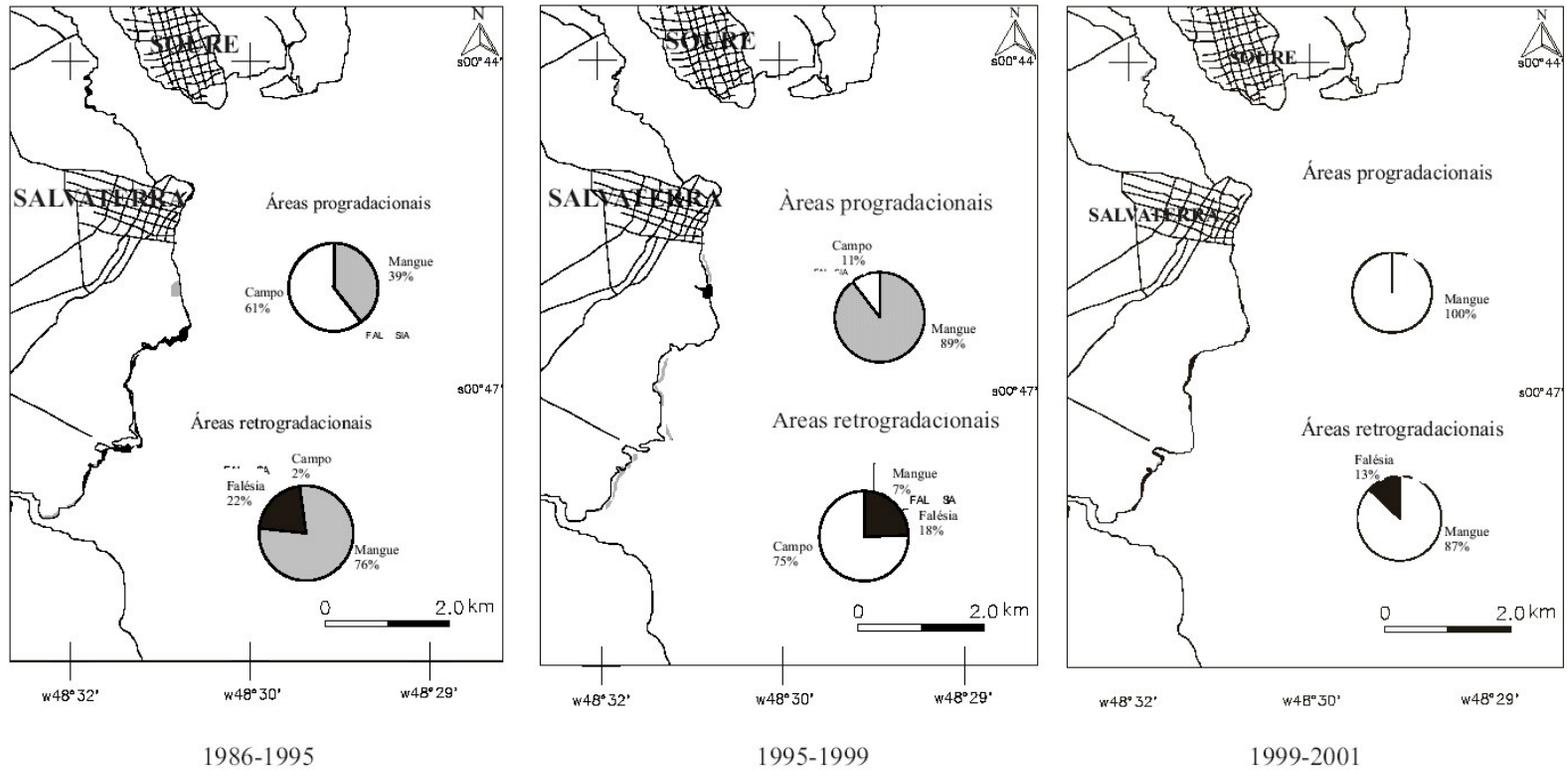


Figura 30 – Áreas progradacionais e retrogradacionais da costa de Salvaterra, entre 1986/1995, 1995/1999 e 1999/2001.

## 6.2.2 Migração de desembocaduras de canais de maré e desenvolvimento de praias-barreiras

Em Soure, as principais redes de drenagem da planície costeira, representadas pelos canais do Cajuúna, Pesqueiro, Barco, Glória, Araruna e Uruci e, em Salvaterra, pelo canal do Jubim, apresentaram migração de suas desembocaduras, que foi analisada através das imagens Landsat de 1986 e 1995, tomadas durante a maré baixa, o que permitiu melhor visualização dos contornos e do deslocamento de cada foz. Para a comparação dos movimentos das desembocaduras, foi utilizada a linha de maré baixa ou linha d'água, no momento da aquisição das imagens.

O canal do Cajuúna desaguava, em 1986, através de uma única desembocadura de direção NW-SE. Em 1995, este canal passou a desaguar através de duas desembocaduras, uma de direção SW-NE e outra no sentido W-E. Esta última foi resultado da migração da margem direita por cerca de 615 m para sul (Tabela 2), equivalente a 68 m/ano, o que rompeu o delta de maré vazante na sua extremidade sul, dividindo-o em dois segmentos. O segmento norte permaneceu isolado do continente, durante a maré baixa, com ramificações para NE. O segmento sul ficou ligado à praia do Cajuúna, na maré baixa, e se alongou para E (Figura 31).

O canal do Pesqueiro, em 1986, vertia na direção SW-NE e construía um delta que se estendia no sentido S-N. Em 1995, apresentou uma inflexão para norte, deslocando sua desembocadura cerca de 179 m, à taxa de 19 m/ano, porém manteve a posição da foz na direção SW-NE. O deslocamento relacionou-se ao crescimento longitudinal do delta para norte que, ao mesmo tempo, mudou sua forma, tornando-se mais estreito e recurvado para NW (Figura 31).

O canal do Barco lançava-se na direção N-S, em 1986, e mudou sua foz para NW-SE, em 1995, após uma migração de 896 m para norte, equivalente à taxa de 99 m ao ano. Isso diminuiu a extensão da praia do Pesqueiro, no trecho compreendido entre os canais do Pesqueiro e do Barco, de 3.188 m em 1986 para 2.292 m, em 1995, correspondendo a uma redução de 28 % (Figura 31).

A migração do canal do Barco foi acompanhada pelo deslocamento do canal da Glória em sentido oposto. Em 1986, este canal desaguava na posição NW-SE, desenvolvendo um delta que se estendia nas direções W-E e N-S, em função do seu papel de barragem hidráulica para os sedimentos que eram despejados ao norte pelo canal do Barco. Em 1995, o curso terminal do

canal da Glória sofreu uma inflexão para sul, deslocando-se 586 m (isto é, 65 m ao ano), porém manteve a direção NW-SE de sua desembocadura. A migração do canal resultou no aumento da extensão da praia do Pesqueiro, no trecho entre os canais do Barco e da Glória, de 335 m, em 1986, para 1.901 m, em 1995, correspondendo a um crescimento de 82 % ao ano. Os deslocamentos dos dois canais que seccionavam a praia do Pesqueiro, no período 1986/1995, associados à mobilização de sedimentos arenosos, nesse setor da costa, acabaram por ampliar a extensão total desta praia de 3.524 m, em 1986, para 4.193 m, em 1995, representando um crescimento em torno de 15 % no período (Figura 31).

Em 1986, o canal do Araruna vertia por uma única desembocadura, no sentido SW-NE, e desenvolvia um delta de maré vazante no sentido S-N. Em 1995, o canal bifurcou-se e rompeu o delta ao sul, abrindo uma segunda foz, passando a desaguar em dois sentidos. A primeira desembocadura manteve a direção SW-NE, após um deslocamento da margem esquerda de 112 m para noroeste, e a segunda desembocadura posicionou-se para W-E, depois de uma migração da margem esquerda de 291 m para sul. A taxa de migração da margem esquerda foi de 12 m/ano, e da margem direita chegou a 32 m/ano, no período 1986/1995. O deslocamento para sul seccionou o delta, gerando um segmento isolado, separando as duas desembocaduras. A migração do canal da Glória para S e do Araruna para NE reduziu a extensão da praia do Araruna de 2.751 m, em 1986, para 2.137 m, em 1995, representando uma diminuição de aproximadamente 22 %, à taxa de 2 % ao ano (Figura 31).

O canal do Uruci apresentava uma desembocadura bifurcada, em 1986, desaguardo nas direções NE-SW e NNW-SSE, numa enseada na costa sul de Soure, entre o continente e a praia do Garrote. O crescimento desta praia-barreira, na direção oeste, fechou a desembocadura NNW-SSE e o canal passou a verter somente pela saída NE-SW, após um deslocamento de 174 m para oeste, à taxa de 19 m ao ano. A praia do Garrote expandiu-se, no período 1986/1995, de 1.516 m para 1.775 m, à taxa de 28 m/ano, representando um aumento linear de 14 % (Figura 31).

O canal do Jubim, em 1986, lançava-se no sentido NW-SE. Em 1995, mostrou uma inflexão para norte, mudando sua desembocadura para W-E, após um deslocamento de 254 m, com taxa de migração de 28 m/ano. Ao mesmo tempo, desenvolveu um delta de maré vazante, no sentido S-N, com ramificações para SE e E (Figura 31).

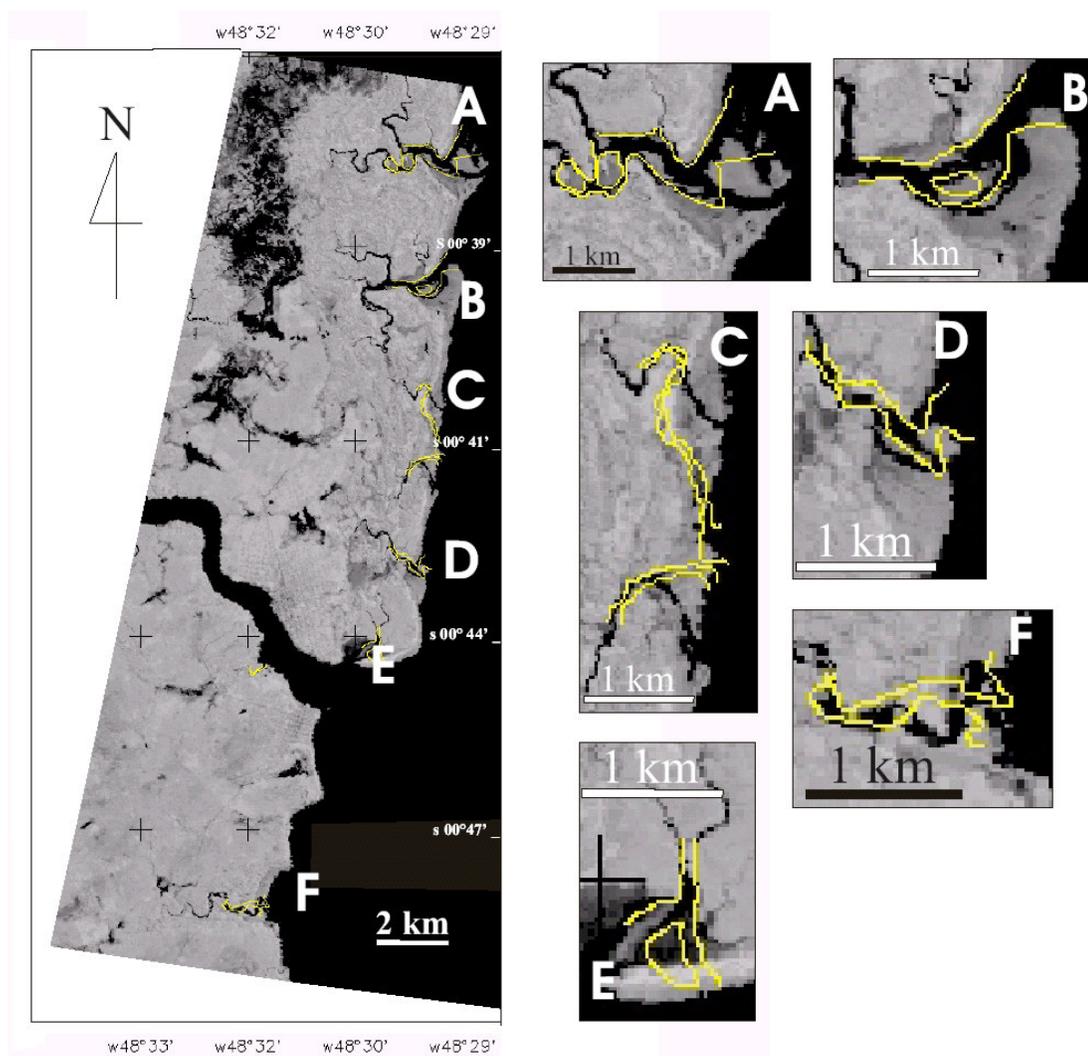


Figura 31 - Migração das desembocaduras dos principais canais de maré de Soure e Salvaterra, entre 1986 e 1995 (sobreposição do vetor 1986 à imagem 1995): A- Canal do Cajuína, B- Canal do Pesqueiro, C- Canais Barco e Glória, D- Canal do Araruna, E- Canal do Uruci e F- Canal do Jubim.

A acreção e a erosão costeira resultam de alterações no suprimento sedimentar e nos processos costeiros, refletidas pela movimentação da linha de costa. Os processos acrecionais, relacionados a um maior aporte de areia e silte/argila, nos trechos mais protegidos do litoral, acarretam migração da linha de costa na direção do mar, permitindo, nos setores de sedimentação lamosa, a progradação da vegetação de mangues (Souza Filho 2000b).

Na margem esquerda da desembocadura do estuário Paracauari, na costa sul de Soure, o crescimento de um cordão arenoso, a partir da ponta de Soure (ou ponta do Garrote) para oeste, nos anos de 1986 a 2001, deu origem à praia-barreira do Garrote. Isso causou: a) formação de um sistema lagunar entre a praia-barreira e o continente; b) preenchimento por sedimentos arenosos e lamosos; c) abandono da crista da antiga praia do Mata-Fome em meio à planície de lama; d) Migração da desembocadura do canal do Uruci por cerca de 170,70m para oeste; e e) crescimento de manguezais.

Em 1986, a flecha arenosa tinha a extensão de 1.516 m e, em 1995, alcançou 1.775 m, crescendo 17 % em 9 anos, à taxa de 2 % de progradação anual (Figura 31). Hoje, estima-se que o cordão chegue a 2.000 m de extensão, na maré baixa. É o setor costeiro de maior progradação da linha de mangue e de acreção sedimentar de Soure, chegando à distância linear máxima de 138 m, entre 1999 e 2001, à taxa de 69 m/ano. Porém, a taxa máxima de progradação de manguezais, nesse setor costeiro, ocorreu no período 1995/1999, quando alcançou a acreção linear máxima de 438 m, com taxa de 109 m ao ano, correspondendo a cerca de 60 % do crescimento dos últimos 15 anos (Figura 29).

As feições morfológicas resultantes da acreção sedimentar, nesse trecho da costa, são representadas principalmente pela praia-barreira e pelos bancos lamosos. Estes desenvolvem uma vegetação pioneira de mangues e mangues jovens, constituída principalmente pelas espécies *Spartina sp.*, *Avicennia sp.* e *Laguncularia sp.* Essas espécies contribuem, por sua vez, para o processo geomorfológico de progradação, atuando como fixadoras de sedimentos, e apresentam padrões de sucessão vegetacional, chamados de “cogumelo” e “escada” (Prost *et al.* 2001). O padrão “cogumelo” exhibe uma distribuição concêntrica de espécies vegetais, e o padrão “escada” mostra estratos de espécies pioneiras, sucedidos por bosques jovens e bosques adultos (Figura 32).



Figura 32 – Processos e feições morfológicas decorrentes da acreção costeira: A e B) crescimento de bancos lamosos com vegetação pioneira de mangues e mangues jovens; C) crescimento de praia-barreira (Fotos realizadas em outubro/2000).

Nos setores costeiros com pouco suprimento sedimentar, os processos erosionais produzem o deslocamento da linha de costa para o continente, recuando os limites dos manguezais ou das falésias. Os processos sedimentares atuantes acarretam o avanço dos cordões arenosos de praias e dunas sobre os depósitos lamosos de manguezais. Próximo às desembocaduras de estuários e canais de maré, a erosão dos manguezais é controlada pela migração dessas desembocaduras e dos bancos arenosos (Souza Filho 2000b). A erosão da linha de manguezais por correntes de maré e ondas, e o assoreamento causado pelas areias praias, acarretam a morte, o ressecamento e o tombamento de árvores do mangue, apresentando o padrão ‘paliteiro’ (Prost *et al.* 2001).

Os limites dos manguezais de Soure com os cordões de dunas e praias, no trecho desde a praia do Cajuúna até a praia do Garrote, numa extensão de aproximadamente 14 Km, e em Salvaterra, nos limites das falésias, mangues e campos com as praias, numa extensão de 5 Km, caracterizam-se por taxas crescentes de retrogradação, controladas pela dinâmica da Baía de Marajó.

As feições morfológicas resultantes da erosão costeira são: a) os terraços de lama de 0,5 a 1 m de altura, que se formam na zona de contato dos manguezais com as praias, devido à morte e queda das árvores, às alterações pedogênicas do substrato e ao solapamento pelas ondas, e b) as falésias cujo dismantelamento progressivo gera escarpas de até 6 m de altura, bancos de cascalhos e blocos rolados (Figura 33).



Figura 33 – Processos e feições morfológicas decorrentes da erosão costeira: A) recuo da linha de manguezais e migração de cordões arenosos sobre depósitos de manguezais; B) formação de terraços de lama; e C) formação de falésias do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras (Fotos realizadas em julho/1996 e outubro/2000).

A comparação das imagens Landsat, entre 1986 e 2001, revelou também uma diminuição da área total dos manguezais. Em Soure, os manguezais diminuíram de 37 km<sup>2</sup>, em 1986, para 26 km<sup>2</sup>, em 2001, representando uma redução de 10 km<sup>2</sup> ou 29 %, nos últimos 15 anos. Em Salvaterra, a área total dos manguezais reduziu-se de 3 km<sup>2</sup>, em 1986, para 3 km<sup>2</sup> em 2001, equivalentes à perda de 0,22 km<sup>2</sup> ou 6 %. As taxas mostraram reduções anuais de 0,72 km<sup>2</sup>/ano, para a costa de Soure, e de 0,01 km<sup>2</sup>/ano para a costa de Salvaterra.

A configuração costeira exerceu influência na extensão e intensidade dos processos. Os padrões naturais de erosão e sedimentação, que condicionam a morfologia e a posição da linha de costa, mostraram diferenças entre Soure e Salvaterra em função da própria diversidade fisiográfica. Apesar do predomínio dos processos retrogradacionais sobre os progradacionais, a extensão e a altimetria do planalto costeiro, em Salvaterra, proporcionou uma maior estabilidade e proteção à zona costeira, enquanto que, em Soure, a área maior e o baixo gradiente da planície costeira, que tornaram essa região mais propensa à inundação, à mobilidade sedimentar e às mudanças topográficas, responderam pela maior magnitude e intensidade das mudanças, relacionadas principalmente à erosão da linha de costa, controlada por fatores eminentemente naturais ligados à dinâmica da Baía de Marajó.

A aplicação do sensoriamento remoto, utilizando imagens de diferentes épocas, produzidas por sensores ópticos, como ferramenta para qualificar e quantificar as variações da linha de costa, tornou-se indispensável para o registro, o mapeamento e a comparação das diferentes posições das formas progradacionais e retrogradacionais, ao longo do tempo. Além de permitir que as mudanças costeiras fossem avaliadas, considerando-se os aspectos de direção, abrangência, intensidade e frequência.

Trabalhos futuros, utilizando dados de radar de abertura sintética (SAR), podem trazer novas informações sobre a dinâmica sazonal da linha de costa, devido à capacidade de imageamento sob condições de tempo adversas, uma vez que os sensores ópticos não permitem a aquisição de informações durante a estação chuvosa, que se estende de dezembro a maio.

### 6.3 CONCLUSÕES

Os processos naturais atuantes caracterizaram a costa de Soure e Salvaterra, no trecho compreendido entre o Canal do Cajuúna e o canal do Jubim, abrangendo uma extensão de 20 km, como uma costa retrogradacional, nos últimos 15 anos. As mudanças morfológicas foram classificadas e analisadas a partir da interpretação de imagens Landsat, dos anos de 1986, 1995, 1999 e 2001.

O sensoriamento remoto, associado ao Programa SPRING 3.5, permitiu o mapeamento dessas mudanças, expressas em áreas progradacionais e retrogradacionais, a identificação da direção e da distribuição espacial das mudanças, bem como a quantificação dos setores costeiros sujeitos à erosão e à acreção.

A ocorrência de zonas de progradação e retrogradação costeira relacionou-se à movimentação da linha de costa ou linha de maré alta de sizígea, representada pelo limite dos manguezais, falésias e campos com os cordões arenosos de praias e dunas. A migração de desembocaduras de canais de maré e o desenvolvimento de praias-barreiras foram também considerados como mudanças costeiras, baseadas na movimentação da linha d'água, somente nas imagens de 1986 e 1995. Porém, a linha de costa foi utilizada como o principal indicador geomorfológico na caracterização das mudanças costeiras de médio período.

A comparação entre as imagens orbitais, confirmada pelas observações de campo, permitiu identificar os três setores da costa, onde as mudanças foram mais relevantes, entre 1986 e 2001:

(1) na costa sul de Soure, o desenvolvimento da praia-flecha barreira do Garrote fechou uma antiga enseada e proporcionou a formação de um sistema lagunar, onde predominou a sedimentação lamosa e a progradação de manguezais, perfazendo um total de 0,308 km<sup>2</sup> de áreas acrecionais, com taxa de 0,02 km<sup>2</sup>/ano. A progradação lamosa acarretou a migração da foz do

canal do Uruci para oeste e abandono da antiga crista praial do Mata-Fome. Foi o setor costeiro de maior avanço da linha de costa;

(2) na costa oriental de Soure, nas zonas de contato entre os manguezais e as praias do Cajuúna, Pesqueiro, Araruna, Barra Velha e Garrote, expostas à ação das ondas e correntes de maré da Baía de Marajó, observaram-se: a) migração dos depósitos arenosos praias e/ou dunares sobre os depósitos lamosos de manguezais, gerando recuo da linha de costa; b) morte e queda da franja de mangues; c) formação de terraços lamosos; e d) deslocamento das principais desembocaduras para norte ou para sul, definindo saídas nas direções NE, E e SE . Foi uma região caracterizada pela maior retrogradação costeira, totalizando 1,78 km<sup>2</sup> de áreas erodidas, à taxa de 0,118 km<sup>2</sup>/ano;

(3) nas falésias de Salvaterra, o solapamento pelas ondas e o desmoronamento pelas chuvas acarretaram a erosão progressiva das mesmas, gerando formas escarpadas de até 6 m de altura, bancos de cascalhos, influenciando na granulometria dos sedimentos praias. Este trecho da costa foi marcado pela retrogradação do planalto costeiro, que também atingiu diretamente a parte leste da cidade de Salvaterra, com perda de ruas e propriedades. Estimou-se que o recuo da linha de falésias atingiu uma área de 0,041 km<sup>2</sup>, à taxa de 0,002 km<sup>2</sup>/ano.

A análise multitemporal revelou que, além da movimentação da linha de costa, houve mudanças na linha limítrofe interna dos manguezais, em contato com a planície de supramaré e com o planalto costeiro, no interior da zona costeira de Soure e Salvaterra. A mobilidade dos limites internos na direção da costa foi acompanhada provavelmente pela migração de depósitos de planície de supramaré com vegetação campestre sobre ambientes de mangue. Para uma compreensão mais efetiva das mudanças morfológicas internas e externas, é necessário que novas investigações sejam realizadas somando-se, aos dados já existentes, o monitoramento dos processos gerados por marés, correntes e ondas, da dinâmica sedimentar e dos possíveis impactos induzidos pelo uso e ocupação da costa.

## 7 VARIABILIDADE SAZONAL DOS PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E GRANULOMÉTRICOS DAS PRAIAS ESTUARINAS DE SOURE E SALVATERRA

### 7.1 INTRODUÇÃO

O estudo das mudanças costeiras de curto período é baseado na variabilidade sazonal da morfologia e da granulometria, ao longo dos transectos topográficos realizados nas praias do Pesqueiro, Araruna e Garrote (Soure) e na praia Grande (Salvaterra), monitorados durante o ano de 2001.

Alguns trabalhos têm sido realizados em Ajuruteua e na Ilha de Mosqueiro, costa nordeste do Estado do Pará, visando à caracterização dos ambientes praias e à interpretação dos parâmetros morfológicos e texturais (Souza Filho 2000b; Alves 2001; El-Robrini 2001; Silva 2001), com base em metodologias e modelos descritos por autores, como Folk & Ward (1957); Friedman (1962); Sahu (1964); Nordstrom (1977; 1980); McLaren (1981); Wright *et al.* (1982); Wright & Short (1984); Dubois (1989); Nordstrom (1992); Nordstrom & Jackson (1993); Masselink & Short (1993), dentre outros.

A variação da morfologia praias, do tamanho e selecionamento do grão e do volume sedimentar são adotados como elementos indicadores de mudanças entre o período chuvoso e o seco, caracterizando fases erosionais e acrecionais.

As mudanças sazonais representam uma resposta dos perfis às variações de amplitude de maré, de energia das ondas, correntes e ventos, à disponibilidade de sedimentos da área-fonte, bem como à compartimentação e ao gradiente costeiro (Nordstrom 1980, 1992; McLaren 1981; Morton 1996). Esses fatores interdependentes controlam o desenvolvimento das praias, caracterizando-as como sistemas em equilíbrio dinâmico (Pilkey 1991).

As praias estudadas situam-se no interior da Baía de Marajó, o que lhes confere o caráter de praias estuarinas, de acordo com as definições de Nordstrom (1992). São ambientes afetados por correntes de maré e por ondas de baixa a moderada energia, geradas localmente dentro de baías ou estuários. As ondas retributam os sedimentos trazidos pelas correntes de maré ou provenientes de formas costeiras em erosão. Tais praias apresentam mudanças mais lentas ou de efeito menor, se comparadas com as praias oceânicas.

Na margem leste da Ilha de Marajó, a presença de dois tipos de costas (a costa alta de Salvaterra e a costa baixa de Soure) implica na ocorrência de praias morfologicamente e texturalmente distintas, que apresentam comportamentos diferenciados diante das mudanças sazonais. Neste trabalho, os levantamentos de fevereiro e abril de 2001 representam o período chuvoso, e os de julho e novembro de 2001 são relativos ao período seco.

O objetivo deste capítulo é analisar a variação sazonal dos perfis praias de Soure e Salvaterra, com base nos seguintes parâmetros: (1) morfológicos: extensão, largura, gradiente, forma (côncava ou convexa), presença ou não de ondulações (barras e calhas), migração de ondulações, posição da linha de maré alta (retração ou expansão) e padrão de variabilidade morfológica (Nordstrom 1980; Wright *et al.* 1982; ; Nordstrom 1992; Nordstrom & Jackson 1992); (2) texturais: média e seleção (Folk & Ward 1957); e (3) variação de volume sedimentar praias (ciclo de erosão e acreção).

## 7.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E METEOROLÓGICAS DA COSTA DE SOURE E SALVATERRA

De acordo com o que foi discutido no capítulo 5, as praias de Soure pertencem a uma costa progradacional, cujo desenvolvimento está relacionado com o nível de mar alto ou regressivo, do Holoceno Superior, que originou extensas planícies de maré e manguezais. Porém, recentemente, a fase progradacional está sendo interrompida, pelo menos nos últimos 15 anos, pela erosão da linha de costa e migração das praias sobre depósitos lamosos de manguezais (mudanças de médio período), fenômeno comparável ao que ocorre na costa de Bragança, Salinópolis e São João de Pirabas (Silva 1996; Souza Filho 2000b; Silva Júnior & El-Robrini 2001).

O baixo gradiente da planície costeira de Soure e o aporte sedimentar trazido pela embocadura de grandes canais de maré e do estuário Paracauari favorecem a evolução de largas praias-barreiras, de forma retilínea a convexa, com declives suaves e areias finas bem selecionadas.

Segundo Wright & Short (1984) e Menezes & Klein (1997), nas zonas costeiras de macromaré, com baixo ângulo de declive da zona submersa e grande estoque de areia sub-

aquática, formam-se praias dissipativas ou intermediário-dissipativas. Os sistemas de barras e calhas bem desenvolvidos geram ondas do tipo deslizante, cujas arrebentações ocorrem a certa distância da face praial. A energia das ondas é dissipada ao longo de uma zona de surfe larga e plana, movimentando e depositando sedimentos mais finos na direção da praia.

As praias do Pesqueiro, Araruna e Garrote apresentam extensões entre 1,7 a 4,5 km, e se localizam na porção externa da planície costeira. São separadas por canais de maré e o suprimento arenoso é distribuído longitudinalmente pelas correntes de maré e ondas. De acordo com a subdivisão morfológica dos perfis praiais de Wright & Short (1984), as zonas de pós-praia (supramaré) são delimitadas pelas linhas de maré alta (LMA), que constituem o seu limite inferior e se estendem até o limite topográfico permanente (limite superior), representado, no caso, pela base das dunas longitudinais ou pela linha dos mangues frontais. A largura e o gradiente da pós-praia variam de acordo com a posição da LMA e as fases de acreção ou erosão. As zonas de estirâncio (intermaré) situam-se entre a LMA e a linha de maré baixa, representada neste trabalho pela linha d'água (LDA) no momento do levantamento. Os estirâncios possuem larguras entre 183 e 423 m, gradientes de 1: 52 a 1: 95, e sistemas de barras e calhas desenvolvidos. As zonas de inframaré constituem a porção inferior dos perfis praiais, situadas abaixo da linha de maré baixa, estendendo-se até a zona de arrebentação das ondas.

Em Salvaterra, a presença do planalto costeiro, constituído por sedimentos do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras, de origem terciária e quaternária, caracteriza uma fisiografia diversa da de Soure. As praias que se desenvolvem no sopé das falésias ou dos promontórios tendem a ser íngremes e são formadas por areias de granulometria média a fina. O processo erosivo atuante nas falésias e promontórios gera depósitos de seixos e areia grossa, que são retrabalhados pelas ondas e redistribuídos longitudinalmente.

O acentuado gradiente da zona submersa adjacente, o baixo suprimento arenoso e o sistema barra/calha pouco desenvolvido geram ondas do tipo mergulhante, com arrebentações próximo à face praial. As ondas percorrem uma zona de surfe estreita e íngreme, ou inexistente em alguns casos. A concentração de energia das ondas, próximo à face praial, movimenta sedimentos mais grossos, que são depositados na parte inferior da zona de espriamento, enquanto que os mais finos são carregados para a parte superior (Wright & Short 1984; Menezes & Klein 1997).

A praia Grande é semi-protegida, situada por promontórios e pontas sustentados pelo planalto costeiro. Estende-se por 1,2 km e possui forma retilínea a côncava. A proximidade das falésias, o gradiente praial e o tipo de arrebentação justificam o predomínio de areias médias, moderadamente selecionadas. A zona de pós-praia tem seu limite superior representado pela base das falésias, na porção norte da praia, ou pela base das dunas incipientes, na porção centro-sul. A posição da LMA varia de acordo com a fase erosiva ou acrecional, controlando a largura e o gradiente da pós-praia. A zona de estirâncio possui larguras de 59 a 85 m, com gradientes entre 1 : 6 e 1 : 23.

O perfil 1 da praia Grande teve seu ponto inicial sobre a falésia, e apresentou uma declividade maior e sedimentos, em geral, mais grossos do que o perfil 2. Este, que se localiza próximo à porção central da praia, cerca de 500 m ao sul do perfil 1, teve seu início sobre a duna e se apresentou mais estável, com menores variações morfológicas se comparado ao perfil 1 e aos perfis de Soure.

As características climáticas e meteorológicas, com dois períodos sazonais bem marcados, exercem controle sobre o comportamento morfológico e granulométrico dos perfis praias. Os meses de dezembro a maio correspondem ao período de maior de maior influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), quando se registram os maiores índices pluviométricos. A precipitação média chega a 2.566 mm e a velocidade média do vento é 6,2 m/s. De junho a novembro, a média pluviométrica cai para 414,3 mm e a velocidade média do vento alcança 7 m/s (Ferreira 2001; Lima 2002).

Os perfis realizados em fevereiro e abril de 2001 são representativos do período chuvoso e de maiores sizígias da região, significando fase de maior volume de água em circulação no sistema costeiro. Os perfis de julho e novembro de 2001 são representativos do período seco e de ventos mais fortes, o que favorece a ação de ondas de maior energia.

### 7.3 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DOS PERFIS PRAIAIS ENTRE O PERÍODO CHUVOSO E O SECO DE 2001

#### 7.3.1 Soure

A fase erosiva dos perfis das praias do Pesqueiro, Araruna e Garrote ocorreu durante o período chuvoso e de maiores marés de sizígia da região. Essa fase foi representada pelos perfis de fevereiro e abril/2001 (Figuras 34, 35 e 36). As linhas de maré alta (LMA) migraram para a parte superior das praias, diminuindo as zonas de pós-praia. As LMA posicionaram-se a uma distância média de 21 m em relação ao início do perfil (Figura 37). As zonas de pós-praia apresentaram uma largura média de 13 m. A erosão da zona de pós-praia atribuiu-lhe uma forma côncava e mais abrupta, com gradiente médio de 1 : 37.

Outros processos morfológicos relacionados à fase erosiva dos perfis de Soure incluíram : (1) solapamento da base das dunas pelas ondas, acarretando remoção de duna, como na praia do Araruna, ou formação de escarpas dunares, como na praia do Pesqueiro, que alcançaram até 3 m de altura, e tombamento dos arbustos frontais da cobertura vegetal de restinga; (2) formação de barras de menor volume e maior número nas zonas de estirâncio das praias do Pesqueiro e Araruna; (3) deslocamento paralelo das zonas de estirâncio; e (4) exposição de depósitos lamosos de antigos manguezais, principalmente nas zonas de estirâncio das praias Pesqueiro e Araruna.

A fase acrecional ocorreu em julho/2001, início do período seco e de ventos mais fortes da região. As linhas de maré alta migraram na direção das zonas de estirâncio, apresentando uma distância média de 82 m em relação ao início dos perfis (Figura 37), o que conferiu um deslocamento médio de 61 m. As zonas de pós-praia mostraram uma largura média de 48 m, representando um crescimento médio de 35 m em relação ao período erosivo, e um gradiente mais suavizado (1: 132).

Outros processos morfológicos relacionados à fase acrecional incluíram: (1) formação de barras de maior volume e menor número, e de calhas mais profundas, alcançando até 0,20m de profundidade, nas zonas de estirâncio; (2) migração das barras para as porções superiores dos perfis, dando-lhes uma forma convexa, principalmente nas praias do Araruna e Garrote; (3) suavização do gradiente das zonas de estirâncio; e (4) aumento da extensão dos perfis praias (Figuras 34, 35 e 36).

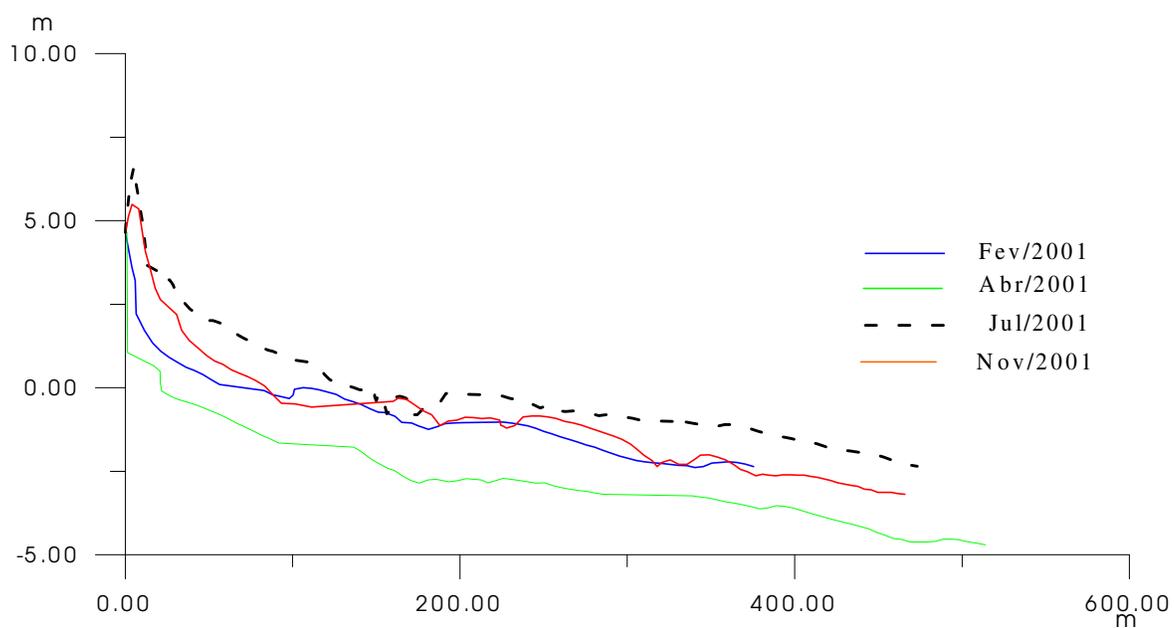


Figura 34 – Comportamento morfológico do perfil da praia do Pesqueiro, entre os períodos chuvoso e seco de 2001.

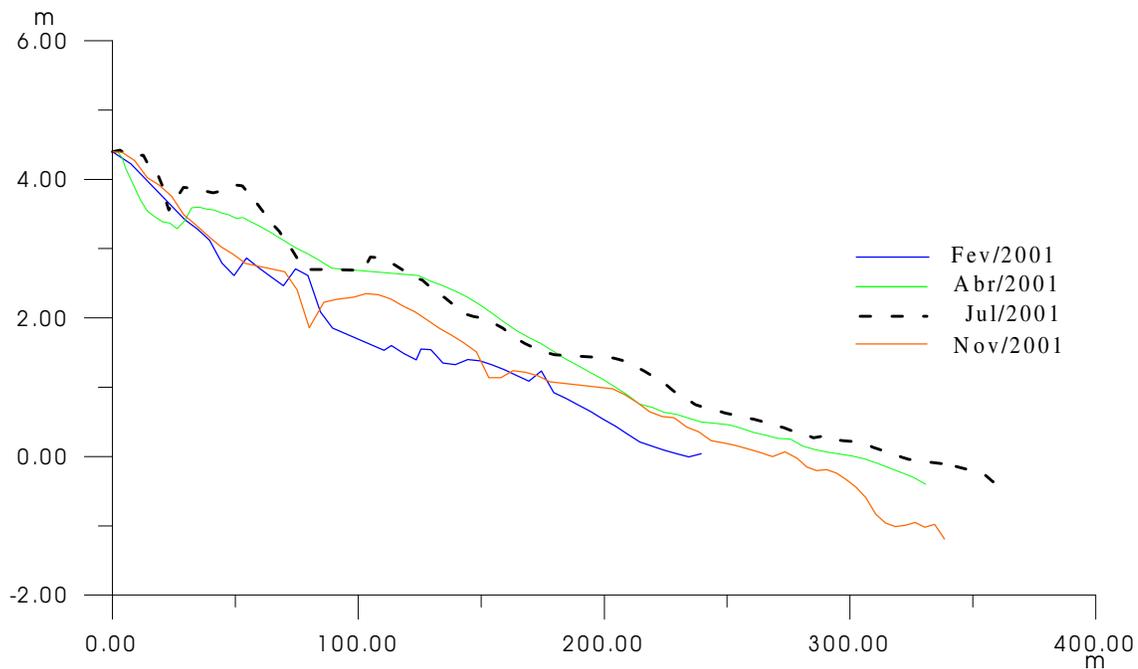


Figura 35 – Comportamento morfológico do perfil da praia do Araruna, entre os períodos chuvoso e seco de 2001.

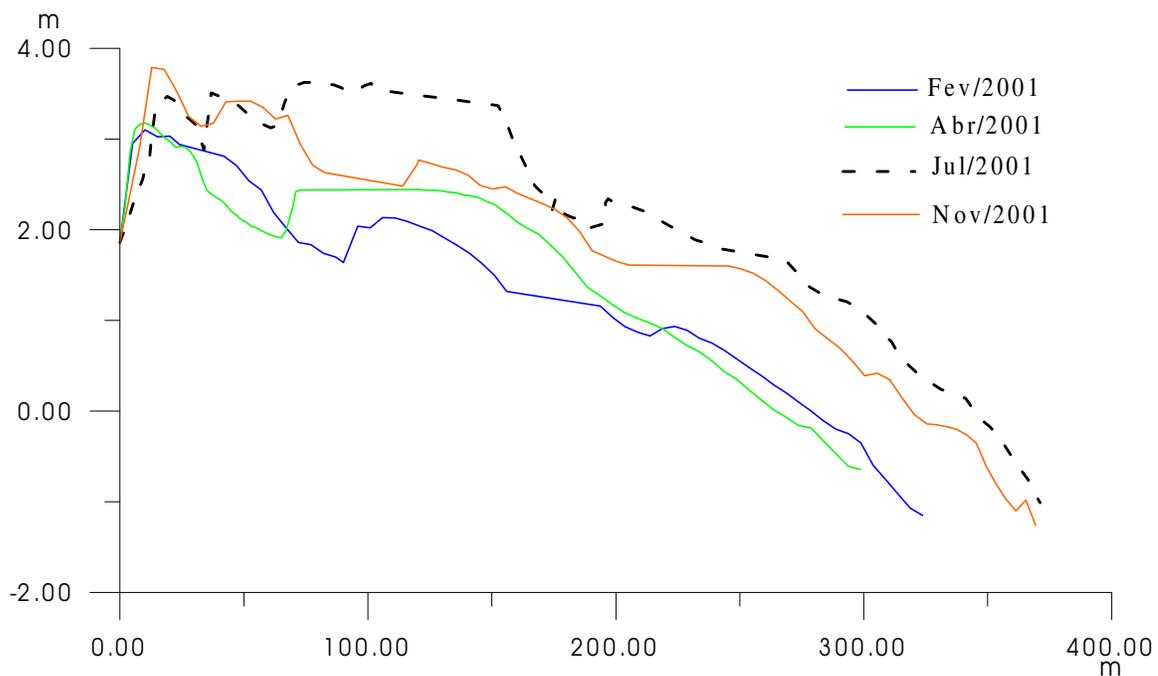


Figura 36 – Comportamento morfológico do perfil da praia do Garrote, entre os períodos chuvoso e seco de 2001.

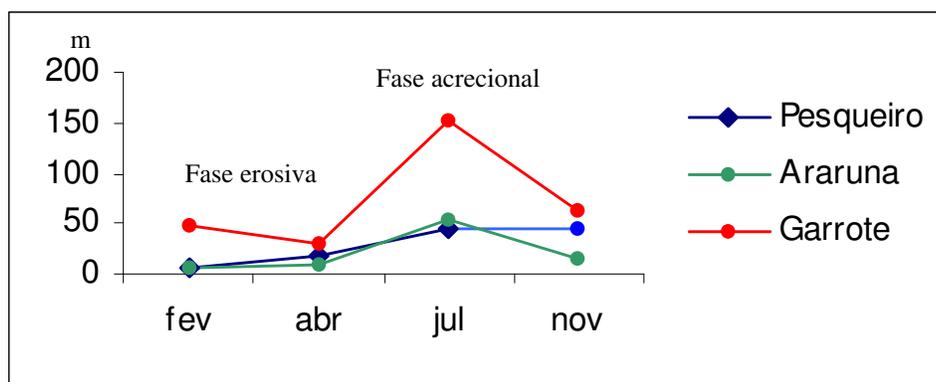


Figura 37 – Variação da posição da linha de maré alta (LMA) nos perfis das praias de Soure, de fevereiro a novembro de 2001.

### 7.3.2 Salvaterra

A fase acrecional do perfil 1 da praia Grande ocorreu no mês de fevereiro/2001, e do perfil 2 foi registrado em abril/2001 (Figuras 38 e 39), durante o período de chuvas e de maiores sizíguas da região. A LMA, no perfil 1, posicionou-se a uma distância de 49 m em relação ao início do perfil (Figura 40), e a zona de pós-praia apresentou sua maior largura (26 m) e gradiente de 1 : 15. No perfil 2, a zona de pós-praia apresentou a largura máxima de 7 m e o gradiente mais suave 1 : 9.

Outros processos morfológicos ligados à fase acrecional incluíram: (1) formação de terraços, na porção superior dos perfis, correspondentes a cristas praias próximos às LMA; e (2) formação de uma ou duas barras de maior volume, separadas por calhas profundas, gerando desníveis de 0,18 a 0,26 m, nas zonas de estirâncio (Figuras 38, 39 e 40).

A fase erosional da praia Grande registrou-se nos meses de julho e novembro/2001, dentro do período de menor pluviosidade e de ventos mais fortes. A linha de maré alta, no perfil 1, posicionou-se a uma distância mínima de 28 m do início do perfil, migrando 21 m para direção superior (Figura 40). A largura da zona de pós-praia diminuiu para 3 m, equivalente a uma redução de 23 m. O gradiente sofreu forte aumento em relação à fase acrecional, chegando a 1: 7. No perfil 2, a fase erosiva foi marcada pela máxima retração da LMA (13 m do início do perfil) e diminuição da largura da pós-praia (2 m), representando uma redução de 4 m em relação ao período acrecional. A maior declividade da pós-praia foi registrada em novembro/2001 (1 : 4).

Outros processos da fase erosional incluíram: (1) erosão da porção superior dos perfis (zonas de pós-praia e estirâncio superior), que transferiu sedimentos para as partes média e inferior (estirâncio médio e inferior e zona de inframamré); (2) redução do volume das barras e da profundidade das calhas; (3) crescimento do número de barras de pequeno porte nas zonas de estirâncio; e (4) ligeiro aumento da declividade dos perfis (Figuras 38, 39 e 40).

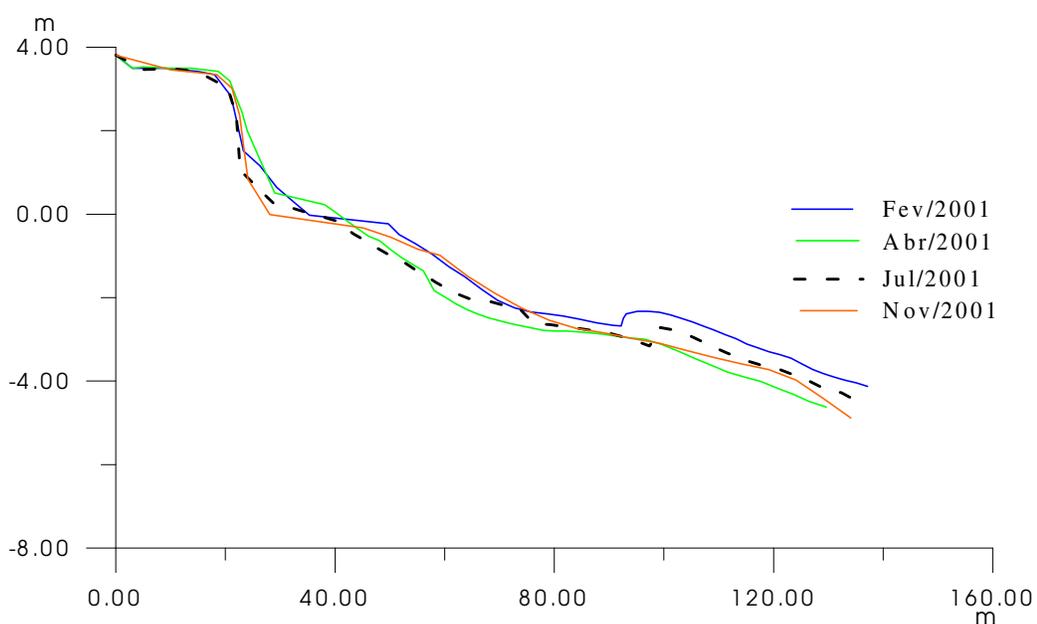


Figura 38 – Comportamento morfológico do perfil 1 da praia Grande de Salvaterra, entre o período chuvoso e o seco de 2001.

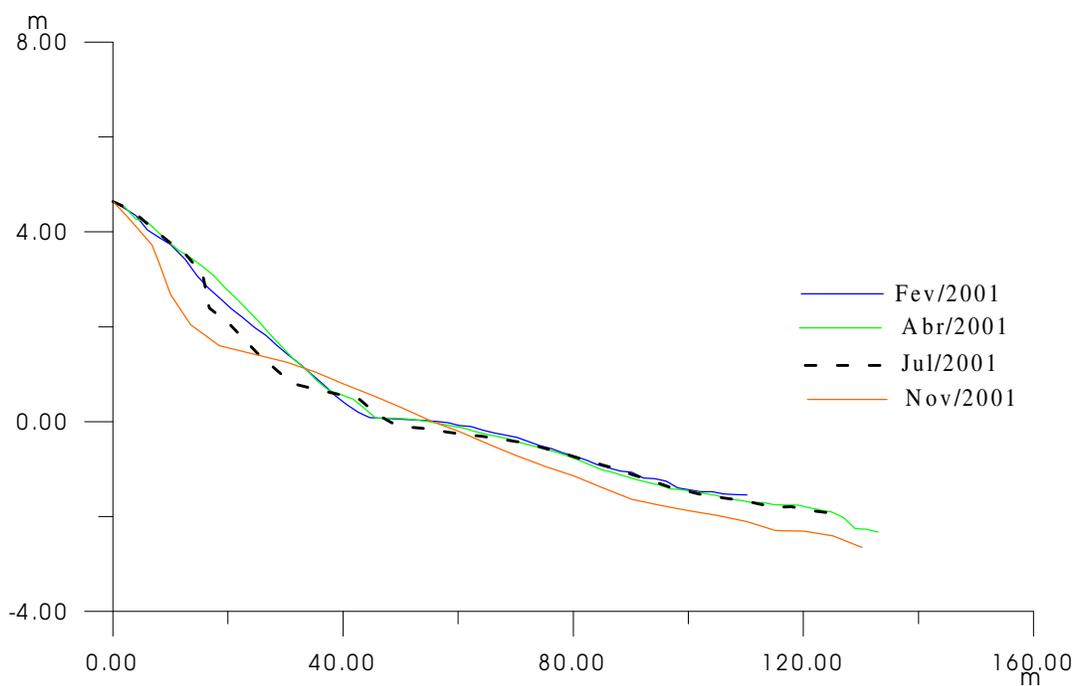


Figura 39 – Comportamento morfológico do perfil 2 da praia Grande de Salvaterra, entre o período chuvoso e o seco de 2001.

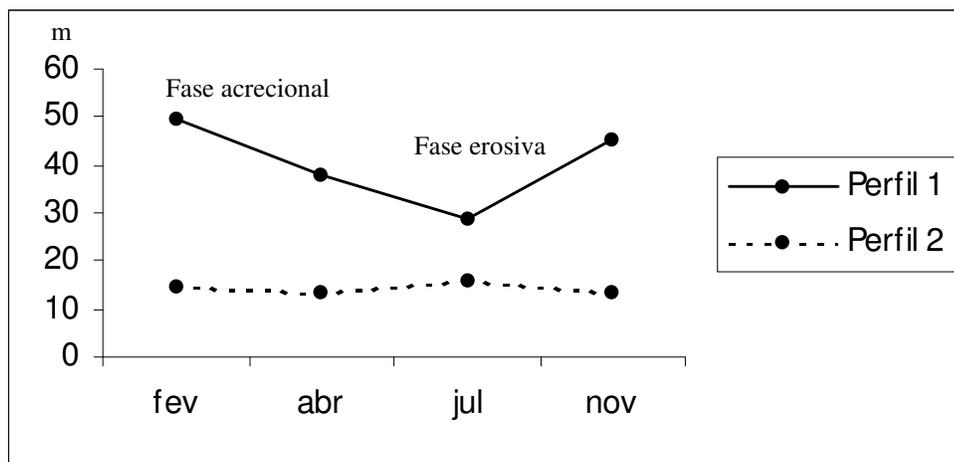


Figura 40 – Variação da posição da linha de maré alta (LMA), nos perfis 1 e 2 da praia Grande, de fevereiro a novembro de 2001.

#### 7.4 VARIAÇÃO DE VOLUME SEDIMENTAR DOS PERFIS PRAIAIS ENTRE O PERÍODO CHUVOSO E O SECO DE 2001

Em Soure, a erosão que se processou nos meses de fevereiro e abril/2001 reduziu o estoque sedimentar das praias, que apresentaram volumes mínimos de  $600 \text{ m}^3$  (Pesqueiro),  $1.161 \text{ m}^3$  (Garrote) e  $1.214 \text{ m}^3$  (Araruna). Em julho/2001, registraram-se os maiores volumes sedimentares, marcando a fase acrecional:  $1.279 \text{ m}^3$  (Pesqueiro),  $1.364 \text{ m}^3$  (Garrote) e  $1.350 \text{ m}^3$  (Araruna), representando acréscimos de  $679$ ,  $203$  e  $136 \text{ m}^3$  no estoque praial, respectivamente (Figura 41).

Em Salvaterra, os maiores volumes sedimentares ocorreram nos meses de fevereiro e abril/2001 (fase acrecional), quando o estoque sedimentar variou de  $377 \text{ m}^3$  (perfil 1) a  $379 \text{ m}^3$  (perfil 2). Na fase erosional de julho a novembro/2001, os volumes sedimentares diminuíram para  $353 \text{ m}^3$  (perfil 1) e  $358 \text{ m}^3$  (perfil 2), representando perdas de  $24$  e  $21 \text{ m}^3$ , respectivamente (Figura 42).

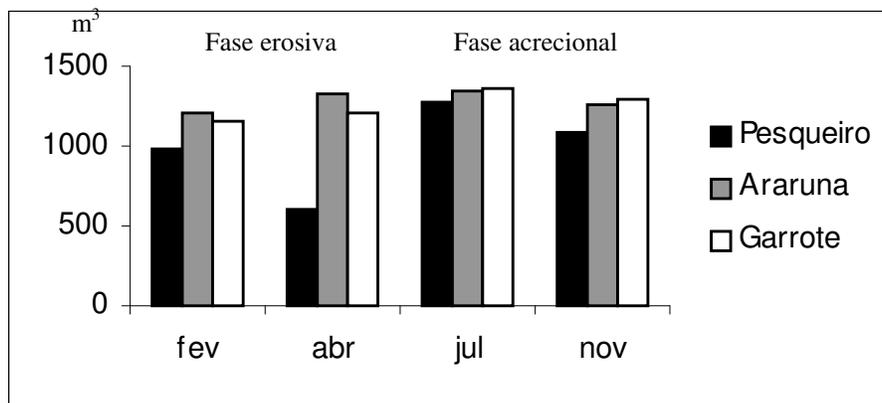


Figura 41 – Variação de volume sedimentar das praias de Soure, de fevereiro a novembro de 2001.

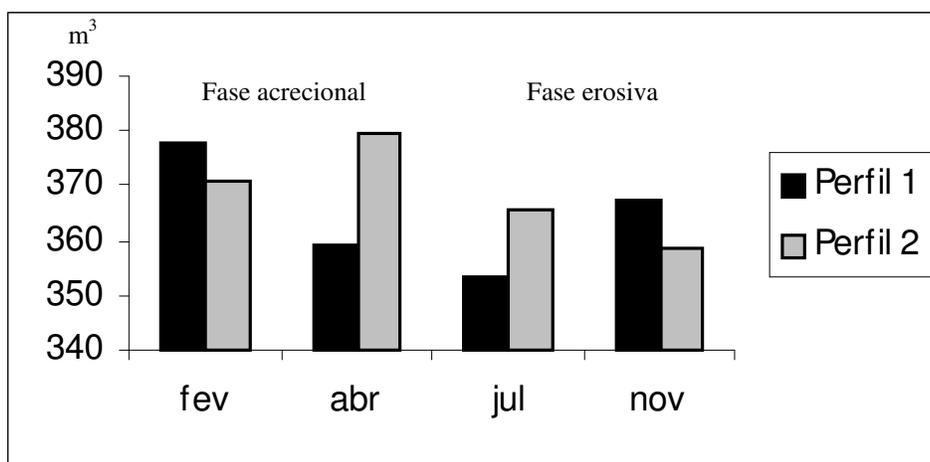


Figura 42 – Variação de volume sedimentar dos perfis 1 e 2 da praia Grande, de fevereiro a novembro de 2001.

## 7.5 VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS PRAIAIS DE SOURE E SALVATERRA, ENTRE O PERÍODO CHUVOSO E O SECO

### 7.5.1 Soure

Os maiores valores granulométricos (sedimentos mais grossos) foram registrados durante o período chuvoso, nos perfis das praias do Pesqueiro, Araruna e Garrote, quando o tamanho médio do grão esteve entre 2,81 e 2,94  $\phi$  (areia fina), nas LMA e estirâncio médio (Figura 43). Nesse período, representado pelas amostras dos meses de fevereiro e abril/2001, a fração areia fina apresentou porcentagens de 63,88 e 73,37 %, enquanto que a areia muito fina esteve entre 26,04 e 33,98 % do total das amostras da LMA e estirâncio. Ocorreram também os melhores índices de seleção, com valores entre 0,24 e 0,33 (sedimento muito bem selecionado).

No período seco, representado pelas amostras de julho e novembro/2001, a distribuição granulométrica mostrou uma progressiva diminuição do tamanho do grão, devido ao incremento da fração areia muito fina, que passou a representar porcentagens de 33,70 e 42,87 % (LMA e estirâncio). Ao contrário, registrou-se uma redução dos teores de areia fina, que ficaram entre 52,53 e 66,09 %. As médias apresentaram valores entre 2,86 e 3,10  $\phi$  (areia fina a muito fina). Em função do incremento de frações, como areia muito fina e areia média, houve piora do grau de seleção, que mostrou valores entre 0,28 e 0,40 (muito bem a bem selecionado) (Figuras 43 e 44).

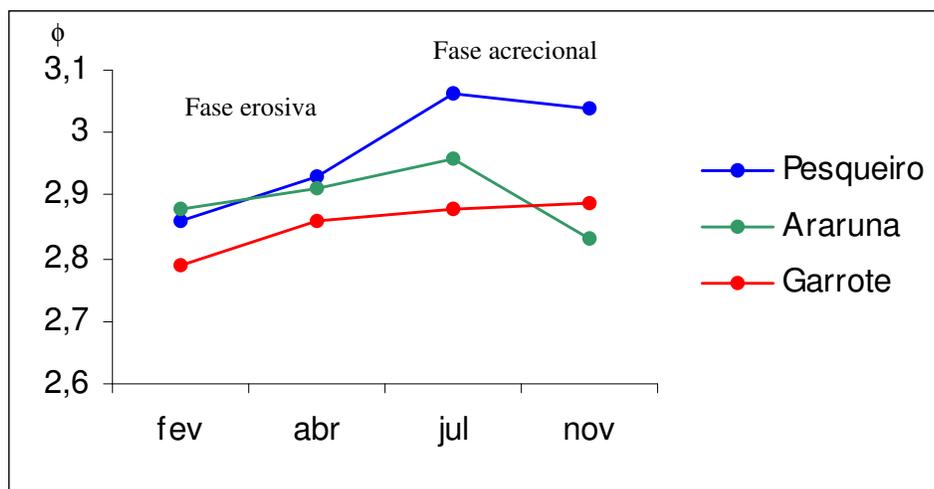


Figura 43 – Variação textural (tamanho médio) das amostras arenosas das linhas de maré alta (LMA) e zonas de estirâncio, dos perfis praiiais de Soure, de fevereiro a novembro de 2001.

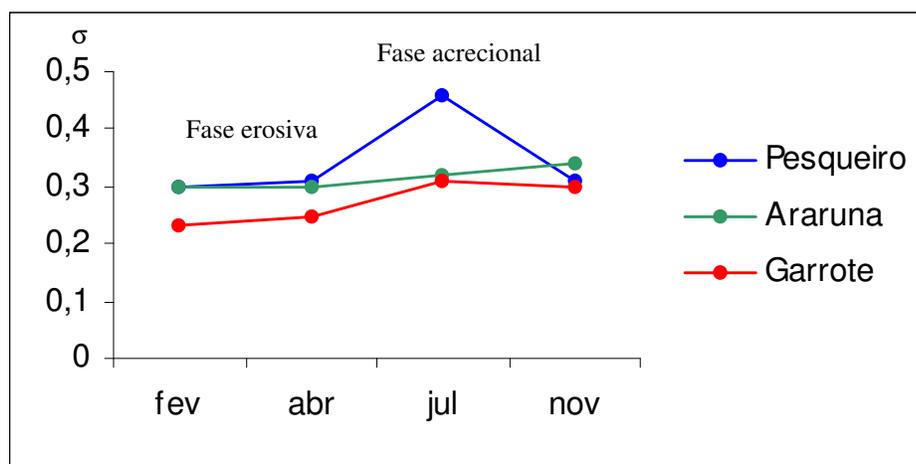


Figura 44 – Variação textural (seleção) das amostras arenosas das linhas de maré alta (LMA) e zonas de estirâncio, dos perfis praiiais de Soure, de fevereiro a novembro de 2001.

### 7.5.2 Salvaterra

Os perfis 1 e 2 da praia Grande apresentaram comportamento granulométrico diferenciado. Durante o período acrecional do perfil 1, representado pelas amostras de fevereiro/2001, a distribuição granulométrica caracterizou-se pelo predomínio da areia grossa ao longo de todo o perfil praias, com médias de 0,96  $\phi$  (LMA), 0,84  $\phi$  (estirâncio médio) e 0,74  $\phi$  (LDA). A fração areia grossa alcançou percentuais entre 45,45 a 50,23 % dos totais amostrados. O grau de seleção variou entre 0,43 (LMA), 0,45 (estirâncio) e 0,64 (LDA), caracterizando depósitos bem a moderadamente selecionados (Figuras 45 e 46).

No perfil 2, as amostras de fevereiro e abril/2001 (fase acrecional), registrou sedimentos mais finos que o perfil 1, mostrando valores entre 0,79  $\phi$  (areia grossa) e 2,07  $\phi$  (areia fina), com a areia média variando entre 29,8 e 74,74 % das frações totais. O selecionamento apresentou-se entre 0,33 e 0,59 (mioto bem a moderadamente selecionado) (Figuras 45 e 46).

Durante a fase erosiva (amostras de julho e novembro/2001), os perfis 1 e 2 apresentaram afinamento do grão na LMA (1,51 a 2,01  $\phi$ , areia média a fina), engrossamento no estirâncio médio (0,36 a 1,24  $\phi$ , areia grossa a média) e afinamento novamente na LDA (0,83 a 2,12  $\phi$ , areia grossa a fina). O selecionamento acompanhou a variação granulométrica, apresentando-se muito bem a bem selecionado na LMA (0,24 a 0,41) e bem a moderadamente selecionado no estirâncio e LDA (0,45 a 0,98). Ressalta-se o aumento dos teores de areia muito grossa e seixo no estirâncio e LDA, durante o período erosivo, alcançando porcentagens máximas de 24,78 % (areia muito grossa) e 6,9 % (seixo) (Figuras 45 e 46).

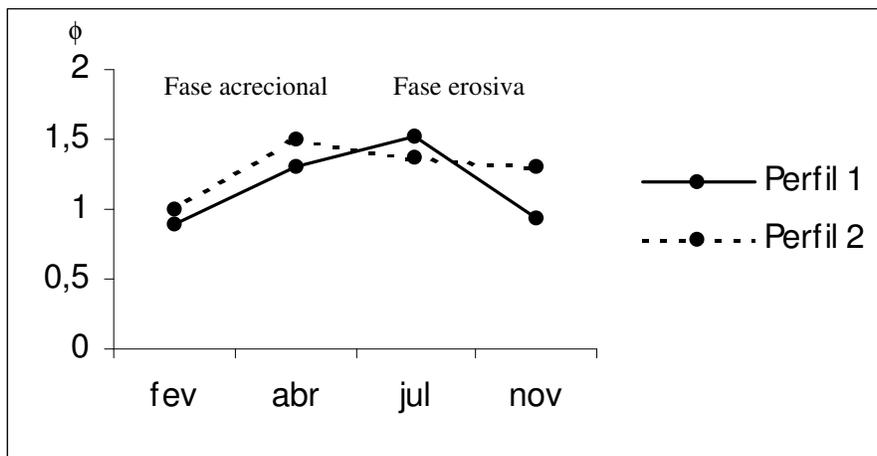


Figura 45 – Variação textural (tamanho médio) das amostras arenosas das linhas de maré alta (LMA) e zonas de estirâncio da praia Grande (perfil 1 e 2), de fevereiro a novembro de 2001.

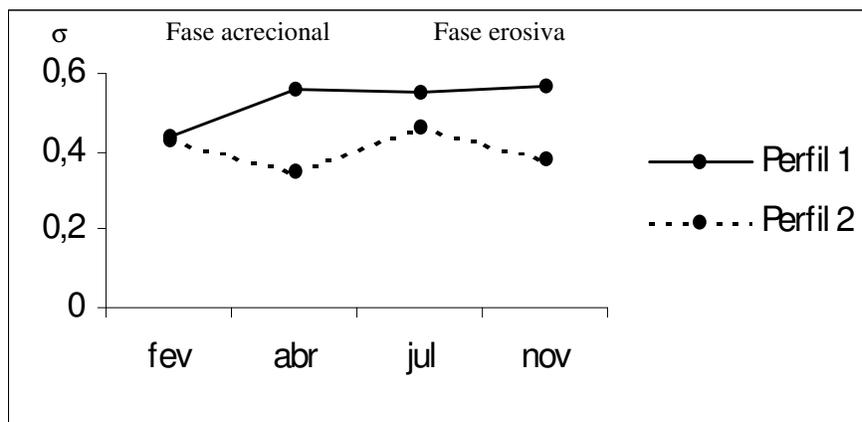


Figura 46 - Variação textural (seleção) das amostras arenosas das linhas de maré alta (LMA) e zonas de estirâncio, da praia Grande (perfil 1 e 2), de fevereiro a novembro de 2001.

## 7.6 RELAÇÃO ENTRE AS VARIAÇÕES MORFOLÓGICA E GRANULOMÉTRICA, DOS PERFIS PRAIAIS DE SOURE E SALVATERRA

Segundo Nordstrom (1992) e Nordstrom & Jackson (1992), há dois padrões de mudança morfológica em praias estuarinas de mesomaré: (1) tipo A: caracteriza-se pela remoção de sedimentos da porção superior da praia e deposição na parte inferior, resultando num perfil côncavo para cima; e (2) tipo B: consiste no deslocamento vertical de todo o perfil praiial, acompanhado por pequena ou nenhuma mudança do gradiente praiial. Os tipos de mudança do perfil praiial estão relacionados a diferenças no estoque sedimentar, à energia das ondas e correntes de maré e às trocas sedimentares no sentido transversal e longitudinal à praia.

A comparação entre o modelo de Nordstrom & Jackson (*op. cit.*) e o comportamento morfológico das praias de Soure e Salvaterra, revelou que os perfis do Pesqueiro, Araruna e Garrote caracterizam-se pelo padrão de mudança tipo B, com deslocamento paralelo das zonas de estirâncio, entre os períodos chuvoso (erosivo) e seco (acrecional). Porém, a forma do perfil do Pesqueiro apresentou-se côncava e com pequena variação de gradiente ao longo ao ano. Nos perfis do Araruna e Garrote, a forma foi predominantemente convexa com variações significativas de gradiente entre o período chuvoso e o seco.

O deslocamento vertical ou paralelo do perfil resulta do movimento longitudinal do sedimento, favorecido por fluxos longitudinais à praia ao longo de todo o perfil, em que o ângulo de incidência das ondas e a direção do transporte são mais relevantes do que as variações de altura ou período das ondas. O movimento paralelo do perfil pode ocorrer como um resultado de eventos de alta energia ou de períodos prolongados de correntes unidirecionais. O retorno do sedimento, na fase acrecional, depende também de fontes longitudinais. Esse tipo de comportamento morfológico é comum em praias compartimentadas por quebras na orientação da linha de costa, por desembocaduras de canais ou presença de pântanos, que acarretam variações no movimento e no volume sedimentar ao longo da costa (Nordstrom 1992; Nordstrom & Jackson 1992).

Os perfis da praia Grande de Salvaterra apresentaram um padrão de mudança morfológica diferenciado. Verificou-se o predomínio do tipo A. A fase erosiva foi caracterizada pela remoção de sedimentos da zona de pós-praia e estirâncio superior, e deposição na parte média ou inferior dos perfis, atribuindo-lhes a forma côncava. O retorno às condições acrecionais de fevereiro e

abril/2001 implicou em transporte transversal de sedimentos, na direção do estirâncio superior, restaurando as barras e os terraços próximos à LMA.

As mudanças morfológicas do tipo A estão relacionadas à ocorrência de ondas de maior energia (Nordstrom & Jackson 1992), durante o período de ventos mais fortes da região e de menores marés de sizígia (junho a novembro/2001). As perdas sedimentares das porções mais altas são contrabalançadas pela deposição abaixo do nível médio do mar.

O comportamento morfológico alternado, dos perfis de Soure e Salvaterra, entre os períodos chuvoso e seco, sugere respostas diferenciadas a processos que atuam em costas fisiograficamente distintas.

Na costa baixa de Soure, durante os períodos sazonais chuvosos, a quantidade maior de água em circulação no sistema costeiro promoveu inundações mais amplas, aumento das vazões fluviais, correntes de maré mais fortes e maiores sizígias. A erosão dos sedimentos praias, com remoção dos mais finos, foi responsável pelo aumento granulométrico e melhoria do grau de seleção na LMA estirâncio médio. A resposta morfológica foi a elaboração de um perfil erosivo, caracterizado pela retração da LMA, redução da largura da zona de pós-praia e aumento do gradiente, resultando num perfil côncavo.

Durante o período seco, a redução da energia das correntes de maré e o aumento da intensidade dos ventos alísios de NE, sobre a costa leste da Ilha de Marajó, produziram uma fase acrecional, com retorno dos sedimentos mais finos, resultando em crescimento volumétrico, diminuição do tamanho do grão na altura das LMA e zonas de estirâncio. A piora do selecionamento ocorreu em função do incremento da fração areia muito fina, que passou a representar uma porcentagem média de 39,62 % do total das amostras (aumento de 16,1 % em relação ao período erosivo).

A resposta morfológica à fase acrecional de Soure, que alcançou o seu auge no mês de julho/2001, envolveu aumento da largura da zona de pós-praia, devido à migração da LMA na direção da zona de estirâncio, e gradientes mais suavizados. Em decorrência do engordamento praias, os perfis adquiriram uma forma convexa.

O modelo de variabilidade sazonal das praias de Soure foi condizente com os modelos descritos por Dubois (1989) e Nordstrom & Jackson (1992) para as praias estuarinas de meso e macromarés do litoral leste dos EUA, e por Alves (2001) para a praia de macromaré oceânica de Ajuruteua (litoral nordeste do Pará). Esses autores destacaram as mudanças no regime de ondas e

ventos e na intensidade das correntes de maré como elementos determinantes das características texturais, da variação volumétrica e morfodinâmica dos transectos praias.

Na costa alta de Salvaterra, o período chuvoso foi marcado pela acreção sedimentar praias, com alargamento da zona de pós-praia e maior estoque sedimentar. O perfil 1 mostrou areias de maior granulometria e pior selecionamento do que o perfil 2. Esse comportamento textural pode indicar um transporte na direção norte-sul, ao longo da praia Grande, destacando a preponderância das correntes de maré na dinâmica praias, durante esse período do ano. Segundo o modelo de McLaren (1981), se o sedimento transportado sofre deposição seletiva, os depósitos resultantes podem ser mais finos e mais bem selecionados, o que indica um nível de energia decrescente ao longo do transporte e a incapacidade de movimentar materiais mais grossos do que os que jazem na fonte sedimentar.

No período seco, os perfis da praia Grande foram erosivos, caracterizados por perdas de volume sedimentar, retração da LMA e diminuição da largura da pós-praia. Observou-se afinamento do grão na altura da LMA e da LDA e engrossamento no estirâncio médio, melhoria do grau de seleção na LMA e piora no estirâncio e LDA, devido ao incremento das frações areia muito grossa e seixo, alcançando porcentagens máximas de 24,78 e 6,9 %, respectivamente. Houve transferência de material da porção superior para a porção média ou inferior dos perfis, indicando trocas sedimentares transversais. Os sedimentos mais finos permaneceram na zona de máximo espraiamento das ondas durante a maré alta (LMA), e os mais grossos foram depositados nas zonas de estirâncio e LDA.

A variabilidade sazonal da praia Grande coincidiu, em parte, com o modelo de tempestade de praias estuarinas, descrito por Nordstrom & Jackson (1992; 1993). Uma das mudanças morfológicas mais importantes das praias estuarinas de mesomaré envolve remoção de sedimentos da porção superior e deposição na porção inferior, tornando o perfil mais côncavo. Esse tipo de mudança é geralmente associado a alturas de onda entre 0,4 e 0,8 m, e períodos de 3,4 a 4,5 s. O aumento do nível de energia do ambiente mobiliza uma quantidade maior de frações de vários tamanhos, acumulando areia grossa, grânulos e seixos nas porções inferiores, como resultado do gradiente espacial de energia ao longo dos perfis praias (Nordstrom & Jackson 1992; 1993). Assim, as mudanças temporais de energia cria diferenças na quantidades das areias e seixos, que são redistribuídos transversalmente à praia.

A complexidade das variações morfológicas e texturais das praias, relacionada à diferenciação fisiográfica entre Soure e Salvaterra, será melhor elucidada a partir do monitoramento do regime de ondas e correntes e da interpretação à luz da morfodinâmica costeira.

## 7.7 CONCLUSÕES

A variabilidade sazonal dos parâmetros morfológicos e granulométricos, dos perfis topográficos das praias de Soure e Salvaterra (mudanças de curto período), é controlada pelas diferenças na fisiografia costeira, pelo tipo de sedimento disponibilizado pela circulação sub-aquática (suprimento sedimentar) e pelos processos que variam entre o período chuvoso e o período seco. Cada perfil praiar apresentou um comportamento morfológico e textural particular, durante os meses estudados, porém com tendências gerais que permitem distinguir entre as características das praias de Soure (Pesqueiro, Araruna e Garrote) e as da praia de Salvaterra (Grande).

As mudanças comuns ao período erosivo foram: (1) migração da linha de maré alta (LMA) para porções superiores do perfil praiar (retração da LMA), avançando sobre a zona de pós-praia ou subindo até a base das dunas e das falésias; (2) redução da largura da zona de pós-praia e aumento do gradiente; (3) deslocamento paralelo de toda a zona de estirâncio (Soure), ou remoção de sedimentos da parte superior do perfil e deposição na parte inferior (Salvaterra); (4) tendência do perfil à forma côncava; (5) diminuição do volume sedimentar; (6) aumento do tamanho do grão e melhoria do selecionamento (Soure), ou redução do tamanho do grão na LMA e LDA e aumento no estirâncio médio, com melhoria da seleção na LMA e piora no estirâncio e LDA (Salvaterra).

No período acrecional, as mudanças caracterizaram-se por: (1) migração da LMA na direção da zona de estirâncio, afastando-se da base das dunas e das falésias; (2) aumento da largura da zona de pós-praia e suavização do gradiente; (3) aumento do estoque sedimentar, com aumento do volume das barras e aprofundamento das calhas; (4) variação paralela da zona de estirâncio (Soure), ou formação de terraços ou cristas na porção superior do perfil como transferência de sedimentos para este setor do perfil (Salvaterra); (5) tendência do perfil à

convexidade (principalmente em Soure); (6) diminuição do tamanho do grão e piora do selecionamento (Soure), ou aumento do tamanho do grão e piora da seleção, no perfil 1 da praia Grande, e afinamento do grão e piora do selecionamento no perfil 2 (Salvaterra).

Em Soure, a fase erosiva dos perfis praias foi registrada nos meses de fevereiro e abril/2001, que fazem parte do período sazonal chuvoso, marcado pelas maiores inundações e fortes correntes de maré, favorecidas pelo volume das precipitações e, portanto, pela maior quantidade de água em circulação no sistema costeiro. A fase acrecional ocorreu em julho e novembro/2001, dentro do período de menor pluviosidade e de ventos mais fortes da região.

Em Salvaterra, o período acrecional correspondeu aos meses de fevereiro e abril/2001, e a fase erosiva foi registrada em julho e novembro/2001, representando comportamentos sazonais inversos aos de Soure, como respostas diferenciadas a processos que ocorrem em costas fisiograficamente distintas.

A variabilidade morfológica das praias de Soure foi maior do que a da praia de Salvaterra, e o padrão de mudança sugeriu a preponderância das correntes de maré ou das correntes longitudinais no controle sazonal da morfologia praial. Por outro lado, a praia Grande apresentou maior estabilidade morfológica, com padrão de mudança controlado principalmente pela ação das ondas. A maior variabilidade granulométrica da praia Grande, em relação às de Soure, pode refletir a proximidade do planalto costeiro e a mudança energética do ambiente em função da variação de altura das ondas, com trocas sedimentares transversais entre a porção superior e inferior dos perfis.

A continuidade das pesquisas, incluindo o monitoramento dos processos gerados por ondas, correntes de maré e ventos, fornecerá dados para um estudo de morfodinâmica praial, permitindo uma melhor compreensão e interpretação do comportamento morfológico e textural sazonal.

## **8 ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO AO GERENCIAMENTO COSTEIRO DE SOURE E SALVATERRA**

### **8.1 INTRODUÇÃO**

A questão ambiental adquiriu, nas últimas décadas, uma relevante posição no cerne das discussões acadêmicas, políticas, sócio-econômicas e culturais. As formas de ocupação da zona costeira e os níveis de conservação ou de degradação decorrentes são freqüentemente evocados, bem como a necessidade de planejamento e gerenciamento para as áreas costeiras, com vistas à implementação de usos coerentes com as especificidades naturais e com a sustentabilidade ambiental.

As zonas costeiras possuem importância singular como sítios para a implantação de portos e entrepostos comerciais, para o desenvolvimento do turismo, para a produção de alimentos e fontes de matéria-prima para diversas atividades industriais, além de serem atrativas para o assentamento residencial e urbano. Por outro lado, as suas características naturais, sustentadas pela interação de processos altamente complexos, apontam para a fragilidade de seus ecossistemas.

Freqüentemente, os tipos de uso da terra costeira, particularmente no Pará, centrados em atividades exploratórias e predatórias, ou que seguem planos de urbanização incoerentes com as limitações do meio físico, e em desacordo com a legislação ambiental, têm contribuído para o aumento crescente do desmatamento de áreas de manguezais e destruição de berçários costeiros, da expansão de estabelecimentos comerciais e de moradias em áreas de dunas, praias e restingas, acompanhados pelo lançamento indiscriminado de dejetos sólidos e águas residuárias (Mendes *et al.* 1997, 2001; Reis & Mendes 2001; Souza Filho 2001). Isso tem gerado quadros de degradação ambiental, que se expressam principalmente pelas mudanças na dinâmica sedimentar e na circulação hídrica, pela contaminação do solo e do lençol freático, e pela diminuição da produtividade dos ecossistemas.

Por isso, um dos maiores desafios da sociedade atual é associar a necessidade de ocupação e uso das áreas costeiras e seus recursos aos princípios de conservação e sustentabilidade. Tal prática requer a implantação de políticas públicas que encarnem, no seu

bojo, a integração dos diferentes níveis de governo, dos diversos setores e atores sociais e, sobretudo, a revisão dos modelos de exploração econômica e de intervenção antrópica, o que exige uma nova postura social diante da natureza.

Além das transformações geradas por fatores antrópicos, observam-se as mudanças induzidas por processos eminentemente naturais, relacionados à atuação das correntes de maré, ondas e ventos, que respondem pela magnitude das inundações e dos processos erosivos, caracterizando vários setores da costa paraense como de alto risco ambiental (Silva 1996; Souza Filho 2000b, 2001; Mendes *et al.* 2001; França & Souza Filho 2002).

Em Soure e Salvaterra, os setores de ocupação antrópica e em degradação situam-se nas áreas de planalto, em alguns trechos de manguezal e de restingas, onde as transformações são pontuais, pouco interferindo na dinâmica natural ao longo da costa. As transformações são representadas principalmente pela erosão e, conseqüentemente, pela retrogradação da linha de costa, tornando todo o litoral suscetível aos riscos naturais.

Os objetivos deste capítulo são analisar as formas de ocupação da zona costeira de Soure e Salvaterra e a vulnerabilidade aos riscos ambientais, com base nos geoindicadores (topografia, presença de manguezais e falésias, amplitude das marés, taxas de retrogradação e configuração costeira), além de propor um zoneamento geoambiental, baseado no mapeamento morfológico, nos estudos de mudanças costeiras e na análise dos riscos à ocupação, visando a produzir subsídios ao planejamento e ao gerenciamento dessas áreas.

## 8.2 ANÁLISE DOS RISCOS AMBIENTAIS DA ZONA COSTEIRA DE SOURE E SALVATERRA

### 8.2.1 Caracterização morfológica e erosão costeira

A erosão costeira é um dos fenômenos mais destacados ao longo da costa nordeste do Estado do Pará, nas últimas décadas, cujas evidências se manifestam pela retrogradação da linha de costa, monitorada através do sensoriamento remoto e trabalhos de campo (Silva 1996; Mendes *et al.* 1997; Alves, 2001; Mendes *et al.* 2001; Prost *et al.* 2001; Silva 2001; França & Souza Filho 2002; Souza Filho & Paradella 2003). Esse processo pode ser determinado por fatores

locais ou sazonais, como a diminuição do suprimento sedimentar que chega à costa, as mudanças no ângulo de incidência das ondas e correntes de maré, o aumento do volume pluviométrico ou da intensidade dos ventos; e por fatores regionais e globais, tais como soerguimento ou subsidência tectônica e variações do nível do mar (Souza & Suguio 1996; Costa *et al.* 2002).

Na costa de Soure e Salvaterra, marcada pela dinâmica retrogradacional, a configuração morfológica e a distribuição dos ecossistemas respondem pelo comportamento diferenciado diante dos processos erosivos, no que se refere à intensidade e à magnitude do fenômeno.

Em Soure, no trecho compreendido entre o canal do Cajuúna e o estuário Paracauari, a planície costeira, que se estende por 14 km no sentido norte-sul, com larguras entre 2,9 e 4,4 km, é constituída por planícies de supramaré e intermaré lamosas, cobertas por campos inundáveis e manguezais, drenadas por canais de maré e limitadas na porção distal por praias-barreiras e dunas (Figura 9 - Mapa morfológico). O baixo gradiente topográfico e a amplitude de maré em torno de 3,6 a 4,4 m (meso a macromarés) tornam a costa de Soure suscetível a inundações, à mobilidade sedimentar e aos processos erosivos gerados por correntes de maré e ondas.

A ação das ondas e correntes de maré produzem modificações na linha de costa, relacionadas a eventos como:

- (1) solapamento da base das dunas frontais, destruição da vegetação de restinga e formação de escarpas erosivas;
- (2) erosão da linha de manguezais, seguida de soterramento por areias praias;
- (3) remoção de sedimentos da parte superior das zonas de estirâncio das praias, expondo antigos depósitos de turfa, manguezais ou lagunas;
- (4) e destruição de construções (estabelecimentos residenciais e comerciais) instaladas nas zonas de estirâncio superior e pós-praias (Figura 47).



Figura 47 – As taxas de recuo da linha de costa, nos últimos 15 anos, caracterizam o litoral de Soure como de alto risco face à erosão: A) as construções instaladas nas zonas de dunas, pós-praia e estirâncio superior são soterradas e destruídas; B) as construções de alvenaria ou com alicerces ou pisos de concreto são inadequadas face à mobilidade sedimentar e ao ataque das ondas, espalhando pela praia detritos que comprometem a qualidade do ambiente; C) a formação de escarpas erosivas nas dunas expõe o lixo acumulado pelas atividades antrópicas; D) a erosão expõe antigo depósito lamoso na zona de estirâncio da praia do Pesqueiro (Fotografias realizadas em fevereiro/2000 e julho/2001).

A erosão ao longo da costa de Soure é decorrente de processos exclusivamente naturais. As transformações relacionadas à ocupação antrópica, como desmatamento e deposição de rejeitos, restringem-se ao eixo das estradas do Pesqueiro e do Aeroporto, a setores do estirâncio superior e pós-praia em Barra Velha e Pesqueiro, às áreas de assentamento das comunidades de pescadores, como as vilas do Pesqueiro, Céu e Cajuúna, e às áreas de mineração como em Mata-Fome. Os quadros de degradação ambiental são ainda pontuais, não comprometendo o equilíbrio dinâmico dos ambientes costeiros.

Em Salvaterra, no trecho compreendido entre as desembocaduras do estuário Paracauari e do canal do Jubim (6 km), o planalto costeiro alcança a linha de costa, formando em vários trechos falésias ativas, e a planície costeira é representada por : (1) planícies de maré lamosas cobertas por manguezais e campos alagáveis, que gradam para várzeas, no interior de paleovales,

dispondo-se nas direções NE-SW e E-W; e (2) por praias estreitas, íngremes, de areias médias, dispostas na direção N-S, acompanhando o sopé do planalto costeiro (Figura 9).

Os desníveis topográficos, representados pelas falésias, o gradiente mais acentuado da área submersa adjacente e o baixo suprimento sedimentar respondem pela ausência de grandes áreas de progradação e os processos erosivos são também predominantes, porém em níveis menores do que os registrados na costa de Soure. A ação das ondas é o principal agente erosivo, responsável pela retrogradação da linha dos manguezais, pelo desmoronamento e recuo das falésias (Figura 48).



Figura 48 – O recuo da linha de costa, em Salvaterra, acarreta o desmoronamento das falésias. Em decorrência da ocupação, há destruição de construções, arruamentos e propriedades (Fotos cedidas por Rafael Nascimento Filho/MPEG, agosto/2002).

### 8.2.2 Análise dos riscos à erosão a partir das mudanças costeiras nos últimos 15 anos

Os riscos ambientais costeiros estão relacionados à suscetibilidade da linha de costa aos processos erosivos. Os parâmetros adotados para a análise dos riscos são: a topografia, a distribuição espacial dos ambientes e feições costeiras (presença de manguezais ou falésias), a forma das praias arenosas, a proximidade de desembocaduras, a inundação provocada pela amplitude das marés e as taxas de recuo da linha de costa (Young *et al.* 1996; Souza Filho 2000b).

Uma análise comparativa entre as imagens Landsat de 1995 e 2001, que registram instantes de maré baixa e de maré alta, respectivamente, permitiu inferir sobre o nível de recobrimento das praias quando da subida da maré. As praias do Pesqueiro, Araruna e Barra Velha, em Soure, são as que ficam mais inundadas, apresentando porcentagens de recobrimento na ordem de 78, 69 e 68 %, respectivamente (Figura 49). O avanço da linha d'água sobre a zona de intermarés, durante a enchente, alcança máximos de 780 m, na praia do Pesqueiro, e 399 m na praia do Araruna. Isso significa que as marés de sizígia atingem freqüentemente a base das dunas e a linha dos manguezais, principalmente nos meses de dezembro a maio, período sazonal de maior pluviosidade e grandes marés.

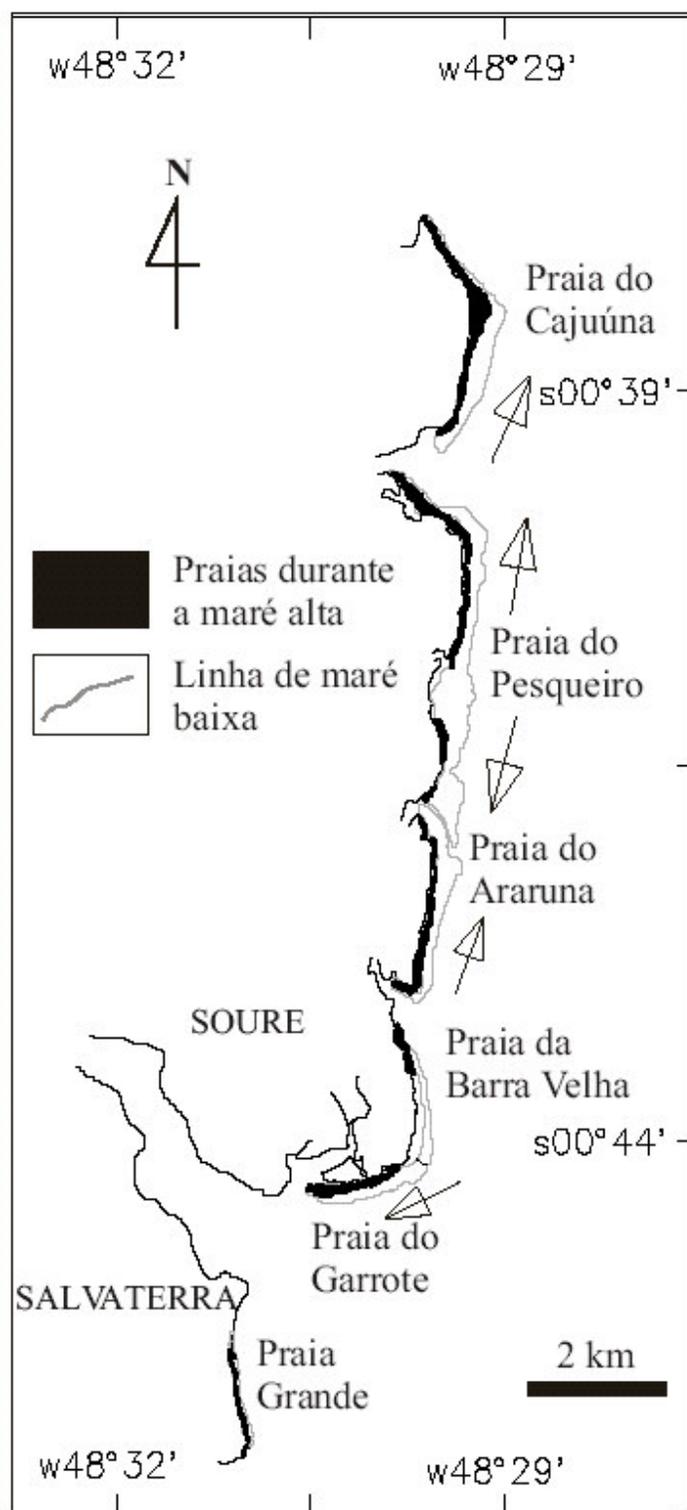


Figura 49 – Posição das linhas de maré alta (LMA) e maré baixa (LMB), extraídas das imagens Landsat de 1995 e 2001, e tendência de transporte sedimentar de acordo com a forma e a distribuição das feições costeiras.

As praias de Soure apresentam a forma convexa e são delimitadas por canais de maré e deltas de maré vazante. O arranjo espacial e a forma dessas feições costeiras indicam uma tendência de transporte sedimentar longitudinal para norte e para sul (Figura 49). O aporte arenoso fornecido pelos canais e a direção do transporte desenvolvem baixios de maré arenosos, onde a mobilidade sedimentar confere uma grande instabilidade a esse trecho da costa.

O estudo multitemporal, baseado em imagens Landsat de 1986, 1995, 1999 e 2001, revelou que as taxas de retrogradação da costa de Soure, nos últimos 15 anos, variaram de 21 m/ano, no período de 1986/1995, para 39 m/ano, entre 1995/1999, e 185 m/ano, em 1999/2001. As áreas de manguezais que foram erodidas alcançaram os totais de 0,727 km<sup>2</sup> (1986/1995), 0,351 km<sup>2</sup> (1995/1999) e 0,703 km<sup>2</sup> (1999/2001) (França & Souza Filho 2002). A destruição dos mangues frontais à baía de Marajó e o conseqüente recuo da linha de costa são as principais características, aliadas à migração dos cordões arenosos para dentro das áreas de mangue, o que contribui ainda mais para a vulnerabilidade da costa.

Qualquer projeto de ocupação e uso da planície costeira de Soure para atividades turísticas, hoteleiras, comerciais e para assentamentos urbanos torna-se impróprio ou limitado, face à magnitude das inundações, à mobilidade sedimentar e, principalmente, às taxas de erosão costeira que alcançaram os índices mais elevados nas sub-regiões de Cajuúna, Pesqueiro e Barra Velha, caracterizando uma costa de alto risco ambiental.

De acordo com esse estudo, a erosão das falésias de Salvaterra alcançou o seu máximo no período de 1986/1995, registrando-se 0,034 km<sup>2</sup>, com taxa de 7 m/ano. As áreas de manguezais que foram erodidas totalizaram 0,124 km<sup>2</sup>, entre 1986/1995, 0,002 km<sup>2</sup> entre 1995/1999 e 0,042 km<sup>2</sup>, entre 1999/2001. As áreas de campo recuaram 0,003 km<sup>2</sup>, à taxa de 4 m/ano, entre 1986/1995, 0,026 km<sup>2</sup>, à taxa de 41 m/ano, no período de 1995/1999.

Os processos erosivos, na costa de Salvaterra, caracterizam-na como de alto risco. Aos processos naturais, associam-se as ocupações não planejadas. A área urbana expandiu-se pela margem das falésias, contribuindo para a desestabilização destas. O recuo paulatino das falésias, causado não só pelo ataque das ondas e pela ação pluvial, mas também pela ocupação, tem causado prejuízos materiais a proprietários de hotéis, residências e terrenos, registrando-se

inclusive a destruição de muros e arruamentos construídos ao longo da orla. Nas zonas de pós-praia, dunas e restingas próximas à praia Grande, intensifica-se a cada ano a construção de pousadas, bares e restaurantes. Observa-se, em função disso, certos níveis de poluição, desmatamento e destruição de depósitos eólicos, alterando a qualidade do ambiente e a dinâmica sedimentar.

### 8.3 O ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO AO GERENCIAMENTO COSTEIRO

A preocupação com a vulnerabilidade das zonas costeiras aos riscos naturais e aos processos de degradação ambiental, sendo estes causados pelas interferências antrópicas, embasou vários trabalhos voltados para as propostas de zoneamento geoambiental (Mendes *et al.* 1997, 2001; Souza Filho 2001).

O zoneamento é uma das técnicas de gerenciamento mais empregadas, que consiste em dividir a área costeira em zonas geográficas, designadas de acordo com o grau de risco (Cicin-Sain & Knecht 1998). Toda estratégia de ocupação e uso dos recursos costeiros, dentro de uma política de gerenciamento costeiro, deve se pautar na definição de unidades geoambientais, com o intuito de reduzir os impactos antrópicos e os efeitos dos riscos naturais, representados principalmente pela inundação e pela erosão costeira. A compreensão dos aspectos fisiográficos, da distribuição das unidades morfológicas e dos processos geomorfológicos, que determinam a dinâmica da zona costeira, permite reunir dados científicos e tecnológicos indispensáveis ao monitoramento e manejo, à conservação dos recursos, além da implementação de novas relações homem - meio ambiente (Souza Filho 2001).

A partir do mapeamento geológico-geomorfológico, da caracterização do meio físico e do diagnóstico ambiental, é possível elaborar o mapa geoambiental, que consiste numa representação da compartimentação da zona costeira em diversas áreas, de acordo com a vocação aos diferentes tipo de ocupação e uso, segundo suas características naturais, bem como a distribuição espacial das área degradadas. As unidades geoambientais são, então, as áreas apropriadas ou não para uso ou ocupação do solo (Mendes *et al.* 1997).

Assim, com a integração dos dados fisiográficos, com a análise dos riscos e dos níveis de interferência antrópica, observados na zona costeira de Soure e Salvaterra, propõe-se a seguinte classificação (Figura 50):

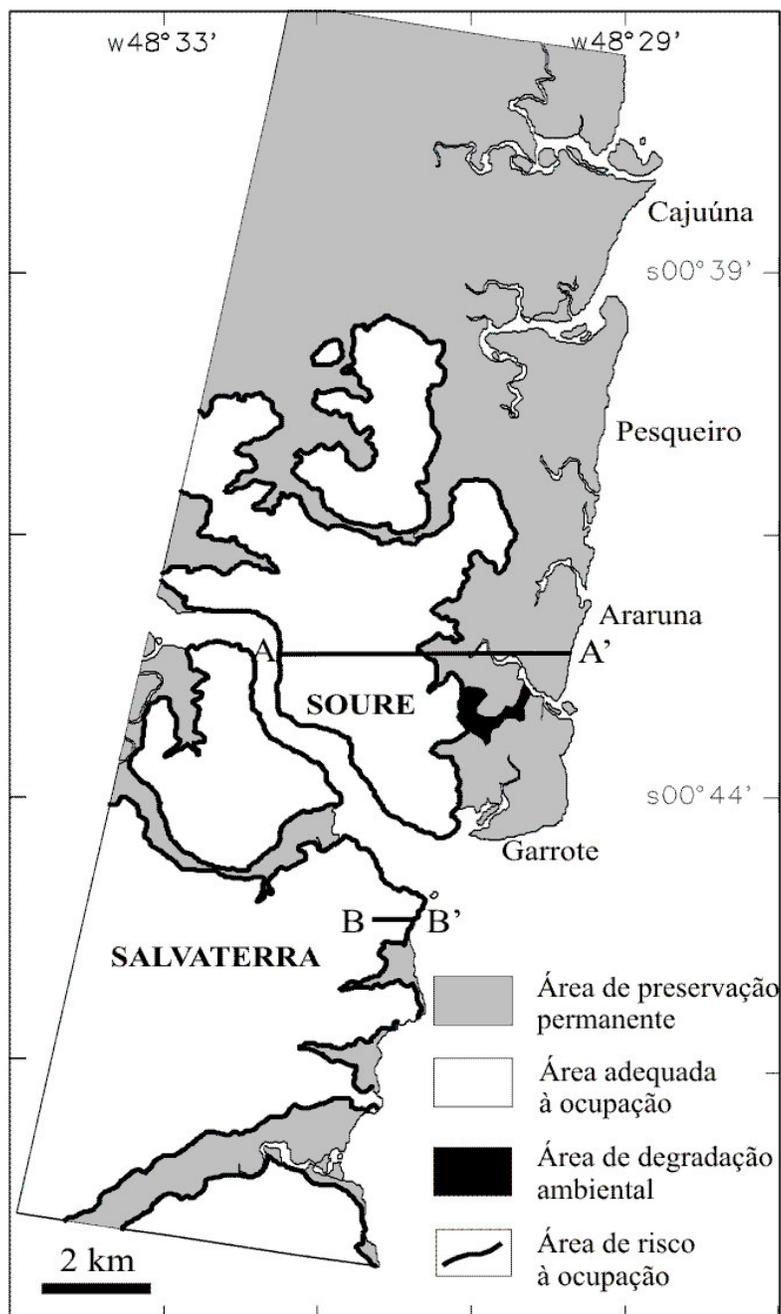


Figura 50 – Mapa geoambiental da zona costeira de Soure e Salvaterra. Observar transectos topográficos A-A' e B-B'.

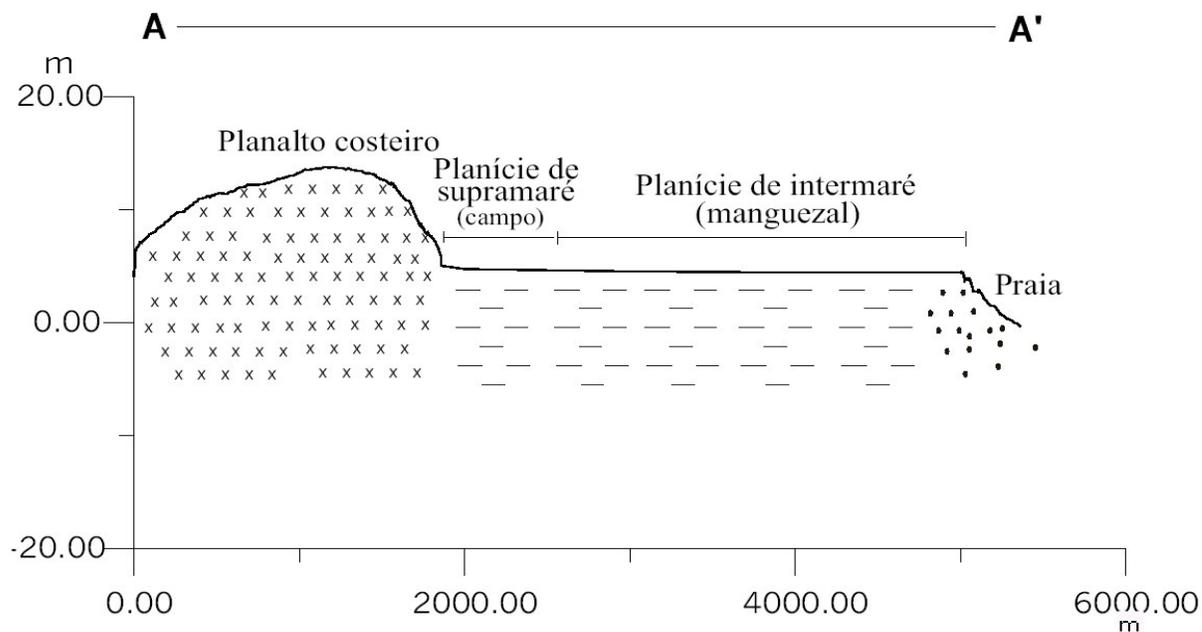


Figura 51 – Perfil morfológico mostrando as diferentes unidades ao longo do transecto A-A' (Soure).

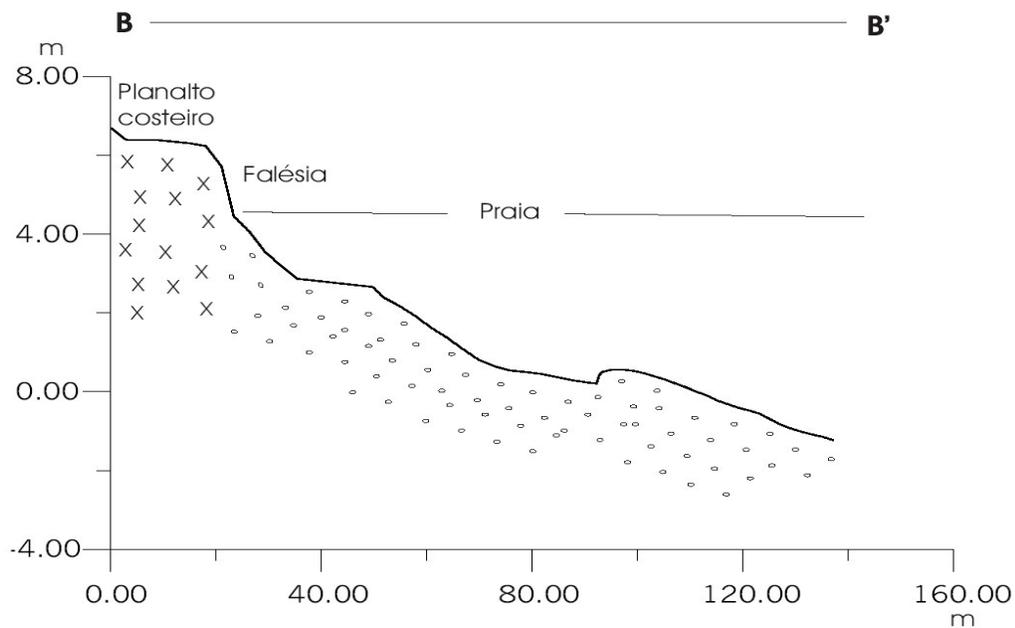


Figura 52 - Perfil morfológico mostrando as diferentes unidades ao longo do transecto B-B' (Salvaterra).

### 8.3.1 Áreas de preservação permanente

Segundo a Resolução n.º 004/85, do Conselho Nacional do Meio Ambiente -CONAMA, são consideradas Reservas Ecológicas, isto é, áreas de preservação permanente públicas ou particulares, todas as áreas de domínio flúvio-marinho, tais como restingas, manguezais, dunas e praias, com suas coberturas florestais e demais formas de vegetação natural (SEMAM/CONAMA/IBAMA 1992; Pinto 1996).

Na área de estudo, são representadas pelas unidades que compõem a planície costeira (planícies de maré recobertas por manguezais e campos alagáveis), cordões arenosos antigos e cordões arenosos de dunas e praias atuais), abrangendo 377 km<sup>2</sup>. Constituem ecossistemas em equilíbrio dinâmico, e devem ser destinados à preservação, conservação, pesquisa científica, educação ambiental, manejo auto-sustentado, ecoturismo, pesca artesanal e ocupação humana intermitente ou de baixo efeito impactante (Filet 1994). Essas áreas constituem *habitats* produtivos, além de funcionarem como anteparos da zona costeira. São áreas sujeitas à erosão e à sedimentação geradas por ondas, correntes de maré e ventos, à inundação pelas marés ou pelas chuvas e à mobilidade sedimentar, características que conferem um caráter instável e inadequado à expansão urbana ou à instalação de obras de engenharia.

### 8.3.2 Áreas adequadas à ocupação

São áreas que apresentam a maior parte dos ecossistemas significativamente modificada, em função da estruturação e consolidação de assentamentos humanos, com rede viária definida e pavimentada, serviços e comércios desenvolvidos. As metas ambientais devem incluir a Avaliação de Impacto Ambiental, a recuperação do patrimônio paisagístico, o saneamento ambiental, a reintrodução de componentes ambientais compatíveis e a recuperação da qualidade de vida urbana (Filet 1994).

Na área de estudo, constituem as superfícies de baixos platôs (planalto costeiro), com cotas topográficas acima de 5 m, sendo terrenos livres de inundações e da ação das ondas e correntes, abrangendo cerca de 402 km<sup>2</sup>. São áreas próprias à expansão urbana de Soure e Salvaterra.

### **8.3.3 Áreas de risco à ocupação**

São representadas pelas áreas marginais às falésias ativas e inativas, por serem setores sujeitos à erosão e a desmoronamentos, perfazendo 15 km de extensão. Boa parte desses setores já está ocupada, sendo necessário o desenvolvimento de estudos interdisciplinares para definir um plano de urbanização condizente com as limitações do meio físico, a implantação de uma zona de distância mínima de recuo da ocupação, a recuperação da cobertura vegetal e o saneamento ambiental, a fim de se reduzir os danos ambientais e geotécnicos.

### **8.3.4 Áreas de degradação ambiental**

Os ecossistemas encontram-se totalmente modificados e degradados. São áreas de manguezal, atravessadas por estradas e desmatadas para a implantação de pastagem, abrangendo aproximadamente 1,23 km<sup>2</sup>. A alteração da cobertura vegetal expõe o substrato lamoso à ação do vento, da radiação solar e das chuvas, submetendo-o a processos erosivos, a transformações pedogênicas, geoquímicas e hídricas, além do desaparecimento da fauna original.

Incluem-se, também, nesta classificação, as áreas de restinga e pós-praia ocupadas, onde o desmatamento e o lançamento de resíduos alteram a dinâmica sedimentar e introduzem elementos poluentes nas águas e no solo. Torna-se urgente um trabalho de recuperação dos componentes ambientais, de manejo sustentado e a regulamentação da ocupação e uso da terra.

## **8.4 REQUISITOS PARA O PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DA ZONA COSTEIRA**

A implementação do planejamento e do gerenciamento costeiro, em Soure e Salvaterra, requer o trabalho conjunto de instituições de pesquisa, como a UFPA e o Museu Goeldi, em parceria com órgãos gestores (prefeituras, SECTAM, IBAMA), através de programas ou projetos

de estudos costeiros e desenvolvimento sustentável, incluindo a participação de profissionais de várias áreas do conhecimento científico, que deverá:

- (1) expandir as pesquisas sobre a dinâmica costeira atual, com coleta sistemática de dados sobre ondas, correntes de maré, ventos, transporte sedimentar e taxas de erosão e sedimentação;
- (2) mapeamento das áreas de manguezais, identificação de suas diferentes sub-unidades, levantamento dos seus recursos e das formas de uso possível;
- (3) monitoramento das praias, dunas e restingas, incluindo estudos morfodinâmicos, sedimentológicos e levantamento da cobertura vegetal;
- (4) criar banco de dados integrado;
- (5) com a integração dos dados geológicos, geomorfológicos e bióticos, estabelecer critérios de ocupação e uso racional, definir as faixas de proteção da linha de costa com base na legislação ambiental, as áreas das unidades de conservação e formas de manejo;
- (6) juntamente com as prefeituras locais e lideranças comunitárias, criar sistemas de coleta de resíduos sólidos e destino de águas residuárias, além de estratégias para a melhoria da qualidade de vida, educação ambiental e ecoturismo.

Nos municípios de Soure e Salvaterra, o turismo e a expansão urbana tendem a crescer, novas áreas são requeridas para a criação de gado, estabelecimentos comerciais e exploração de recursos costeiros. A implantação de medidas voltadas para os usos ambientalmente e legalmente corretos, dentro de uma proposta de gerenciamento costeiro, torna-se premente para que os danos ambientais, observados hoje em Ajuruteua e Salinópolis, sejam evitados.

## 8.5 CONCLUSÕES

A vulnerabilidade da zona costeira de Soure e Salvaterra aos riscos naturais está ligada ao predomínio de processos erosivos que, nos últimos 15 anos, apresentaram taxas crescentes, enquanto que as mudanças ambientais decorrentes da ocupação antrópica, como o desmatamento, a abertura de estradas, a substituição dos mangues por pastagens, a desestabilização das margens das falésias e as alterações na deposição sedimentar e na circulação hídrica, são de caráter

pontual, ocorrem em trechos restritos da costa e não representam, por enquanto, uma ameaça à dinâmica geral dos sistemas costeiros. No entanto, a tendência de crescimento do turismo, de busca de novas áreas para a recreação e para atividades comerciais, extrativistas e criatórias exige a implantação de um planejamento territorial. Este capítulo reflete a preocupação com a manutenção do equilíbrio natural da referida costa e com a conservação dos seus recursos.

O mapeamento temático é indispensável como síntese da estrutura espacial da zona costeira e como representação da atual condição ambiental dos manguezais, restingas e praias, bem como do ordenamento territorial (zoneamento). Por se tratarem de áreas pouco antropizadas, o ordenamento geoambiental é conveniente e oportuno por apresentar recomendações de uso e ocupação futura, baseadas na vocação natural dessas áreas.

A implementação do planejamento e do gerenciamento costeiro não prescinde dos estudos de vulnerabilidade das áreas costeiras, diante dos processos naturais e da degradação ambiental diante dos processos produzidos pelo homem, da articulação entre os três níveis de governo (municipal, estadual e federal), da atuação das organizações não-governamentais e da participação da sociedade em geral, incluindo a comunidade científica.

Nossa contribuição parte da avaliação dos riscos ambientais, da proposição de um zoneamento com base no conceito de unidades geoambientais e da formação de um arcabouço de informações básicas para um plano de manejo, educação ambiental e ocupação, dentro dos critérios de desenvolvimento sustentável.

A costa de Soure e Salvaterra destaca-se pela beleza natural e por cenários ainda preservados, com diferenças fisiográficas peculiares, sustentadas por processos naturais muito pouco compreendidos. Necessária se faz a ação conjunta entre as instituições de pesquisa, produtoras do conhecimento científico e tecnológico, o poder público responsável pela fiscalização e execução das leis, as comunidades locais, os usuários das praias, os fazendeiros, os empresários e organizações não-governamentais em torno de uma política de gerenciamento costeiro, para que Soure e Salvaterra não venham a sofrer os mesmos problemas existentes em outros setores da costa paraense.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 9.1 HISTÓRIA GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA MARGEM LESTE DA ILHA DE MARAJÓ

A história geológica e geomorfológica da margem leste da Ilha de Marajó foi determinada por fatores neotectônicos e por flutuações relativas do nível do mar, que atuaram em escala regional durante o Cenozóico Superior, resultando numa morfologia estuarina e em seqüências sedimentares constituídas por depósitos fluviais, estuarinos e marinhos.

As estruturas neotectônicas regionais, representadas principalmente por sistemas de falhas transcorrentes NE-SW e de falhas normais NW-SE, controlaram o preenchimento sedimentar da Bacia de Marajó, a direção das desembocaduras do rio Amazonas, rio Pará e Baía de Marajó, a distribuição das unidades de relevo e o traçado retilíneo ou anguloso da costa.

Os processos neotectônicos, as flutuações relativas do nível do mar, no Cenozóico Superior, e a dinâmica costeira atual respondem pela divisão em dois tipos de costas, fisiograficamente distintos, na margem leste da Ilha de Marajó: a costa alta de Salvaterra e a costa baixa de Soure.

Em Soure, a sedimentação holocênica originou uma planície costeira, disposta longitudinalmente, caracterizando uma costa baixa, com depósitos lamosos e arenosos, cuja borda de contornos retilíneos demonstra um possível controle da sedimentação por falhas normais, ligadas aos sistemas regionais NW-SE.

Em Salvaterra, a proximidade do planalto, constituído de sedimentos terciários e quaternários, caracteriza uma costa alta. As falésias, que marcam a linha de costa, apresentam contornos angulosos como resultado da interação de falhas normais e transcorrentes, ligadas aos sistemas regionais NW-SE e NE-SW, à semelhança das costas de Outeiro e Mosqueiro.

A compartimentação do relevo costeiro apresenta duas principais unidades: o Planalto e a Planície Costeira. O Planalto Costeiro faz parte da unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado da Amazônia, constituído por depósitos terciários da Formação Barreiras e pelos sedimentos quaternários Pós-Barreiras. Caracteriza-se por um relevo aplainado com suaves ondulações,

representando uma superfície de baixos platôs cujas cotas topográficas variam entre 5 e 15 m. A cobertura vegetal é formada por matas secundárias e campos.

A Planície Costeira é formada por sedimentos lamosos e arenosos holocênicos, apresentando cobertura vegetal de mangues, campos alagáveis e restingas. Em Soure, orienta-se no sentido N-S, alargando-se para norte. Em Salvaterra, ocupa o interior de paleovales, orientados no sentido W-E e NE-SW, ou segue a orientação das falésias. Na planície costeira, são identificadas as subunidades: terraços arenosos, planície lamosa de supramaré coberta por campos inundáveis, planície lamosa de intermaré coberta por manguezais, cordões arenosos antigos (*cheniers*), cordões arenosos de dunas com vegetação de restinga e praias atuais, canais de maré e deltas de maré vazante.

A sedimentação holocênica da planície costeira de Soure foi controlada por processos flúvio-marinhos, durante fase progradacional da linha de costa, com desenvolvimento de ambientes de planície de maré e manguezal, sucedida por fase retrogradacional com migração de cordões de praias e dunas sobre depósitos de manguezal.

A análise estratigráfica de seis testemunhos a vibração permitiu distinguir cinco associações de *facies*: areia e lama de planície de maré, lama de manguezal, areia de barra de canal de maré, areia de praia e areia de duna. As associações de planície de maré, manguezal e barra de canal são constituídas de depósitos heterolíticos, com estratificações *lenticular*, *wave* e *flaser*, por lamas cinza escura a negra *stripe lamination* e lamas orgânicas. As associações de praia e duna são formadas por *facies* de areias finas com estratificação plano-paralela a inclinada.

O modelo de sedimentação da planície costeira de Soure é representado por duas sucessões estratigráficas. A Sucessão Progradacional, constituída pelas associações de planície de maré, barra de canal e manguezal, é correlacionável à Sequência Regressiva ou de Mar Estável (S2), do modelo de sedimentação proposto para as planícies costeiras de Salinópolis, Bragança e São João de Pirabas. A Sucessão Retrogradacional constitui-se pelas associações de praia e de duna, e corresponde à Sucessão Transgressiva Atual (S3) do modelo deposicional acima citado.

## 9.2 DINÂMICA COSTEIRA ANALISADA A PARTIR DE IMAGENS DE SENSORES REMOTOS

A dinâmica costeira de médio período (1986 a 2001) é representada por mudanças morfológicas, desencadeadas pela ação interativa dos processos de maré, ondas e ventos, que determinam a formação e o deslocamento de bancos arenosos e lamosos, a migração de desembocaduras de canais de maré, a sobreposição de depósitos lamosos de manguezais por areias praias, o desmoronamento de falésias, caracterizando áreas de retrogradação costeira, crescimento de mangues jovens em setores protegidos ou em progradação lamosa e desenvolvimento de praia-barreira.

O estudo multitemporal, com emprego de técnicas de sensoriamento remoto e utilizando como indicador de mudanças costeiras a variação da posição da linha de costa, mostrou que a costa de Soure e Salvaterra esteve submetida, nos últimos 15 anos, ao predomínio de processos erosivos (retrogradacionais), controlados pelo recuo da linha de costa. O total de áreas erodidas variou de 0,89 km<sup>2</sup> (1986/1995), para 0,38 km<sup>2</sup> (1995/1999) e 0,75 km<sup>2</sup> (1999/2001), enquanto que os setores em progradação totalizaram 0,21 km<sup>2</sup> (1986/1995), 0,32 km<sup>2</sup> (1995/1999) e 0,08 km<sup>2</sup> (1999/2001).

A utilização dos dados de sensoriamento remoto foi fundamental para: (1) a compreensão dos aspectos fisiográficos, (2) a identificação da distribuição e das características das unidades de relevo, (3) o monitoramento da variação da linha de costa, a mensuração e a quantificação das áreas, e (4) o mapeamento temático como síntese da estrutura espacial e da dinâmica das formas. Associado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) do programa SPRING, as técnicas de sensoriamento remoto mostraram-se como importantes ferramentas de levantamento de informações, de análise espacial e de síntese.

## 9.3 MUDANÇAS COSTEIRAS SAZONAIS

As mudanças costeiras de curto período são representadas pela variação dos parâmetros morfológicos (largura, gradiente, forma, posição da LMA e padrão de variabilidade), granulométricos (média e seleção) e de volume sedimentar das praias de Soure e Salvaterra, entre

os períodos chuvoso e seco de 2001. A variabilidade morfológica e sedimentar, ao longo dos transectos topográficos praias, é controlada pela fisiografia da zona costeira e pelas características sazonais (intensidade das chuvas, das inundações e da energia das correntes de maré, ventos e ondas).

Podem-se distinguir dois tipos de praias. As praias de Soure (Pesqueiro, Araruna e Garrote) caracterizam-se pela forma retilínea a convexa, com extensões entre 1,7 a 4,5 km e seccionadas por canais de maré. As zonas de estirâncio apresentam larguras entre 183 a 423 m, gradientes de 1:52 e 1:95 e sistemas de barras e calhas desenvolvidos. As areias são finas a muito finas (2,37 a 3,1  $\phi$ ), bem a muito bem selecionadas ( $\sigma = 0,24$  a 0,4).

Em Salvaterra, a praia Grande desenvolve-se a partir do sopé das falésias, apresentando uma forma retilínea a côncava, estendendo-se por 1,2 km. Possui zona de estirâncio com 59 a 85 m de largura e gradientes de 1:6 e 1:23. A proximidade das falésias, o gradiente praias e as arrebentações do tipo mergulhante justificam o predomínio das areias grossas a médias (0,74 a 1,51  $\phi$ ), moderadamente selecionadas ( $\sigma = 0,5$  a 0,98).

A variabilidade morfológica e de volume sedimentar dos perfis praias de Soure é maior do que a dos perfis de Salvaterra. O padrão de mudança morfológica é caracterizado pelo deslocamento paralelo das zonas de estirâncio, indicando o predomínio das correntes de maré e do transporte longitudinal no controle das variações morfológicas sazonais. Em Salvaterra, o padrão de mudança morfológica caracteriza-se pela remoção de sedimentos da parte superior e deposição na parte inferior do perfil, atribuindo-lhe uma forma côncava, sugerindo a preponderância da atuação das ondas no comportamento morfológico dos perfis. Por outro lado, a variação granulométrica é maior em Salvaterra do que em Soure.

Nos perfis de Soure, o período erosivo (período de maior índice pluviométrico e de maiores marés) ocorreu entre fevereiro e abril/2001, resultando na retração da LMA, na redução da largura da zona de pós-praia, formação de escarpas dunares, aumento do gradiente, redução do volume sedimentar, tendência à forma côncava, aumento granulométrico e melhoria do grau de seleção. Durante o período acrecional (período de menor pluviosidade e ventos mais fortes), que se estendeu de julho a novembro/2001, ocorreu extensão da LMA, aumento da largura da zona de pós-praia, suavização dos gradientes, acreção sedimentar, aumento do volume das barras, tendência à convexidade, redução granulométrica e piora do selecionamento dos grãos.

Na praia Grande de Salvaterra, a fase acrecional ocorreu em fevereiro e abril de 2001, quando se registrou extensão da LMA, alargamento da pós-praia, aumento do volume sedimentar, aumento da granulometria e piora da seleção. O período erosivo ocorreu em julho e novembro de 2001, caracterizado pela migração da LMA para porções superiores do perfil, redução do volume sedimentar e tendência à forma côncava, redução da granulometria e piora do grau de seleção.

A variação morfológica e granulométrica alternada das praias de Soure e Salvaterra, entre os meses de erosão e acreção, reflete um comportamento diferenciado diante de processos que atuam em costas fisiograficamente distintas.

#### 9.4 VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA

A vulnerabilidade da zona costeira de Soure e Salvaterra aos riscos naturais está relacionada às mudanças morfológicas induzidas por processos erosivos, que foram crescentes nos últimos 15 anos. A integração dos dados sobre a compartimentação, caracterização morfológica e as mudanças da linha de costa permitiu a proposição de um zoneamento costeiro, baseado na vocação das diferentes áreas aos tipos de uso e ocupação. São classificadas as seguintes unidades geoambientais: áreas de preservação permanente, áreas adequadas à ocupação, áreas de risco à ocupação e áreas de degradação ambiental.

A costa de Soure e Salvaterra destaca-se pela heterogeneidade das formas e por cenários ainda preservados, refletindo a interação de processos complexos, dinâmicos e pouco compreendidos. Isso requer a implantação de uma política de gerenciamento costeiro, que conjugue os vários setores e atores sociais, evitando que atividades predatórias e ocupações inadequadas às limitações do meio físico ou em desacordo com a legislação ambiental venham a se efetivar, produzindo quadros de degradação ambiental como os já registrados em outros setores da costa paraense, a exemplo de Bragança e Salinópolis.

## 9.5 RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados da pesquisa defrontou-se com dificuldades decorrentes da carência de informações sobre a Ilha de Marajó, de limitações técnicas e financeiras, bem como do tempo reduzido para o levantamento de determinados dados. Assim, na continuidade das investigações, deve-se:

- Ampliar o estudo multitemporal, utilizando fotografias aéreas de 1966, para se verificar mudanças morfológicas mais abrangentes;
- Aumentar o número de perfis praias e o monitoramento, relacioná-los com dados de regime de ondas, direção e velocidade de correntes e ventos, para produzir uma abordagem morfodinâmica das praias e caracterizar melhor a variação morfológica e granulométrica, temporal e espacial;
- Estender o estudo stratigráfico a partir de novas perfurações, em Soure e Salvaterra, que forneçam dados mais completos das *facies* sedimentares e da sucessão dos ambientes deposicionais, além de datações e análises polínicas, permitindo uma compreensão mais efetiva da evolução holocênica da planície costeira;
- Estudar, junto a entidades interessadas, a profissionais especializados e comunidades locais, formas de manejo e educação ambiental, nas áreas de manguezais e praias, para a complementação de dados ao gerenciamento costeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. 1967. Problemas geomorfológicos da Amazônia Brasileira. In: LENT, H. (ed.). *Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica*. Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Pesquisas. V.1, 35-67 (Geociências).
- AB'SABER, A.N. 2000. Fundamentos da Geomorfologia Costeira do Brasil Atlântico Inter e Subtropical. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 1 (1): 27-43.
- ALVES, M.A.M.S. 2001. *Morfodinâmica e sedimentologia da praia de Ajuruteua – NE do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 107 p. (Dissertação de Mestrado).
- AUGUSTINUS, P.G.E.F. 1989. Cheniers and chenier plains: a general introduction. *Marine Geology*, 90: 219-229.
- BARBOSA, G. V.; RENNÓ, C. V.; FRANCO, E. M. S. 1974. Geomorfologia da Folha SA-22 Belém. In: BRASIL. DNPM. *Folha SA.22 Belém: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, Projeto Radam. p. II/1-II/36. (Levantamento de Recursos Naturais, 5).
- BASTOS, M.N.C. 1984. Levantamento florístico dos campos do Estado do Pará. I – Campo de Joanes (Ilha de Marajó). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 1 (1/2): 67-86 (Botânica).
- BEHLING, H. & COSTA, M.L. 2001. Holocene vegetational and coastal environmental changes from the Lago Crispim record in northeastern Pará State, eastern Amazonia. *Review of Palaeobotany and Palinology*, 114: 145-155.

- BEMERGUY, R. L. 1981. *Estudo sedimentológico dos paleocanais da região do rio Paracauari, Ilha do Marajó – Estado do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 95 p. (Dissertação de Mestrado).
- BEMERGUY, R. L. 1997. *Morfotectônica e evolução paleogeográfica da Região da Calha do Rio Amazonas*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 200 p. (Tese de Doutorado).
- BEMERGUY, R.L.; BORGES, M.S.; COSTA, J.B.S. 1992. Geomorfologia da Região do Salgado, NE do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA , 37., São Paulo. *Resumos...* São Paulo, SBG. v.1, p. 267-269.
- BEMERGUY, R. L., COSTA, J.B.S.; HASUY, Y.; BORGES, M.S. 1995. Tectônica e paleogeografia da calha do rio Amazonas In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., Gramado. *Boletim de resumos expandidos*. Gramado, SBG. p.419-420.
- BERGER, A.R. 1996. The geindicator concept and its application: an introduction. In: BERGER, A.R. & IAMS, W.J. (org.) *Geoinicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, A.A. Balkema. p. 1-14.
- BORGES, M. da S.; COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; FERNANDES, J.M.G.; COSTA, M.L.; HASUI, Y. 1995. Evolução neotectônica da região nordeste do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., Gramado. *Boletim de Resumos Expandidos*. Gramado, SBG. p.421-422.
- CARTER, R.W.G. 1988. *Coastal environments*. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. London, Academic Press. 609 p.
- CICIN-SAIN, B. & KNECHT, R.W. 1998. *Integrated coastal and ocean management*. Concepts and practices. Washington-DC, Island Press. 517 p.

- CLAPPERTON, C. 1993. *Quaternary geology and geomorphology of South America*. Amsterdam, Elsevier. 779 p.
- COLTRINARI, L. 1992. Paleoambientes quaternários na América do Sul: primeira aproximação. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 3., Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, ABEQUA, p.13-42.
- COSTA, J.B.S. 1996. A neotectônica da Amazônia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., Belém. *Bol. res. expandidos e guia de excursões*, Belém, SBG. p. 35-38.
- COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASUY, Y.; BORGES, M. S., FERREIRA JÚNIOR, C.P.R.; BEZERRA, P.E.L.; COSTA, M.L.; FERNANDES, J.M.G. 1996. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos*, 4 (2): 23-44.
- COSTA, J.B.S.; HASUY, Y.; BEMERGUY, R.L.; SOARES JÚNIOR, A.V.; VILLEGAS, J.M.C. 2002. Tectonic and paleogeography of the Marajó Basin, Northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 74 (3): 1-13.
- COSTA, J.B.S.; IGREJA, H.L.S.; BORGES, M.S.; HASUI, Y. 1991. Tectônica Mesozóica-Cenozóica da Região Norte do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3., Rio Claro. *Resumos*. Rio Claro, SBG. p. 108-109.
- DALRYMPLE, R.W. 1992. Tidal depositional systems. In: WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (orgs.). *Facies models. Response to sea level change*. Ontario, Geological Association of Canada. p. 195-219.
- DHN. 2000. *Tábua das Marés*. Marinha do Brasil. Disponível em: <http://www.mar.mil.br>. Acesso em: 10 fev. 2000.

- DHN. 2001. *Tábua das Marés*. Marinha do Brasil. Disponível em: <http://www.mar.mil.br>. Acesso em: 3 fev. 2001; 20 fev. 2001; 13 jun. 2001; 30 ago. 2001; 5 nov. 2001.
- DNPM 1974. *Belém*: Mapa geomorfológico Folha AS.22 (Belém). Escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro, Projeto Radam.
- DUBOIS, R.N. 1989. Seasonal variation of mid-foreshore sediments at a Delaware beach. *Sedimentary Geology*, 61: 37-47.
- EL-ROBRINI, M.H.S. 2001. *Variabilidade morfológica e sedimentar de praias estuarinas, Ilha de Mosqueiro*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 85 p. (Dissertação de Mestrado).
- FAURE, J-F. 2001. Multitemporal analysis of mangrove spatial dynamics in São Caetano de Odivelas, Pará, Brazil. In: PROST, M.T & MENDES, A. C. (org.). *Ecosistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 39-49.
- FERREIRA, D.B. 2001. *Variação sazonal e intra-regional do vento em superfície nos ecossistemas de floresta, manguezal e campo*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 26 p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- FIGUEIREDO JÚNIOR, A.G. 1990. Normas de controle de qualidade para processamento de testemunhos inconsolidados. In: PETROBRÁS. *Projeto Sedimentos de Talude*. Rio de Janeiro, UFF. 27 p. (Contrato PETROBRÁS/UFF n.º 3-570-794-0-90).
- FILET, M. 1994. A experiência do gerenciamento costeiro no Estado de São Paulo In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. *Treinamento operacional das equipes de gerenciamento costeiro dos Estados das Regiões Norte/Nordeste e Sul/Sudeste*. Brasília, p. 63-71.

- FOLK, R.L. & WARD, W.C. 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.
- FORBES, D.L. & LIVERMAN, D.G.E. 1996. Geological indicators in the coastal zone. In: BERGER, A.R. & IAMS, W.J. (org.) *Geoinicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, A.A. Balkema. p. 175-192.
- FRANÇA, C.F. & SOUZA FILHO, P.W.M. 2002. Mudanças morfológicas da zona costeira de Soure, Ilha de Marajó (PA), através de imagens multitemporais de satélite Landsat. In: WORKSHOP ECOLAB, 6., Belém. Belém, 1 CD-ROM (Trabalhos completos).
- FRANZINELLI, E. 1990. Evolution of the geomorphology of the coastal of the state of Pará, Brazil. In: SYMPOSIUM PICG 274, Cayene. *Anais... Cayene*, ORSTOM. p. 203-230.
- FRIEDMAN, G.M. 1962. On sorting, sorting coefficients and grain size distribution of sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology*, 13: 233-252.
- GOWDA, H.H.; RAJ, K.J.; PADMAVATHY, A.S.; MANIKIAN, B. 1995. Multidate satellite data for study of dynamics of coastal landforms of Uttara Kannada, South India. *International Journal of Remote Sensing*, 16 (14): 2539-2553.
- IGREJA, H.L.S.; BORGES, M.S.; ALVES, R.J.; COSTA JÚNIOR, P.S.; COSTA, J.B.S. 1990. Estudos neotectônicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro – Nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal. *Anais ... Natal*, SBG. v. 5, p. 2110-2123.
- JAPIASSU, A. M. S. & GOES FILHO, L. 1974. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico da Folha SA.22 Belém. In: BRASIL. DNPM. *Folha SA-22 Belém: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, Projeto Radam. p. IV/1-IV/93. (Levantamento de Recursos Naturais, 5).

- LIMA, M.I.C.; COELHO, F.A.J.F.; SILVA, G.H.; BEZERRA, P.E.L.; NETO, M.F.; MIRANDA, C.A.; FERREIRA, J.D.A. 1996. Interpretação morfoestrutural da região leste da Ilha de Marajó (PA). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., Belém. *Boletim de Resumos Expandidos*. Belém, SBG. P. 327-330.
- LIMA, K. 2002. *Variação sazonal da precipitação pluviométrica, temperatura do ar e umidade relativa do ar em ecossistemas de manguezal, floresta e pasto no leste da Amazônia, no período de agosto/2000 a dezembro/2001*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 43 p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- LISBOA, P.L.B.; LISBOA, R.C.L.; ROSA, N.A.; SANTOS, M.R. 1993. Padrões de diversidade florística na Reserva Ecológica do Bacurizal, Em Salvaterra, Ilha do Marajó, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, (Botânica) 9 (2): 223-248.
- MARTORANO, L.G.; PEREIRA, L.C.; CÉSAR, E.G.M.; PEREIRA, I.C.G. 1993. *Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (KÖPPEN) e deficiência hídrica (THORNTHWAITE, MATHER)*. Belém, Sudam/Embrapa. 53 p.
- MASSELINK, G. & SHORT, A.D. 1993. The effects of the tide range on beach morphodynamic and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9 (3):785-800.
- McLAREN, P. 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51 (2): 611-624.
- MENDES, A.C.; SILVA, M.S.; FARIA JÚNIOR, L.E.C. 1997. A expansão urbana e seus efeitos danosos ao meio ambiente da ilha do Atalaia – Salinópolis/PA. In: COSTA, M.L. & ANGÉLICA, R.S. (org). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém, FINEP/SBG-NO, p. 359-396.

- MENDES, A.C.; SILVA, M.S.; SANTOS, V.F. 2001. Análise do meio físico para a gestão ambiental das ilhas de Algodal e Atalaia (NE do Pará). In: PROST, M.T. & MENDES, A.C. (orgs.). *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 103-111.
- MENEZES, J.T. & KLEIN, A.H.F., 1997. Variações morfológicas das praias do litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina: resultados preliminares. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA. Itajaí. *Anais...* Itajaí, p. 58-59.
- MORTON, R.A. 1996. Geoindicators os coastal wetlands and shorelines. In: BERGER, A.R. e IAMS, W.J. (org.) *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, A.A. Balkema. p. 207-230.
- NORDSTROM, K.F. 1977. The use of grain size statistics to distinguish high and moderate energy beach environments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 47: 1287-1294.
- NORDSTROM, K.F. 1980. Cyclic and seasonal beach response: a comparison of oceanside and bayside beaches. *Physical Geography* (1-2): 177-196.
- NORDSTROM, K.F. 1992. *Estuarine beaches*. An introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords. London, Elsevier Science Publishers LTD. 225 p.
- NORDSTROM, K.F. & JACKSON, N.L. 1992. Two-dimensional change on sandy beaches in meso-tidal estuaries. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, 36 (4): 465-478.
- NORDSTROM, K.F. & JACKSON, N.L. 1993. Distribution of surface pebbles with changes in wave energy on a sandy estuarine beach. *Journal of Sedimentary Petrology*, 63 (6): 1152-1159.

- OCHSENIUS, C. 1997. The Wisconsinian shelf desert belt and the water table depression in the inlandwaters of South America a global paleohydrological frame. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 6., Curitiba. *Resumos Expandidos*. Curitiba, ABEQUA. p. 467-472.
- PILKEY, O.H. 1991. Coastal erosion. *Episodes*, 14 : 46-51.
- PINTO, W.D. 1996. *Legislação Federal do Meio Ambiente*. Brasília, IBAMA, vol. II, p. 1098-1108.
- PROST, M.T.; MENDES, A.C.; FAURE, J-F.; BERREDO, J.F.; SALES, M.E.C.; FURTADO, L.G.; SILVA, M.G.S.; SILVA, C.A.; NASCIMENTO, I.; GORAYEB, I.; SECCO, M.F.V.; LUZ, L.M. 2001. Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas) In: PROST, M.T. & MENDES, A. C. (org.). *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 75-87.
- REINECK, H-E. & SINGH, I.B. 1980. *Depositional Sedimentary Environments*. 2. ed. New York, Springer-Verlag. 543 p.
- REINSON, G.E. 1992. Transgressive barrier island and estuarine systems. In: WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (orgs.). *Facies models. Response to sea level change*. Ontario, Geological Association of Canada. p. 179-194.
- REIS, M.C. & MENDES, A.C. 2001. Análise crítica do plano de urbanização da orla do Maçarico (Salinópolis). *Traços*, 4 (7): 17-21.
- ROSSETTI, D.F. 2001. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences*, 14: 77-89.

- ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, (Ciências da Terra) 1 (1): 25-71.
- SAHU, B.K. 1964. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34 (1): 73-83.
- SANTOS, V.F. 1996. *Estratigrafia holocênica e morfodinâmica atual da Planície Costeira da Ilha de Algodual e Marudá*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 128 p. (Dissertação de Mestrado).
- SANTOS, V.F. 2000. Dinâmica de formação de cristas praias na planície costeira da ilha de Algodual – Nordeste do Pará, Brasil. In: WORKSHOP ECOLAB, 5, Macapá. *Boletim de resumos*, Macapá, p. 129-133.
- SCHALLER, H. VASCONCELOS, D.N.; CASTRO, J.C. 1971. Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo. *Anais...* São Paulo, SBG. v.3, p. 189-202.
- SEMAM/CONAMA/IBAMA, 1992. *Resoluções CONAMA 1984 a 1991*. 4. ed. ver. aum. Brasília, IBAMA. 245 p.
- SENNA, C. 1993. Caracterização geomorfológica da APA Algodual-Maiandeuá. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO QUATERNÁRIO DA AMAZÔNIA, Manaus. *Resumos ...* Manaus, ABEQUA. p. 91-94.
- SENNA, C. & ABSY, M.L. 2002. Registros palinológicos de manguezais do Quaternário da costa norte da América do Sul. In: WORKSHOP ECOLAB, 6., Belém. 1 CD-ROM (Trabalhos completos).

- SILVA, C.A. 1998. *Análise morfoestratigráfica do estuário do rio Marapanim – NE do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 133 p. (Tese de Mestrado).
- SILVA, M.G.L. 2001. *Avaliação multitemporal da dinâmica costeira da praia do Pescador, Bragança (norte do Brasil)*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 113 p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, M.S. 1996. *Morfoestratigrafia e evolução holocênica da Planície Costeira de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 145 p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA JÚNIOR, O.G. 1998. *Morfoestratigrafia da planície costeira de São João de Pirabas (porção NW) – NE do Estado do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 87 p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA JÚNIOR, O.G., & EL-ROBRINI, M. 2001. Morfoestratigrafia do noroeste da planície costeira de São João de Pirabas (Nordeste do Pará). *Revista Brasileira de Oceanografia*, 49 (1/2) : 99-114.
- SOARES, P.C. & FIORI, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*, 16 (32): 71-104.
- SOARES JÚNIOR, A.V. 2002. *Paleogeografia e evolução da paisagem do nordeste do Estado do Pará e noroeste do Estado do Maranhão (Cretáceo ao Holoceno)*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 126 p. (Dissertação de Mestrado).
- SOUZA, C.R.G. & SUGUIO, K. 1996. Coastal erosion and beach morfordynamics along the State of São Paulo (SE Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68 (3): 405-424.

- SOUZA FILHO, P.W.M. 1995. *A planície costeira bragantina (NE do Pará): influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia costeira durante o Holoceno*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 122 p. (Dissertação de Mestrado).
- SOUZA FILHO, P.W.M. 2000a. Mangroves as geological indicator of coastal changes in Bragança, Pará, Northern Brazil. In: MANGROVE 2000 CONFERENCE, Recife. *Full Papers*, Recife, 1 CD-ROM.
- SOUZA FILHO, P.W.M. 2000b. *Avaliação e aplicação de dados de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, Bragança, Norte do Brasil*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 236 p. (Tese de Doutorado).
- SOUZA FILHO, P.W.M. 2001. Impactos naturais e antrópicos na Planície costeira de Bragança (NE do Pará) In: PROST, M.T. & MENDES, A.C. (orgs.). *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 132-144.
- SOUZA FILHO, P.W.M. & EL-ROBRINI, M. 1996. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da Planície Costeira Bragantina, nordeste do Pará, Brasil. *Geonomos*, 4 (2): 1-16.
- SOUZA FILHO, P.W.M. & EL-ROBRINI, M. 1998. As variações de nível relativo do mar e a estratigrafia de seqüências da planície costeira bragantina, nordeste do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 10: 45-78.
- SOUZA FILHO, P.W.M. & PARADELLA, W.R. 2002. Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and Radarsat-1 data. *Wetlands Ecology and Management*. 10: 123-132.

- SOUZA FILHO, P.W.M. & PARADELLA, W.R. 2003. Use of synthetic aperture radar images for recognition of coastal geomorphological features, land-use assessment and shoreline changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (no prelo).
- SOUZA FILHO, P.W.M.; TOZZI, H.A.M.; EL-ROBRINI, M. 2002. Geomorphology, land-use and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal sandy beach, northern Brazil. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 35 (no prelo).
- SUGUIO, K. 1973. *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda. 317 p.
- TEIXEIRA, J.V.B. & COSTA, L.T. 1992. *Estudo integrado da região de Soure-Salvaterra (Marajó)*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 153 p. (Estágio de Campo III).
- VILLEGAS, J.M. 1994. *Geologia estrutural da Bacia de Marajó*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 119 p. (Dissertação de Mestrado).
- VITAL, H. 1988. *Estudo do geossistema do Lago Arari*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 106 p. (Dissertação de Mestrado).
- VITAL, H. 1996. *Sedimentology of the lowermost Amazon (Rio Xingu-Macapá) and the "Estreitos de Breves"- Brazil*. Kiel: Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität. 189 p. (Tese de Doutorado).
- WRIGHT, L. D. & SHORT, A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.
- WRIGHT, L.D.; NIELSEN, P.; SHORT, A.D.; GREEN, M.O. 1982. Morphodynamics of a macrotidal beach. *Marine Geology*, 50: 97-128.

YOUNG, R.S.; BUSH, D.M.; PILKEY, O.H. 1996. Evaluating shoreline change and associated risk from coastal hazards: na inexpensive qualitative approach. In: BERGER, A.R. & IAMS, W.J. (org.). *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, A.A.Balkema, p. 193-206.