

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

Josué Pereira da Silva

**ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS, HIDRODINÂMICOS,
BATIMÉTRICOS E DA QUALIDADE DA ÁGUA VISANDO A
EVOLUÇÃO E OS ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS
DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO – PE**

Tese de Doutorado

2008

Orientadora: Profa. Dra. Lúcia M. Mafra Valença

Co-orientador: Prof. Dr. João Aduino de Souza Neto

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

JOSUÉ PEREIRA DA SILVA

Geógrafo, Universidade Federal de Pernambuco, 1999

Mestre, Universidade Federal de Pernambuco, 2003

Licenciado em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2005

**ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS, HIDRODINÂMICOS,
BATIMÉTRICOS E DA QUALIDADE DA ÁGUA VISANDO A
EVOLUÇÃO E OS ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS
DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO – PE**

Tese que apresentou ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pela Profa. Dra. Lúcia Maria Mafra Valença, em preenchimento parcial para obter o grau de Doutor em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental, defendida e aprovada em 15/04/2008.

RECIFE – PE

2008

S586e

Silva, Josué Pereira da

Estudos sedimentológicos, hidrodinâmicos, batimétricos e da qualidade da água visando a evolução e os aspectos ambientais associados do Estuário do Rio Formoso - PE / Josué Pereira da Silva. – Recife: O Autor, 2008.

xi, 146 f.; il., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2008.

Inclui Referências Bibliográficas e Anexos.

1. Geociências. 2. Estuário do Rio Formoso. 3. Sedimentologia. 4. Geofísica Estuarina. 5. Morfodinâmica. 6. Qualidade da Água. 7. Meio Ambiente. I. Título.

UFPE

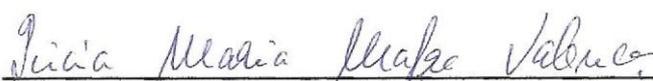
551 CDD (22. ed.)

BCTG/2009-208

ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS, HIDRODINÂMICOS,
BATIMÉTRICOS E DA QUALIDADE DA ÁGUA VISANDO A
EVOLUÇÃO E OS ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS
DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO – PE

JOSUÉ PEREIRA DA SILVA

Aprovado:

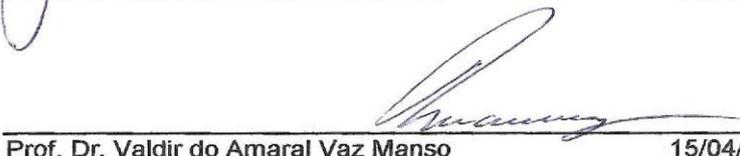

Prof. Dra. Lúcia Maria Mafra Valeção

15/04/2008



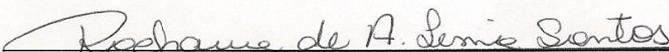
Prof. Dr. João Adauto de Souza Neto

15/04/2008



Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso

15/04/2008



Prof. Dra. Rochana Campos de A. Lima Santos

15/04/2008

Prof. Dra. Núbia Chaves Guerra

15/04/2008

Aos meus filhos, Júlia Vitória e Joel Xavier,

O nosso tempo, pouco convivido, esta aqui: para o benefício da Sociedade.

"A natureza criou o tapete sem fim que recobre a superfície da terra. Dentro da pelagem desse tapete vivem todos os animais, respeitadamente. Nenhum o estraga, nenhum o róí, exceto o homem."

Monteiro Lobato, 1946. Mundo da Lua e Miscelânea. Brasiliense.

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
INDICE DE TABELAS	VIII
INDICE DE QUADROS	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. – Hipótese e objetivos	2
1.2 – Relevância e Justificativa	2
1.3 – Trabalhos Anteriores na Área de Estudo	3
2 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA	5
2.1 – Localização da Área de Estudo	5
2.2 – Síntese da Geologia Geral	5
2.3 – Geomorfologia	11
2.4 – Clima	14
2.5 – Hidrografia	15
2.6 – Regime de ondas	16
2.7 – Fauna e Microfauna	17
2.8 – População	18
3 – SISTEMA ESTUARINO	22
3.1 – Fundamentação Teórica	22
3.2 – Classificações dos estuários	23
3.2.1 – Classificação Segundo a Hidrodinâmica	24
3.2.2 – Classificação Segundo a Salinidade e Estratigrafia	27
3.2.3 – Classificação Segundo a Geomorfologia	30
3.3 – Classificação do Estuário do Rio Formoso	33

4 – ESTUDOS DA GEOFÍSICA ESTUARINA – BATIMETRIA E IMAGEAMENTO	34
4.1 – Introdução	34
4.2 – Batimetria por Ecossonda	34
4.2.1 – Materiais e Métodos	34
4.2.2 – Resultados e Discussões	38
4.2.3 – Perfis Batimétricos	39
4.2.3.1 – Perfis Batimétricos Transversais	42
4.2.3.2 – Perfis Batimétricos Longitudinais	50
4.3 – Identificação das Formas de Leito por Sonar e Varredura Lateral	53
4.3.1 – Materiais e Métodos	54
4.4 – Resultados e Discussões	56
4.5 – Conclusões Parciais dos Estudos da Geofísica Estuarina – Batimetria e Imageamento	61
5 – ESTUDO SEDIMENTOLÓGICO	63
5.1 Materiais e Métodos	63
5.2 – Resultados e Discussões	65
5.2.1 – Distribuição Granulométrica	65
5.2.2 – Fração Areia	65
5.2.3 – Fração Cascalho	68
5.2.4 – Fração Lama (silte+argila)	68
5.2.5 – Distribuição Faciológica	70
5.2.6 – Parâmetros Estatísticos	73
5.2.6.1 – Mediana	73
5.2.6.2 – Grau de Assimetria	73
5.2.6.3 – Curtose	77
5.2.6.4 – Desvio Padrão	80
5.3 – Distribuição Granulométrica	83
5.4 – Conclusões Parciais do Estudo Sediementológico	85
6 – MORFOLOGIA PRAIAL	87
6.1 – Introdução	87
6.2 – Materiais e Métodos	89
6.3 – Resultados e Discussões	91
6.4 – Conclusões Parciais da Morfodinâmica Praial	108

7 – QUALIDADE DA ÁGUA DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO	111
7.1 – Introdução	111
7.2 – Classificação das Águas Estuarinas	111
7.3 – Parâmetros Seleccionados para Avaliação da Qualidade da Água	112
7.4 – Materiais e Métodos	112
7.5 – Resultados e Discussões	115
7.5.1 – Análises Laboratoriais dos Parâmetros Bio-Químicos e Físico-Químicos	115
7.5.2 – Análises dos Parâmetros Físico-Químicos <i>in situ</i>	119
7.6 – Considerações sobre a Balneabilidade e os Padrões de Qualidade da Água	121
7.6.1. – Classe 1 das Águas Salobras Segundo as Resoluções do CONAMA	123
7.6.2 – Classe 2 das Águas Salobras Segundo as Resoluções do CONAMA	123
7.6.3 – Classe 3 das Águas Salobras Segundo as Resoluções do CONAMA	124
7.6.4 – Águas Impróprias Segundo as Resoluções do CONAMA	124
7.7 – Evolução Temporal (ABR/2005 e FEV/2006) da Físico-Química da Água	125
7.8 – Conclusões Parciais sobre a Qualidade das Águas do Sistema Estuarino do Rio Formoso	125
8 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
AGRADECIMENTOS	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
ANEXOS	
Mapa das Microbacias e Sistema de Drenagem do Estuário do Rio Formoso	138
Tabela 1 – Classificação pela Média (ϕ) e Textural das Amostras Coletadas	139
Tabela 2 – Proporção das Frações e Classificação segundo Folk & Ward	143

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Distribuição da população por situação de domicílio – 2007	18
Tabela 2.2 – Composição Setorial do PIB, segundo as principais econômicas–2007	19
Tabela 2.3 – Rio Formoso: Domicílios por forma de abastecimento d'água	19
Tabela 2.4 – Sirinhaém: Domicílios por forma de abastecimento d'água	20
Tabela 2.5 – Tamandaré: Domicílios por forma de abastecimento d'água,	20

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Divisão do Estuário segundo a Salinidade	28
Quadro 2 – Identificação dos Pontos de Imageamento	56
Quadro 3 – Relação dos Parâmetros Bioquímicos e Físico-Químicos	118
Quadro 4 – Relação dos Parâmetros Físico-Químicos das águas	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 2.1 – Mapa de localização da área de estudo – Estuário do Rio Formoso	7
Figura. 2.2 – Mapa Geológico	8
Figura. 2.3 – Climograma com as médias históricas pluviométricas	15
Figura. 2.4 – Pirâmides etárias	21
Figura 3.1 – Classificação evolutiva dos principais sistemas sedimentares costeiros	24
Figura. 3.2 – Estuário dominado por ondas.	26
Figura. 3.3 – Estuário dominado por marés.	26
Figura 3.4 – Morfologia geral de um estuário	27
Figura 3.5 – :Estuário <i>Milford Sound</i> (Nova Zelândia)	31
Figura 3.6 – Loch Etive (Escócia)	31
Figura 3.7 – Estuário-lagunar de Cananéia-Iguape, Brasil.	31
Figura 3.8 – Estuário Vellar na Índia.	32
Figura 3.9 – Baía de São Francisco – EUA.	32
Figura 3.10 – Vista da ria de Bilbao, na Espanha	33
Figura 4.1 – Mapa com a localização das estações linigráficas e da rota batimétrica	36
Figura 4.2 – Curvas de maré entre o Porto de SUAPE e a desembocadura do estuário,	37
Figura 4.3 – Gráfico da prisma de maré.	37
Figura 4.4 –: Mapa Batimétrico do estuário do rio Formoso	40
Figura 4.5 –Modelo Digital Batimétrico do Estuário do Rio Formoso.	41
Figura 4.6 – Mapa de localização dos perfis batimétricos	43
Figura 4.7 – Perfis batimétricos no Rio dos Passos (perfis de 1 ao 7).	45
Figura 4.8 – Perfis batimétricos do Rio dos Passos (alternados perfis 8, 11 e 13)	46
Figura 4.9 – Perfis batimétricos do Rio dos Passos (perfis 15, 16, e 18).	47
Figura 4.10 – Perfil batimétrico 35 do setor médio do Estuário do Rio Formoso.	40
Figura 4.11 – Perfil batimétrico 39 do setor médio do Estuário do Rio Formoso.	48
Figura 4. 12 – Perfil batimétrico 43 do setor médio do Estuário do Rio Formoso.	49
Figura 4.13 – Perfil batimétrico 46 do setor médio do Estuário do Rio Formoso.	49
Figura 4.14 – Perfil batimétrico do setor inferior do Estuário do Rio Formoso.	50
Figura 4.15 – Perfil batimétrico do setor inferior do Estuário do Rio Formoso.	50
Figura 4.16 – Perfis batimétricos Longitudinais	52
Figura 4.17 – Mapa de localização da imagens de fundo analisadas	55

Figura 4.18 – (14DEC035.MST) – Megaondulações de corrente de crista reta.	57
Figura 4.19 – (14DEC067.MST) – Megamarcas onduladas	58
Figura 4.20 – (14DEC060) – Marcas onduladas assimétricas e simétricas.	59
Figura 4.21 – (14DEC051) – Leito Plano.	59
Figura 4.22 – (14DEC041) – Afloramentos de rochas do embasamento.	60
Figura 4.23 – (14DEC077) – A barreira de recifes.	60
Figura 5.1 – Mapa de localização das estações de coleta de sedimento.	64
Figura 5.2 – Mapa de Distribuição da Fração Areia.	66
Figura 5.3 – Distribuição da fração arenosa.	67
Figura 5.4 – Constituição da fração areia.	67
Figura 5.5 – Distribuição da fração cascalho.	68
Figura 5.6 – Mapa de Distribuição da Fração Cascalho.	69
Figura 5.7 – Distribuição da fração lama (silte e argila).	70
Figura 5.8 – Mapa de Distribuição da Fração Lama.	71
Figura 5.9 – Mapa de Fácies Sedimentares.	72
Figura 5.10 – Distribuição espacial dos valores da mediana.	73
Figura 5.11 – Mapa de Distribuição da Mediana.	74
Figura 5.12 – Distribuição granulométrica percentual do grau de assimetria.	75
Figura 5.13 – Distribuição espacial do Intervalo da Assimetria.	75
Figura 5.14 – Mapa de Distribuição da Assimetria	76
Figura 5.15 – Distribuição granulométrica percentual da curtose	77
Figura 5.16 – Distribuição espacial da curtose.	78
Figura 5.17 – Mapa de Distribuição da Curtose.	79
Figura 5.18 – Distribuição do grau de seleção.	80
Figura 5.19 – Distribuição espacial do grau de seleção.	81
Figura 5.20 – Mapa de distribuição do Grau de Seleção.	82
Figura 5.21 – Mapa do padrão de transporte granulométrico.	84
Figura 6.1 – Perfil com principais elementos morfológicos de uma praia.	87
Figura 6.2 – Mapa de Localização das Estações de Perfis de Praia.	90
Figura 6.3 – Posicionamento do Perfil E-1.	91
Figura 6.4 – Posicionamento do Perfil E-2.	92
Figura 6.5 – Posicionamento do Perfil E-3.	92
Figura 6.6 – Curvas de nivelamento das estações E-1, E-2 e E-3.	93
Figura 6.7 – Balanço sedimentar da praia dos Carneiros	94
Figura 6.8 – Estação 1. Bloco diagrama.	95
Figura 6.9 – Estação 2. Bloco diagrama.	96
Figura 6.10 – Estação 3. Bloco diagrama.	97
Figura 6.11 – Aspecto de trecho da praia de Guadalupe.	98
Figura 6.12 – Estação E-5. Perfis e balanço sedimentar.	98
Figura 6.13 – Estação E-8. Perfis e balanço sedimentar.	99

Figura 6.14 – Estação 5. Bloco diagrama.	99
Figura 6.15 – Estação E-9. Perfis e balanço sedimentar.	101
Figura 6.16 – Estação E-9. Bloco diagrama.	102
Figura 6.17 – Posicionamento do Perfil E-9.	102
Figura 6.18 – Posicionamento do Perfil E-11.	103
Figura 6.19 – Estação E-11, aspecto do muro de proteção	103
Figura 6.20 – Posicionamento do Perfil E-10.	103
Figura 6.21 – Curvas de nivelamento das estações E-12, E-11 e E-10.	104
Figura 6.22 – Estações E-10, E-11 e E-12: Balanço sedimentar	105
Figura 6.23 – Estação 12. Bloco diagrama	106
Figura 6.24 – Estação 11. Bloco diagrama	106
Figura 6.25 – Estação 10. Bloco diagrama	107
Figura 6.26 – Pontal de Guadalupe	108
Figura 7.1 – Mapa de localização dos pontos de amostragem e análise de água.	114
Figura 7.2 – Pluviograma do Município de Rio Formoso	115
Figura 7.3 – Relação entre as variações de OD e a DBO	117
Figura 7.4 – Relação entre as variações de OD, DBO e Turbidez com a Salinidade	117
Figura 7.5 – Relação entre as variações de Resistividade, pH, Temperatura e a Condutividade	121

ANEXOS

Mapa das Microbacias e Sistema de Drenagem do Estuário do Rio Formoso

Tabela 1 – Classificação pela Média (ϕ) e Textural das Amostras Coletadas

Tabela 2 – Proporção das Frações e Classificação segundo Folk & Ward

RESUMO

O estuário do Rio Formoso, localizado no litoral sul do Estado de Pernambuco (UTM 9036000 / 266000; 9044.000 / 272000), está inserido na Área de Proteção Ambiental de Guadalupe. É um importante ecossistema costeiro tanto pela biodiversidade como para o turismo. Informações existentes sobre este estuário concentravam-se em aspectos biológicos, carecendo de pesquisas abordando o quadro físico de forma integrada. Visando preencher esta lacuna, e fornecer subsídios para ações de gestão ambiental, foram realizados estudos aplicando métodos diretos e indiretos, enfocando a sedimentologia, a geofísica estuarina, a morfodinâmica e os aspectos da qualidade da água que possibilitaram tecer considerações sobre o quadro físico.

A partir da elaboração do mapa batimétrico, a área foi subdividida, em setores superior, médio e inferior. Nos três Setores, foram realizados estudos da sedimentologia de fundo e da qualidade da água. Apenas no Setor Inferior, foram feitos o imageamento por sonar de varredura e a morfodinâmica praiial (incluindo a praia de Guadalupe).

Como resultado, foi identificado que no Setor Superior predominam cotas batimétricas de 1m, leito constituído por areia lamosa, lama arenosa e lama (silte-argila). No Setor Médio, a batimetria tem em média de 3m, sendo indentificado um trecho mais profundo (> 5m), na margem direita com dominância das fácies areia, areia cascalhosa, areia lamosa e, associada ao substrato do manguezal, lama arenosa. No Inferior, com profundidade média de 4m e presença de cascalhos concentrados no canal localizado na margem esquerda.

Formas de fundo identificadas, por sonar de varredura, representadas por dunas subaquosas assimétricas de cristas sinuosas e simétricas de cristas retas bifurcadas, indicando grande influência de marés e ondas, representando condições hidrodinâmicas típicas de regime de fluxo inferior.

A diferença entre os estoques de sedimentos arenosos dos perfis medidos, ao longo da praia de Guadalupe, sugere *déficit* indicando comportamento erosivo, típico de praias reflectivas. A praia dos Carneiros apresenta características dissipativas, com exposição de bancos arenosos longitudinais durante a maré vazante. Na margem esquerda do estuário, o trecho da praia de Guadalupe termina de forma abrupta no canal adjacente correspondente ao trecho de maior energia hidrodinâmica.

Com base na análise de alguns parâmetros bio-químicos e físico-químicos, foi observado que a qualidade da água do Rio Formoso estava comprometida e imprópria à balneabilidade, por apresentar altas concentrações de coliformes fecais, indicando contaminação/poluição, por lançamentos de esgotos domésticos.

Como produtos destes estudos, foram gerados mapas temáticos e referenciais técnicos importantes para o planejamento da gestão ambiental, para futuras ações de conservação/recuperação das condições ambientais, medidas de saneamento mais efetivas e manutenção das atividades sócio-econômicas da área.

Palavras chave: Estuário do Rio Formoso, Sedimentologia, Geofísica Estuarina, Morfodinâmica, Qualidade da Água, Meio Ambiente.

ABSTRACT

The Formoso River estuary is located on the South coast of the State of Pernambuco (UTM 9036000 / 266000; 9044.000 / 272000) and is encompassed in the Environmental Protection Area of Guadalupe. It is an important coastal ecosystem both for biodiversity and for tourism. Data information about this estuary centered in biological aspects requiring an integrated physical research. Aimed at filling this gap studies focusing on the estuarine sedimentology, geophysics, morphodynamic and aspects of water quality were made, in order, to provide data for environmental management actions.

Based on results of bathymetric mapping the area was divided in three sectors: upper, middle and lower. In all three sectors, sedimentological studies of the bottom and water quality were analyzed. Only in the lower sector a side scan imaging were made (including Guadalupe beach).

At the upper sector the bathymetry is around 1m deep and the bottom is composed of muddy-sand, sandy-mud and mud (silt-clay). At the middle sector, bathymetry has on average of 3m deep, within a deeper part (5m deep) in the right margin with dominance of sandy gravel, sand, and associated to the mangrove substrate were observed the presence of sandy mud. At the lower sector, the bottom is 4m deep in average and it was observed the presence of gravels infilling the channel located in the left margin.

Bedform were identified by side scan sonar: represented by asymmetric subaqueous dune with sinuous ridges and straight forked symmetric ridges indicating great tidal and waves influence, representing hydrodynamic conditions typical of lower flow regime.

The difference between the sandy sediments quantity of the profiles measured along the Guadeloupe beach it indicate an erosive behavior typical of reflective beaches. The Carneiros beach presents dissipative characteristics within longitudinal sandy bars which are exposed during the ebb tides. In the left margin of the estuary,

the Guadalupe beach ends abruptly adjacent to the channel corresponding to the area of high hydrodynamic energy.

Based on the analysis of some bio-chemical (high concentrations of fecal coliform) and physical-chemistry parameters it was noted that water quality of the Formoso River is polluted and unsuitable to bathe and dip.

Thematic maps and important technical benchmarks were generated as products of these studies to help the environmental management planning and for future actions conservation/recovery of environmental conditions, more sanitation measures effective and maintenance activities socio-scheme of the area.

Keywords: Formoso river estuary, sedimentology, estuarine geophysics, water quality, morphodynamic, environment

1 – INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda o sistema estuarino do Rio Formoso. A região encontra-se relativamente preservada, do ponto de vista de ocupação das margens, possivelmente, pela distancia dos centros urbanos, dificuldade de acesso e por estar inserida em uma Área de Proteção Ambiental (APA de Guadalupe). Contudo, a beleza cênica da região estimula as atividades turísticas e, por seguinte a pressão da expansão imobiliária nos municípios de Tamandaré e de Sirinhaém. A urbanização desordenada na cidade do Rio Formoso compromete a rede de saneamento, ocorrendo lançamento de efluentes domésticos *in natura* no rio de mesmo nome, atingindo o sistema estuarino.

No entorno do estuário, a principal atividade é o plantio da cana-de-açúcar. Inserida na região, porém fora da área de estudo, há um lixão desativado, quatro em atividade, dos quais dois estão próximos da rede de drenagem do Rio dos Passos, sendo estas condições potencializadoras de riscos de contaminação do sistema.

A constante renovação das águas pelo movimento das marés e a existência de uma área fechada à pesca contribui na distribuição e na diversidade da fauna. Isto possibilita a manutenção das atividades pesqueiras no local. Contudo, apesar da atuação do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente), ocorre pesca predatória com malha fina e, embora menos comum, com o uso de explosivos, ações que comprometem o desenvolvimento e diversidade da fauna.

A retirada da cobertura vegetal das margens à montante, mesmo ocorrendo fora da área de estudo, pode contribuir para a intensificação do assoreamento do canal.

Por ser considerada uma região de grande importância ecológica e estar sujeita as variáveis acima citadas, este trabalho se propõe a estudar as condicionantes hidrodinâmicas, sedimentares e morfológicas para a caracterização ambiental do Estuário do Rio Formoso.

1.1 – Hipótese e Objetivos

A hipótese que orienta este trabalho está estruturada na seguinte proposição:

Os canais de escoamento sob assoreamento tendem a extravasar o fluxo hídrico sobre as margens. A formação de barras longitudinais é um dos indícios de processo de assoreamento. O estuário do Rio Formoso apresenta barras longitudinais, logo, a existência destas barras e o extravasamento sobre as margens indicam que o estuário está sob ação do processo de assoreamento. Busca-se identificar se este assoreamento é predominantemente natural, estando condicionado pelas características físicas do sistema, ou se esta indiretamente influenciado por ação antrópica.

Considerando tal hipótese, esta pesquisa teve como objetivo geral estudar e caracterizar alguns dos processos físicos existentes no sistema estuarino do Rio Formoso, e suas conseqüências ambientais. Para tanto, realizaram-se levantamentos de dados sedimentológicos, morfodinâmicos e batimétricos. Espera-se contribuir, com as informações obtidas, para a gestão ambiental dos sistemas estuarinos em geral e, em particular, no uso sustentável do estuário do Rio Formoso, de acordo com os objetivos específicos citados a seguir:

- Caracterização faciológica do estuário;
- Elaboração de Mapas Sedimentológicos;
- Elaboração do Mapa Batimétrico do Estuário do Rio Formoso;
- Caracterização das condições morfodinâmicas;
- Caracterização das condições hidrodinâmicas;
- Caracterização da qualidade da água.

1.2 – Relevância e Justificativa

Por não existir um núcleo urbano nas margens do estuário e as poucas residências não representarem impacto significativo, a paisagem guarda características naturais. Em razão da região se encontrar inserida em uma Área de

Proteção Ambiental, pode-se imaginar que essas características serão mantidas ou, pelo menos, a alteração será minimizada.

A potencial degradação ambiental da área pode ter como agentes, algumas atividades que ocorrem no seu entorno, tais como: o uso de agrotóxicos aplicados na atividade canavieira, o lançamento de dejetos e efluentes no Rio Formoso, a existência de lixões, um desativado a montante da cidade do Rio Formoso e pelo menos quatro outros em atividade, além dos interesses de implementação da atividade de carcinicultura.

Os estudos realizados no local constituem uma contribuição para as medidas de conservação do ecossistema. A importância do trabalho tem desdobramentos para as atividades de pesca estuarina e do turismo, tanto no âmbito de contemplação, quanto do turismo científico. Por fim, o desenvolvimento dos estudos permitiu a melhor formação técnica como também gerou subsídios para o gerenciamento desse sistema ambiental.

1.3 – Trabalhos Anteriores na Área de Estudo

De modo geral, a maior parte dos estudos e pesquisas, realizados no estuário do Rio Formoso aborda, principalmente, os recursos pesqueiros. Isto se deve, primeiro, à relativa preservação do sistema, o que permite pesquisas de base, e o interesse de diversos setores, no desenvolvimento das atividades pesqueiras.

A realização do levantamento bibliográfico resultou na catalogação de alguns trabalhos realizados na área e considerados relevantes para esta pesquisa:

Pedrosa Junior (1969) desenvolveu uma monografia na qual apresentou os resultados da aplicação de métodos geofísicos para caracterização da área, sugerindo as técnicas de melhor resposta.

Lira *et al.* (1979) realizaram um estudo que é considerado a pesquisa de referência da área, abordando os aspectos físicos e hidrodinâmicos do estuário.

Amaral (1992) realizou uma análise da planície costeira do Rio Formoso enfatizando a geologia e a geomorfologia fornecendo subsídios para o uso e conservação da área.

Neumann-Leitão *et al.* (1994) desenvolveram pesquisas que permitiram identificar e quantificar a comunidade zooplânctonica da área estuarina do Rio Formoso.

A Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH (1998), através do Diagnóstico Sócio-Ambiental da Área de Proteção Ambiental de Guadalupe, realizou uma síntese dos principais problemas ou conflitos que afetam negativamente o desenvolvimento das atividades produtivas. Avaliaram, ainda, o estado em que se encontram os recursos naturais, as características culturais e inventariou os planos, programas e projetos (federais, estaduais e municipais) implantados ou previstos para a região.

Santos (2001) desenvolveu uma pesquisa na qual fez o levantamento da ictiofauna através da pesca da camboa no Estuário.

Manso *et al.* (2003), desenvolveram pesquisas estudando a morfologia e a sedimentologia na área da Plataforma Continental interna entre as praias de Porto de Galinhas e Campos, no Litoral Sul de Pernambuco onde se inclui trecho adjacente à desembocadura do estuário do Rio Formoso.

Honorato da Silva (2003) caracterizou o fitoplâncton considerando as relações entre a Biomassa, a Taxonomia e a Ecologia do sistema estuarino do Rio Formoso.

Silva (2003) estudou os bivalves que compõem a endofauna do manguezal ao longo do estuário do Rio Formoso, considerando a sua composição, suas relações com os fatores abióticos e a utilização como recurso pesqueiro para comunidade de pescadores locais.

Vasconcelos *et al.* (2004) realizaram um estudo sobre a variação espacial da comunidade de meiofauna no estuário do Rio Formoso.

Castro (2005), estudou a abundância, a distribuição e o desenvolvimento das fases iniciais dos peixes ocorrentes no estuário do Rio Formoso.

Silva *et al.* (2006), identificaram as características físicas e químicas da água estuarina do Rio Formoso, as características do camarão-branco *Litopenaeus schmitti* em relação à pesca artesanal, objetivando possibilitar, no futuro, o manejo adequado da pesca sustentável pelos pescadores da região.

2 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

2.1 – Localização da Área de Estudo

O sistema estuarino do rio Formoso está inserido na Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe. Localiza-se na porção meridional do litoral sul do Estado de Pernambuco, nas Coordenadas UTM 9036000 e 266000; 9044.000 e 272000. O Rio Formoso e o canal do estuário servem de limite para os municípios de Sirinhaém, ao norte, de Tamandaré, ao sul, e Rio Formoso a oeste, (Fig. 2.1).

O sistema estuarino é formado pela contribuição do Rio Formoso, a noroeste, dos rios dos Passos, Lemenho, e Porto das Pedras, a nordeste, e pelo Rio Ariquindá, ao sul. A leste, o oceano Atlântico contribui com a entrada de águas no sistema durante as marés altas. Todos os rios apresentam características litorâneas, diferentemente de outras áreas estuarinas do litoral do Estado de Pernambuco, formadas, na maioria, por rios cuja bacia hidrográfica tem nascentes no agreste (FIDEM, 1986).

Próximos à linha de costa, os arrecifes funcionam como barreiras naturais, garantindo uma relativa proteção à ação das ondas. Esta proteção favorece condições especiais ao desenvolvimento da vegetação e da fauna, cuja diversidade representa o sustento de parte das comunidades da região.

2.2. – Síntese da Geologia Geral

A Geologia Geral da área de estudo é apresentada no Mapa Geológico (Fig. 2.2), adaptado de Manso (1997) e Lima Filho (1998).

De modo geral, a geologia da área de estudo está representada por dois grandes compartimentos: o Embasamento Cristalino (Maciço Pernambuco/Alagoas) e seqüências sedimentares da Bacia Pernambuco.

O Embasamento Cristalino, constituído por granodioritos, granitos e migmatitos, apresenta afloramentos na margem direita do estuário e dentro do canal, próximo à praia das Pedras.

A Bacia Pernambuco está representada, na área de estudo, pela formações Cabo e Barreiras e por depósitos neógenos ou quaternários.

I) Formação Cabo, de idade cretácea, assenta-se de modo discordante sobre o embasamento cristalino, é formada, fundamentalmente, por conglomerados, arcóseos conglomeráticos e argilitos. Sua ocorrência pode ser observada nos morros entre a localidade da Gamela e de Guadalupe. Na praia de Guadalupe os afloramentos formam uma pequena falésia viva.

II) Formação Barreiras (Plioceno-Pleistoceno), constituída por sedimentos arenosos com intercalações de camadas, em geral, pouco espessas de argilito.

III) Depósitos Neógenos (Quaternário); incluem as unidades formadas pelos terraços Pleistocênicos e Holocênicos, sedimentos fluviais, depósitos lagunares, sedimentos de manguezais e depósitos de praia.

Terraços Pleistocênicos – são essencialmente arenosos, desprovidos de conchas. Apresentam cotas altimétricas entre 3 e 9 metros, são encontrados na parte interna da planície costeira, no município de Tamandaré e no trecho situado entre as localidades de Guadalupe e Barra de Sirinhaém.

Terraços Holocênicos – são constituídos por areias inconsolidadas com presença de conchas ou de fragmentos, alcançam cotas altimétricas de 3m. Observáveis ao longo de toda a planície costeira dispostos paralelamente, em largas faixas contínuas, marcadas por cordões arenosos, característicos desta unidade.

Sedimentos fluviais – são predominantemente encontrados nas áreas dos vales e calhas fluviais. São representados predominantemente por areias e silte.

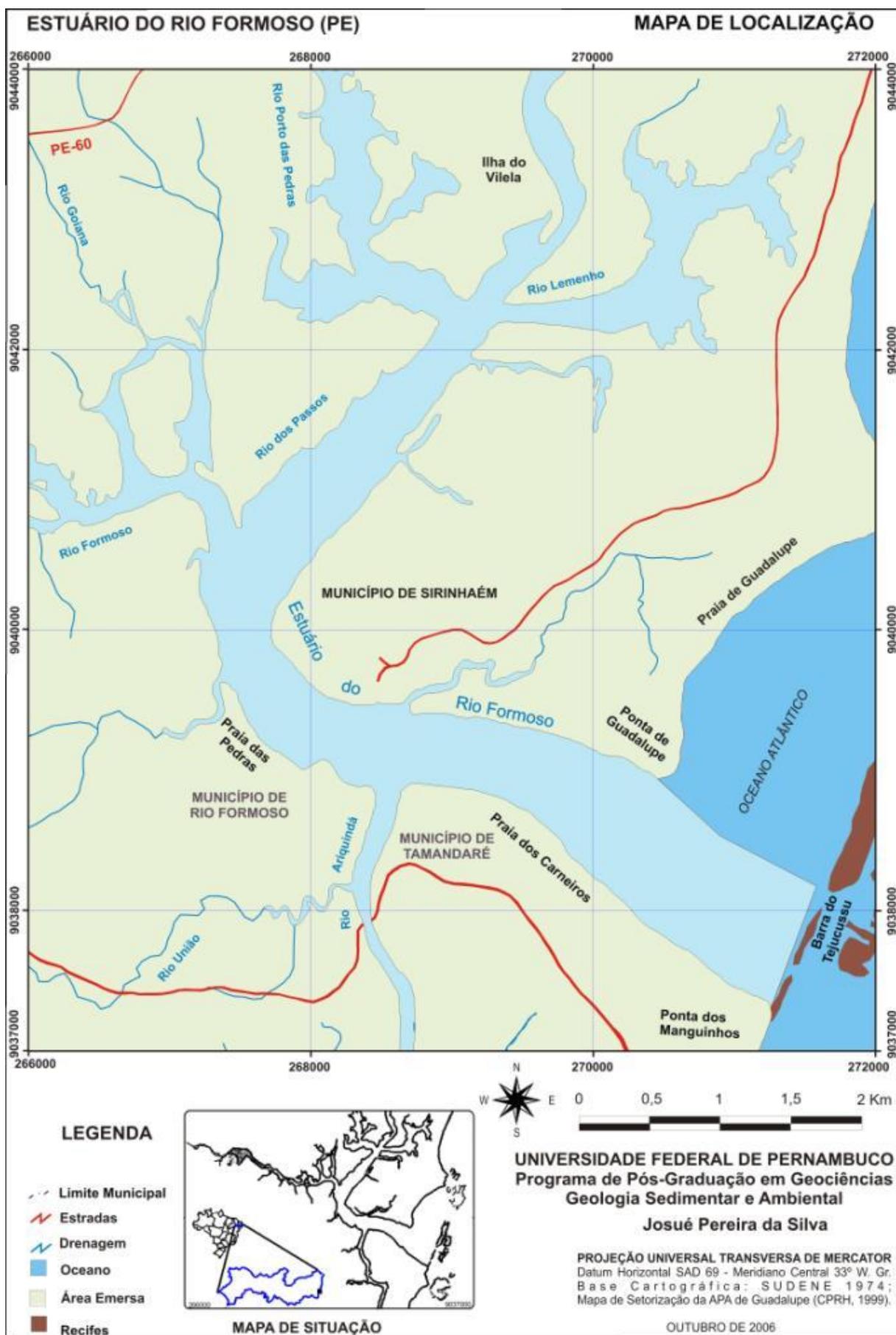


Figura 2.1: Mapa de localização da área de estudo – Estuário do Rio Formoso

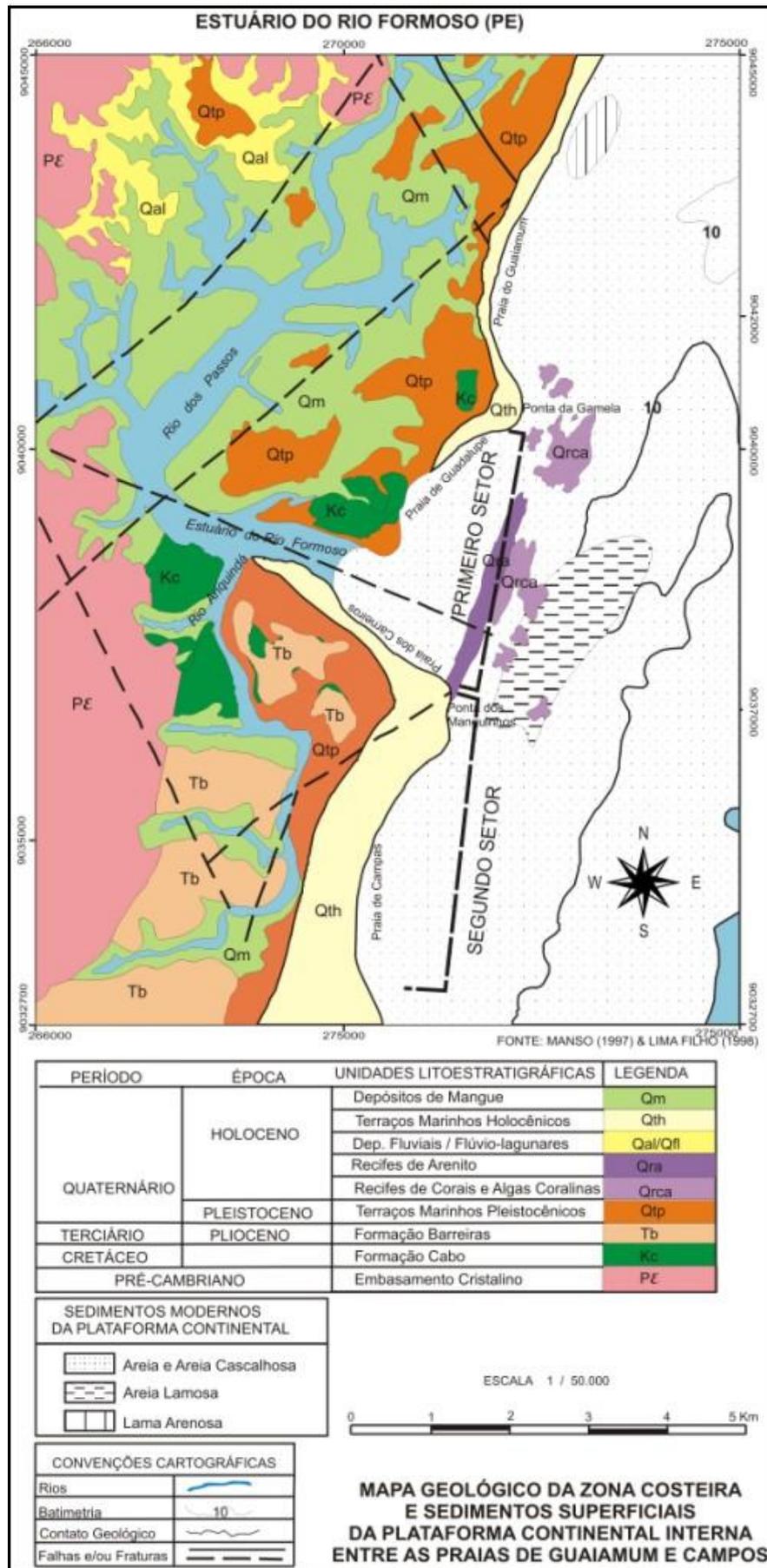


Figura. 2.2 – Mapa Geológico, adaptado de Manso (1997) e Lima Filho (1998).

Depósitos lagunares – presentes, principalmente, em depressões rasas e alongadas. Em geral, separam os terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, sendo constituídos por sedimentos lamosos, com presença de matéria orgânica.

Sedimentos de manguezais – são encontrados na região mais interna do estuário nas áreas à montante dos rios, em afluentes menores e nos canais de maré que se encontram protegidos da ação das ondas. Os sedimentos são compostos, essencialmente, por silte e argilas ricas em matéria orgânica.

Depósitos de praia – ocorrem diretamente na linha de praia; são constituídos por areias quartzosas bem selecionadas, inconsolidadas, passíveis de contínuo retrabalhamento marinho através das ondas e das marés.

Segundo Manso (1997), a caracterização das praias pode ser realizada de acordo com os aspectos morfológicos e a complexidade dos processos envolvidos na dinâmica do sistema. Considerando estes aspectos, o autor setorizou as praias, localizadas na área de estudo, da seguinte forma:

Primeiro Setor – Faz limite a norte pela Ponta da Gamela e a sul pela Ponta de Manguinhos. A área apresenta complexa dinâmica sedimentar responsável pela geração da atual paisagem costeira. Bancos algálicos e recifes de arenito se dispõem em frente à desembocadura do Estuário do Rio Formoso.

Na praia de Guadalupe há uma falésia com 8 m de desnível, formada por sedimentos da Formação Cabo e leques aluviais pleistocênicos. A praia não apresenta as unidades morfológicas pós-praia e berma, pois ainda se encontra em fase erosiva. Não ultrapassando 20 metros de largura, apresenta baixa declividade, apresentando afloramentos de um arenito friável de coloração escura, exposto pela retirada do material arenoso da praia.

Segundo Setor – Formado pelas praias de Campas e dos Carneiros, limita-se em seus extremos por dois bancos algálicos fixados sobre substrato de rochas de praia (*beach rocks*). Possui uma linha de costa côncava apresentando a forma de

uma pequena baía. Durante a maré baixa se observa a emersão da primeira linha de recifes. A distribuição de algumas espécies de corais contribuíram para a implementação da APA de Guadalupe.

Neste setor, o perfil traçado na praia de Campas, apresenta a pós-praia medindo apenas 2,5m de largura com impermeabilização antrópica. A escarpa de berma apresenta desnível médio de 0,90m, ocasionalmente suprimida pela ação das ondas incidentes ou pela ação antrópica. A praia atinge a largura de 50m e cerca de 3 graus de declividade.

Depósitos eólicos - Formados por areias quartzosas de granulometria fina a média, observadas na praia de Guadalupe. Recobrem principalmente cordões litorâneos, constituindo remanescentes de antigas cristas de praia que foram parcialmente remodeladas pelo vento.

Bancos de algas - São formações de aparência irregular, diferentemente das formações de arenito que apresentam orientação bem definida e paralela à costa. O desenvolvimento das colônias, em algumas áreas, pode encobrir esta orientação, ao utilizar os arrecifes com substrato de fixação.

Rochas de praia - Do ponto de vista morfológico, possuem disposição mais retilínea e alinhados ao longo da costa, enquanto os recifes biogênicos apresentam forma mais irregular. Encontram-se dispostos em três linhas paralelas à costa. Algumas dessas rochas de praia (*beach rocks*) servem de substrato para desenvolvimento de corais, constituindo “habitat” de endemismo para algumas espécies como o *Mussimilia hispida*, *Mussimilia favia gravida* e *Siderastrea stellata* e um hidrocoral endêmico, *Millepora brasiliensis*.

A primeira linha de rochas de praia (*beach rocks*) situa-se defronte à desembocadura do estuário do Rio Formoso. Apresenta um longo trecho completamente emerso, desenvolve-se por cerca de 2,5 km, desde a desembocadura do estuário até ao sul da Ponta de Manguinhos. É inferida sua continuidade para o norte, até a altura da Ponta da Gamela.

Serve como suporte para o desenvolvimento de macroalgas, com incrustação de algas carbonáticas e pequenas colônias de corais *Siderastrea stellata*. Além de

protegerem a costa diminuindo a ação das ondas, a barreira formada pelos corais é considerada uma importante zona reprodução para diversas espécies de organismos marinhos, isto possibilita e justifica a presença abundante de peixes juvenis nestes locais.

A segunda linha encontra-se a cerca de 1,5 km da primeira, em direção mar à fora. É caracterizada pela presença de um arenito ladeado por formações de algas. Provavelmente essa linha mantém uma continuidade até a Ilha de Santo Aleixo, pois há presença do arenito na ilha. Sua parte superior serve de “habitat” para uma grande população de ouriços-do-mar (*Echinometra lucunter*), responsáveis pela bioerosão das rochas por serem litófagos. Ocorre, ainda, a presença de colônias de corais e, na fauna, de peixes juvenis.

A terceira linha de recifes ocorre quase que inteiramente submersa, não sendo possível sua caracterização sedimentológica.

2.3 – Geomorfologia

As formas que compõem a paisagem podem ser compartimentadas nas unidades Domínio Cristalino, Tabuleiros Costeiros, Modelado Colinoso e Planície Costeira (CPRH, 1998). Estas unidades destacam determinadas características morfológicas apresentadas a seguir:

a) Domínio Cristalino - Segundo o aspecto geológico, corresponde ao embasamento cristalino. Predomina um relevo colinoso, também denominado “mares de morros”. Apresenta morfologia irregular, altimetria atingindo pouco mais de 100m, encostas principalmente convexas ou retilíneas e declividades acentuadas. Estas feições podem ser observadas em vales geralmente bem encaixados, alguns bem profundos. Nos topos dos morros mais arredondados, ocorrem resquícios de Mata Atlântica, em razão da declividade que limita parcialmente a pressão exercida pelo cultivo da cana-de-açúcar. Como consequência destas características representam importantes áreas de nascentes fluviais.

Os vales fluviais encontrados nessa unidade são do tipo em calha ou chato com material de fundo arenoso, ou em forma de “V”. Ocorrências de matações

aflorando principalmente nas encostas, muitas vezes associados à perda do solo devido ao uso inadequado empregado tradicionalmente pela agricultura canavieira.

O relevo do cristalino, na região, embora típico, não apresenta contatos muito visíveis com a depressão periférica pré-litorânea nem com os depósitos provenientes da Formação Barreiras que a recobre. Isto se deve, provavelmente, ao gradiente em degraus e patamares ligeiramente paralelos à costa, conjuntamente à cobertura por depósitos de piemonte. Destacam-se as "chãs", que constituem importantes áreas de remanescentes de Mata Atlântica e, em cujas encostas, dominam os processos de rastejamento e nos sopés são encontrados os depósitos de colúvio. A origem deste modelado está relacionada às condições paleoclimáticas úmidas, exibindo um extenso e espesso manto de intemperismo. A espessura do manto, em geral, elabora uma feição plana, com vertentes suavizadas comumente convexas ou retilíneas.

b) Tabuleiros Costeiros – São feições geomorfológicas constituídas pelos sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras.

Na área de estudo, os tabuleiros apresentam altimetria entre 40 e 100m. São escavados pela drenagem possuindo interflúvios de topos aplainados e apresentam, predominantemente, vales de fundo chato.

As rampas de colúvio localizam-se nos sopés dos tabuleiros costeiros. São formadas pelo material coluvionar proveniente da degradação dos tabuleiros. Possuem morfologia em forma de vertente suave.

c) Modelado Colinoso – Está associado à Formação Cabo e apresenta cotas altimétricas entre 10 e 40m. A morfologia é caracterizada pela presença de colinas suaves, relativamente arredondadas, de pequena extensão. Ocorrem de forma individualizada e saliente no terreno, destacando-se da morfologia local. As encostas dessas colinas são geralmente convexas.

d) Planície Costeira – As planícies costeiras foram elaboradas durante o Quaternário. Apresentam baixo gradiente topográfico, são compostas por sedimentos marinhos ou flúvio-marinhos. Estas planícies representam um ambiente de transição entre o ambiente continental e o marinho.

O estuário do Rio Formoso, objeto deste estudo, está inserido em uma planície costeira na qual podem ser identificados os seguintes subcompartimentos geomorfológicos:

Terraços Fluviais

São constituídos por sedimentos aluvionares areno-argilosos, de granulometria variada, depositados ao longo dos principais vales, na porção interna da planície costeira e dos vales esculpidos dos principais rios e riachos. Constituem o produto da erosão e do processo de deposição associado ao transporte fluvial ocorrido nas unidades pré-quadernárias deste sistema.

Baixios de Maré

São associados aos canais de maré, sendo encontrados nas áreas cujos gradientes de declividade são quase nulos. Esta morfologia possibilita a influência da ação ou marés. São ambientes propícios aos processos de sedimentação flúvio-marinha, e devido a salinidade dos solos, as águas mornas e salobras além do constante fluxo das marés, é comum o surgimento de manguezal, um bioma típico de áreas que apresentem tais interações.

Terraços Marinhos Pleistocênicos e Holocênicos

Na planície costeira, verificam-se feições elaboradas durante as oscilações do mar durante o Quaternário, mais ou menos paralelas à linha de costa, possuindo um topo aplainado e um rebordo abrupto que se mantém fora do alcance do mar, permanecendo seco mesmo durante as marés mais altas. Além das cotas altimétricas, foram subdivididos em dois tipos, de acordo com a idade de deposição.

Os terraços pleistocênicos, elaborados durante a regressão que se sucedeu após o máximo da Penúltima Transgressão (Bittencourt *et al.*, 1979), apresentam-se em geral descontínuos, mais ou menos alongados e paralelos à linha de costa, no sopé das formações geológicas mais antigas. Em toda a área, os terraços marinhos pleistocênicos alcançam altitudes de até 9 metros.

Os Terraços Marinhos Holocênicos desenvolveram-se na última regressão marinha, após retrabalhamento do relevo das formações pré-quadernárias pela Última Transgressão (Bittencourt *et al.*, 1979) tendo erodido, ainda que parcialmente, os terraços marinhos pleistocênicos.

Esse subcompartimento apresenta uma geometria mais regular se comparada àquela observada nos pleistocênicos. Os terraços holocênicos, em geral, são

encontrados na porção mais externa da planície costeira, com altitude variando de 1 a 3 metros.

Dentre os principais processos geomorfológicos mais ativos, observados na área, podem ser destacados a erosão dos morros e voçorocamentos. A erosão se concentra em morros situados em Sirinhaém, decorrente da ocupação desordenada de encostas pela população de baixa renda. Os voçorocamentos, principalmente em morros próximos à Barra do Sirinhaém, concentrados numa área de ocorrência da Formação Barreiras, na qual a presença de pacotes arenosos aumenta a susceptibilidade à erosão pluvial. Na falésia de Guadalupe, a erosão se dá pela abrasão marinha.

2.4 – Clima

O clima do litoral sul pernambucano é do tipo As', segundo a classificação de Köppen. É definido como tropical com chuvas de inverno antecipadas para o outono. A precipitação deve-se principalmente, às áreas de instabilidades geradas pelo contato entre a massa de ar Tropical Atlântica, a massa Polar Atlântica e às Ondas de Leste. A temperatura é amenizada sob influência da ação moderadora dos ventos alísios, que predominantemente deslocam-se de SE e secundariamente de NE. No inverno, ocorre a influência do anticiclone polar ocasionando médias térmicas mais baixas e precipitações mais elevadas.

No clima local, as chuvas encontram-se distribuídas por cerca de 200 dias no ano, concentradas entre os meses de maio a julho, com média histórica de 2.267 mm. Os meses mais secos são outubro e dezembro. Os extremos de temperatura da região, mínima de 18°C e máxima de 32°C; apresenta temperatura média anual de 24°C, com variações mensais entre de 23°C, coincidente com o período chuvoso, e 26°C, com o período de estiagem. (Fig. 2.3).

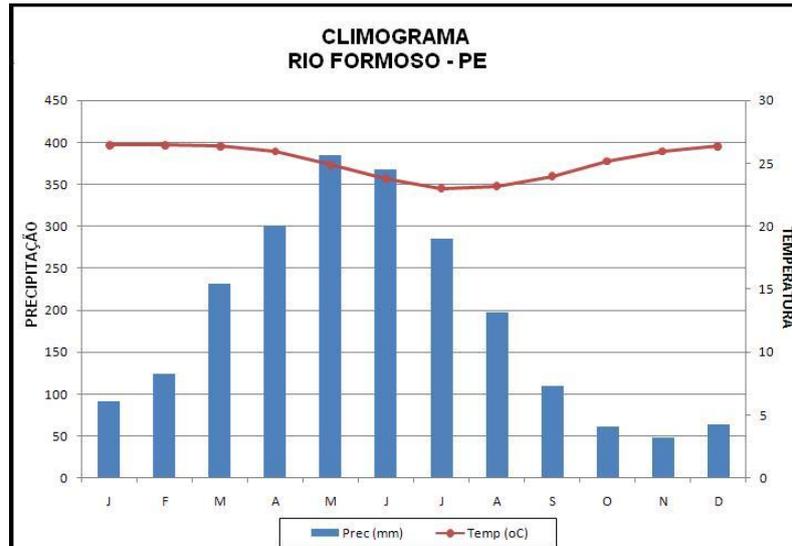


Figura 2.3 – Climograma com as médias históricas pluviométricas de Rio Formoso.
Fonte: LAMEPE, (Org. pelo autor).

2.5 – Hidrografia

O estuário do Rio Formoso possui uma área, aproximada, de 27 km². Desenvolve-se na planície costeira, apresenta morfologia sinuosa e influenciado por pequenas descargas de águas continentais. A drenagem do sistema estuarino é formado pelo Rio Formoso, seu principal tributário, e pelos rios Porto das Pedras, Lemenho, dos Passos e o Ariquindá (Mapa das Microbacias - Anexo).

O Rio Formoso é formado pela confluência (à montante do Engenho Changuazinho) dos riachos Vermelho e Serra d'Água, cujas nascentes estão no Engenho Vermelho. Seu curso drena a cidade de Rio Formoso e depois deságua na planície costeira contribuindo na formação do estuário homônimo.

Enquanto o canal do rio Formoso é aproximadamente perpendicular à linha de costa, com 12 km de extensão, os outros são paralelos e sugerem ter sua origem associada ao sistema de fraturas e falhas.

De acordo com Amaral (1992), o canal do Rio Formoso pode ser subdividido em três setores: 1^o) canal fluvial superior, das proximidades da cidade do Rio Formoso até a desembocadura no leito do Rio dos Passos; 2^o) canal fluvial central, mais largo e profundo que o primeiro, corresponde aos canais dos rios dos Passos e Ariquindá; 3^o) desembocadura, correspondente ao setor mais oriental do canal

principal. É o trecho mais largo, e seu limite oceânico ocorre à frente da praia de Guadalupe, na barra homônima.

A bacia hidrográfica é condicionada pelas estruturas geológicas locais, representadas por falhas e fraturas geológicas (Pedrosa Junior, 1969; Manso, 1997 e Lima Filho, 1998). Assim, enquanto os vales maiores estão encaixados nas falhas, que possuem grande importância no direcionamento do canal, a estruturação da drenagem é influenciada pelo sistema de fraturas geológicas. O curso do Rio dos Passos, por exemplo, delimita duas feições geomorfológicas distintas: os “mares de morros” e a planície costeira. Além da estruturação da bacia hidrográfica, as falhas e fraturas são zonas de recarga e de formação do manancial, seja como aquífero fissural, seja como olho d’água. Estes últimos são mais frequentes na porção oeste da APA de Guadalupe.

2.6 - Regime de ondas

O sistema de ondas oceânicas que ocorrem na costa pernambucana exerce grande influência no transporte de sedimentos praias. Esta associada à regularidade de velocidade e direção do sistema de ventos e as ondas por elas geradas.

As ondas de direção E-SE, apresentam altura média de 1 a 1,5 m e períodos de 5 a 7 s, predominantes durante o ano (Hog-Ben & Lumb, 1967; U.S.Navy, 1978; in Dominguez *et al.*, 1992).

A PORTOBRÁS (*in* Pedrosa, 2007) efetuou medidas de ondas no Porto de Suape, norte da área pesquisada, nos períodos de março de 1977 à fevereiro de 1978 e janeiro de 1979 à janeiro de 1984, empregando ondógrafos instalados a cerca de 17m de profundidade. Como resultados, constataram direções de ondas para as condições de Primavera (setembro à novembro); Verão (dezembro à fevereiro) e de Outono (março à maio) com predominância de ondas propagando perpendicularmente à praia e, no outono e na primavera, ocorrendo discreta tendência no sentido S-N. Por outro lado, no verão, assumem a direção N-S. Para as condições de inverno foi identificado que a direção predominante é S-N.

Quanto as alturas das ondas, no outono e na primavera, há predominância de valores em torno de 1,0m. No verão as alturas de onda oscilam entre 0,85 e 1,0m, enquanto no inverno, alcançam os maiores valores anuais, em torno de 1,25 m.

Os períodos das ondas observadas permanecem em torno de 6,5 s, para as condições de Outono, Inverno, Primavera, e 5,0 s, no Verão. A altura significativa média anual na área alcança 1,11 m e período médio da ordem de 6,28 s.

2.7 – Fauna e Microfauna

Os estudos desenvolvidos na área estuarina do Rio Formoso sobre o zooplâncton (Neumann-Leitão *et al.*, 1994) indicaram a presença de 46 táxons, destacando-se Copepoda em estágio naupliar e adulto, com 12 espécies, sendo as mais abundantes *Paracalanus crassirostris*, *Acartia lilljeborgi*, *Oithona hebes* e *Euterpina acutifrons*. O táxon Tintinnina é representado por 10 espécies, também foi considerado significativo. Os autores observaram a presença de náuplios de *Cirripedia* em todas as estações e horários, enquanto zoeas de *Brachyura* predominaram a noite.

A diversidade de espécie e equitabilidade foram correlacionadas à influência marinha. Atribuiu-se aos aportes durante a preamar, a introdução de uma série de larvas de organismos bentônicos cujos espécimes adultos habitam a área recifal adjacente. Evidenciou-se, ainda, que não existem diferenças significativas de sazonalidade. A associação de espécies, segundo os autores, apresentou a ocorrência de uma única população característica de áreas costeiro-estuarinas.

Vasconcelos *et al.* (2004) identificaram a meio-fauna correlacionando a presença dos organismos de acordo com a granulometria do sedimento, em material coletado no mediolitoral e infralitoral, a estrutura da comunidade e as variáveis: salinidade, temperatura, teor de matéria orgânica, concentração de clorofila-a e feopigmentos.

A composição foi distribuída por 14 grandes grupos com dominância do Nematoda (58%), seguido de Copepoda com (24%) do total de indivíduos, mostrando a densidade média, no estuário, de 5.003 ind. 10 cm⁻². Das variáveis ambientais medidas, concluiu que a granulometria, além da concentração de

feopigmentos e a presença da vegetação, foram os principais fatores associados para a variação espacial da estrutura da comunidade de meiofauna.

Silva (2006), afirmou que as condições ambientais do estuário do Rio Formoso influenciam na freqüência do camarão-branco *Litopenaeus schmitti*, sendo a espécie encontrada em fundos lamosos e com alto teor de matéria orgânica e em águas de pouca profundidade.

A densidade populacional amostrada variou de acordo com a estação de estudo, sendo maior na estação mediana do estuário. Além disso, a salinidade nesta estação oscilou em torno entre 15‰ a 40‰, sendo considerado, pelo autor, como fator favorável para a distribuição do camarão no estuário; por fim, pôde identificar que os índices pluviométricos dos meses chuvosos favoreceram a freqüência da espécie.

2.8 – População

De modo geral, pode-se caracterizar a população dos Municípios adjacentes ao Estuário como predominante urbana, tendo taxas de urbanização em Tamandaré de 69,2%, seguida por Rio Formoso, 61,4% e Sirinhaém por 53%, de acordo com os levantamentos realizados pelo Instituto de Geografia e Estatística - IBGE (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Distribuição da população por situação de domicílio – 2007

Município	Área km ²	Total	Dens. Demográfica hab/km ²	Urbana	(%)	Rural	(%)
Rio Formoso	339,6	21.024	60,9	12.912	61,4	8.112	38,6
Sirinhaém	355,2	36.414	92,7	19.299	53	7.714	47
Tamandaré	98,5	18.137	172,5	12.550	69,2	5.587	30,8

Fonte: IBGE, Contagem da População - 2007.

A composição setorial do produto interno bruto (PIB), dos três municípios, reflete as suas características urbanas. Dentre as atividades econômicas, o setor de serviços oferece maior participação, onde Tamandaré apresenta 64,5%, enquanto Sirinhaém alcança 50,6% e Rio Formoso 47,4%. Contudo, se observa intensa participação no setor de indústria, onde Rio Formoso apresenta 31,6%, Sirinhaém,

26,3% e Tamandaré, 23,3% da população economicamente ativa no ano de 2007. As atividades primárias, por outro lado, ainda representam uma parcela significativa no universo produtivo, destacando em Sirinhaém, com 18,4% (Tabela 2.2).

Quanto ao abastecimento de água, o Município de Rio Formoso apresentou 44% dos domicílios ligados a rede geral e 46% utilizando águas de poços, nascentes ou outras fontes de captação. Sirinhaém, 47,5% interligado ao sistema de abastecimento e 52,5% dos domicílios fora da rede, enquanto 53,7% dos domicílios do Município de Tamandaré estavam interligados a rede geral e 46,3% não tinham abastecimento formal.

Tabela 2.2 – Composição Setorial do PIB, segundo as atividades econômicas – 2007

Atividades econômicas	Rio Formoso (%)	Sirinhaém (%)	Tamandaré (%)
Agropecuária	13,6	18,4	7,5
Indústria	31,6	26,3	23,3
Serviços	47,4	50,6	64,5

Fonte: IBGE, Contagem da População - 2007.

O saneamento, em 2007, apresentou segundo a cobertura do sistema de rede de esgotos, uma distribuição em Rio Formoso de 28% dos domicílios com algum tipo de esgotamento. Em Sirinhaém e Tamandaré apenas 3% dos domicílios encontram-se interligados a um sistema de esgotamento sanitário.

Quanto ao destino de lixo, em Rio Formoso 39,8% é coletado, em Tamandaré 49,8% e Sirinhaém registra maior percentual de coleta, 50,4% (Tabelas 2.3, 2.4 e 2.5).

Tabela 2.3 – Rio Formoso: Domicílios por forma de abastecimento d'água, sistema de esgoto e destino do lixo – 2007

Total de Domicílios	Abastecimento d'água			Fossa séptica ou rede geral de esgoto	Destino do lixo	
	Rede geral	Poço ou Nascente	Outro		Coletado	Outro
4.362	1.918	1.324	1.120	1.239	1.736	2.626

Fonte: IBGE, Contagem da População - 2007.

Tabela 2.4 – Sirinhaém: Domicílios por forma de abastecimento d'água, com banheiro ou sanitário, e destino do lixo – 2007

Total de Domicílios	Abastecimento d'água			Fossa séptica ou rede geral de esgoto	Destino do lixo	
	Rede geral	Poço ou Nascente	Outro		Coletado	Outro
6.749	3.206	2.453	1.090	209	3.404	3.345

Fonte: IBGE, Contagem da População 2007.

Tabela 2.5 – Tamandaré: Domicílios por forma de abastecimento d'água, com banheiro ou sanitário, e destino do lixo – 2007

Total de Domicílios	Abastecimento d'água			Fossa séptica ou rede geral de esgoto	Destino do lixo	
	Rede geral	Poço ou Nascente	Outro		Coletado	Outro
3.879	2.084	1.157	638	128	1.933	1.946

Fonte: IBGE, Contagem da População - 2007.

A partir do alto percentual de residências fora de algum tipo de esgotamento e inferindo que este deve ser mais acentuado para a rede de coleta e tratamento de esgoto, concentrando-se sobre a utilização de fossas e somado ao uso de meios de captação de água sem tratamento, infere-se um quadro de alta vulnerabilidade para a saúde pública e risco constante de contaminação da população por patologias hidrotransmissíveis, sendo agravado pelo precário sistema de coleta de lixo.

A população de Rio Formoso apresentou uma esperança de vida ao nascer de 64,62 anos, taxa de alfabetização de adultos de 66,22% e renda *per capita* (em R\$ de 2000) de 81,97. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) foi de 0,621 (89º na listagem de 185 municípios do Estado de Pernambuco).

A população de Sirinhaém apresentou uma esperança de vida de 67,43 anos, taxa de alfabetização de adultos de 66,64%, renda *per capita* (em R\$ de 2000) de 86,48. Quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), foi de 0,633 (73º na listagem de 185 municípios do Estado).

A população de Tamandaré apresentou uma esperança de vida de 62,60 anos, taxa de alfabetização de adultos de 63,12%, renda *per capita* (em R\$ de 2000) de 84,15 e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) de 0,596 (125º na

listagem de 185 municípios do Estado). De modo geral, a maior parte da população é composta por contingentes que devem ser atendidas nas diversas faixas escolares, do ensino básico ao superior (Fig. 2.4). Esta informação é importante tanto para aspectos do planejamento em geral como, de modo particular, para a especificidade dos conteúdos de educação ambiental.

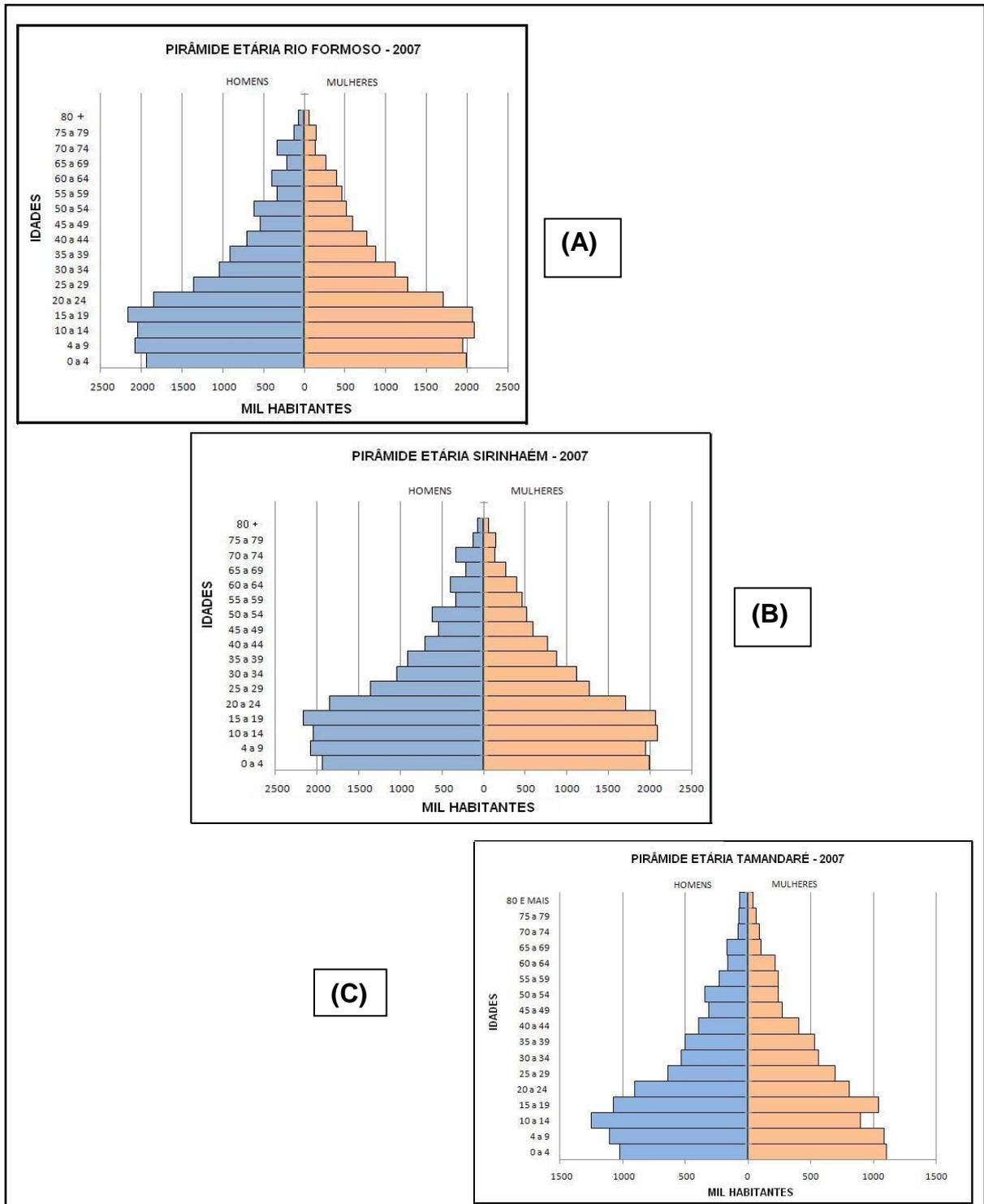


Figura 2.4 – Pirâmides etárias. Populações de Rio Formoso (A), Sirinhaém (B) e Tamandaré (C). Fonte: IBGE, Contagem da População – 2007 (Org. pelo autor).

3 – SISTEMA ESTUARINO

3.1 – Fundamentação Teórica

De acordo com o *Geophysics Study Committee* (1999), os estudos em sistemas estuarinos devem compreender uma estruturação interdisciplinar abrangendo, além do estuário, as áreas adjacentes. Essa orientação está baseada na importância científica, ambiental e socioeconômica do sistema estuarino.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram definidos e integrados os seguintes componentes:

- Qualidade ambiental do sistema através da qualidade da água e caracterização sedimentológica; e
- Hidrodinâmica, granulometria e morfologia estuarina, como processos transformadores da distribuição, variabilidade e da paisagem;

De modo geral, os estuários são encontrados ao redor do globo em qualquer condição de clima e maré. Apresentam melhor desenvolvimento nas planícies costeiras das médias latitudes, adjacentes às plataformas continentais que atualmente estão submergindo sob a elevação relativa do nível do mar. Esta elevação relativa teve início há 15.000 anos quando o nível do mar se situava em média a 120 m abaixo do seu nível atual. A rapidez na elevação do nível do mar representou um importante papel para a formação dos estuários atuais, uma vez que a inundação dos vales dos rios, pela água marinha, ocorreu mais rapidamente do que a sedimentação que os poderia ter preenchido.

Adaptando a definição de Pritchard (1967), pode-se considerar um estuário como um ambiente hídrico costeiro, semi-fechado, com livre conexão com o oceano, estendendo-se, à montante, até o limite de influência da maré, e no qual a salinidade da água marinha é mensurável quando diluída pela água fluvial. Para Dalrymple *et al.* (1992), um estuário é definido como a área “*em contato com o mar de um vale inundado, que recebe sedimentos de origem tanto fluvial como marinha e submetida*

a ação das ondas, marés e rios. Se estende desde o limite superior de influência das marés até o limite das fácies marinhas costeiras.”

Um estuário pode ser compartimentado em setores ou zonas, segundo características específicas. Kjerfve (1987), considerando, principalmente como parâmetro a salinidade, sugeriu dividir em: Zona de Maré, de baixa salinidade, mas sobre influência da maré mecânica; Zona de Mistura, caracterizada pela interação entre as águas fluviais e marinhas; e Zona Costeira, sob influência proximal marinha, estendendo-se até a frente da pluma estuarina delimitando a Camada Limite Costeira.

Atribue-se, com esse entendimento, que o sistema estuarino pode ser classificado segundo determinados parâmetros que especificam características de formação e evolução. Assim, de acordo com a literatura, são elaboradas classificações para o sistema estuarino considerando a circulação interna, a geomorfologia, a estrutura salina e a estratigrafia.

Atualmente, ocorrem fenômenos de aumento relativo do mar, tendo como causa considerada o aumento da temperatura global. Por outro lado, verifica-se o preenchimento dos estuários, acelerado pela supressão da vegetação ciliar.

O processo de preenchimento é uma ação contrária a submergência. Logo, a existência de ambientes estuarinos é função do balanço entre as flutuações do nível do mar e o volume de sedimento carregado pelos rios. Desta forma, quando a taxa de elevação do nível do mar é maior que a taxa de preenchimento, os estuários são bem desenvolvidos. De um modo geral, depósitos sedimentares antigos característicos de estuários fazem parte de uma série de eventos transgressivos (Fig. 3.1).

3.2 – Classificações dos Estuários

Os estuários podem ser classificados segundo a hidrodinâmica, considerando os fluxos hídricos de maré ou ondas, a salinidade, a estratigrafia e pelas características geomorfológicas.

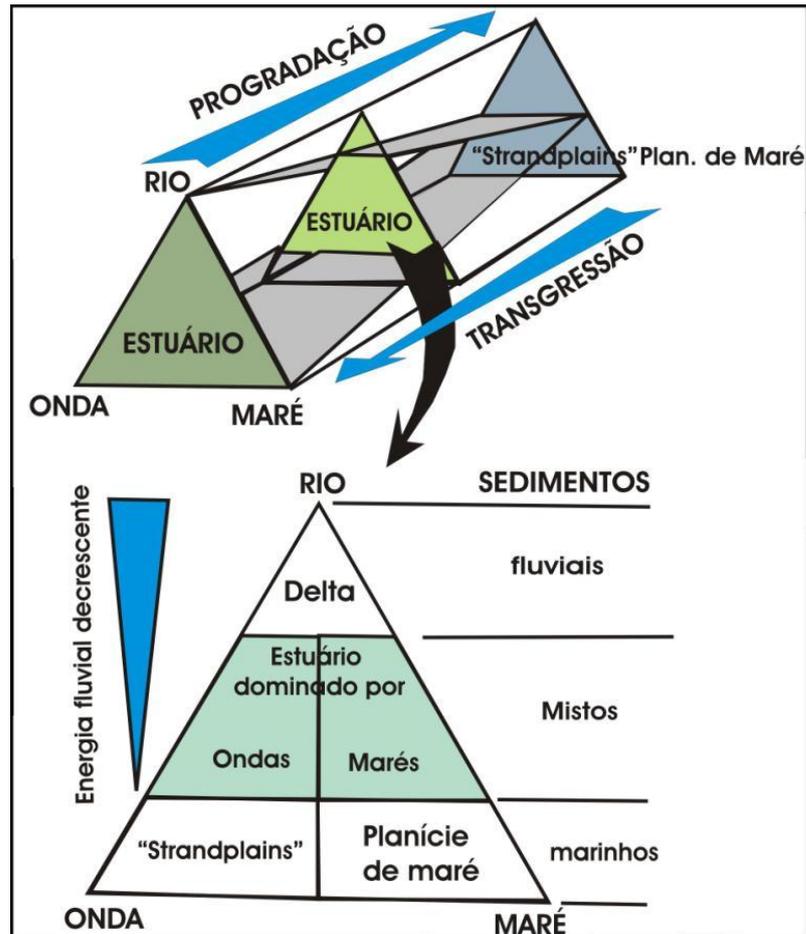


Figura 3.1: Classificação evolutiva dos principais sistemas sedimentares costeiros (Adaptado de Dalrymple *et al.*, 1992).

3.2.1 – Classificação Segundo a Hidrodinâmica

Em uma classificação para estuários, que tenha a hidrodinâmica como parâmetro, deve-se considerar que para a formação do estuário, a morfologia da costa esteve sob condições de transgressão marinha. Pode-se admitir que os estuários sejam sistemas de existência efêmera, considerando-se a escala geológica.

Por sua localização e configuração, o sistema estuarino apresenta variação e intensidade na hidrodinâmica interna. O estuário, neste caso, pode ser classificado a partir do predomínio da energia de ondas ou de marés (Figs. 3.2 e 3.3)

Estuário Dominado por Ondas

A distribuição da energia das ondas na entrada e ao longo dos estuários possibilita a formação de barreiras ou de cordões litorâneos, tanto emersos como submersos. Os cordões diminuem a ação interna das ondas e das marés. Podem ter uma ou duas conexões com o continente. Em geral, a distribuição granulométrica das fácies apresenta disposição grosso-fino-grosso.

Estuário Dominado por Marés

A maior parte dos estuários se encontra dentro do limite classificado como zona de macromaré e possuem um formato afunilado. Alguns se encontram em zona de mesomaré e tendo baixo impacto das ondas. Nessas condições, as marés são dominantes na entrada dos canais, e as barreiras, bem desenvolvidas, minimizam a energia das ondas. As barreiras são alargadas com direção paralela a da corrente. São constituídas por areias médias a grossas e apresentam estratificação oblíqua.

A largura das barras reflete a aceleração das correntes de maré de preamar até o limite de influência. Este limite é condicionado pela compensação da fricção do fluxo hídrico com o fundo e as bordas do canal.

Nos sistemas estuarinos, de modo geral, existem duas correntes hidrodinâmicas principais: a corrente fluvial e a corrente marinha, esta última, representada principalmente, pelos fluxos das marés.

O tipo de maré que ocorre na costa pernambucana é semidiurna. Apresenta como característica, uma curva aproximadamente sinusoidal, com duas preamares (PM) e duas baixa-mares (BM) por dia, estando intercaladas por um período de pouco mais de 6 horas, podendo ocorrer uma pequena variação de altura entre duas PM (ou BM) sucessivas.

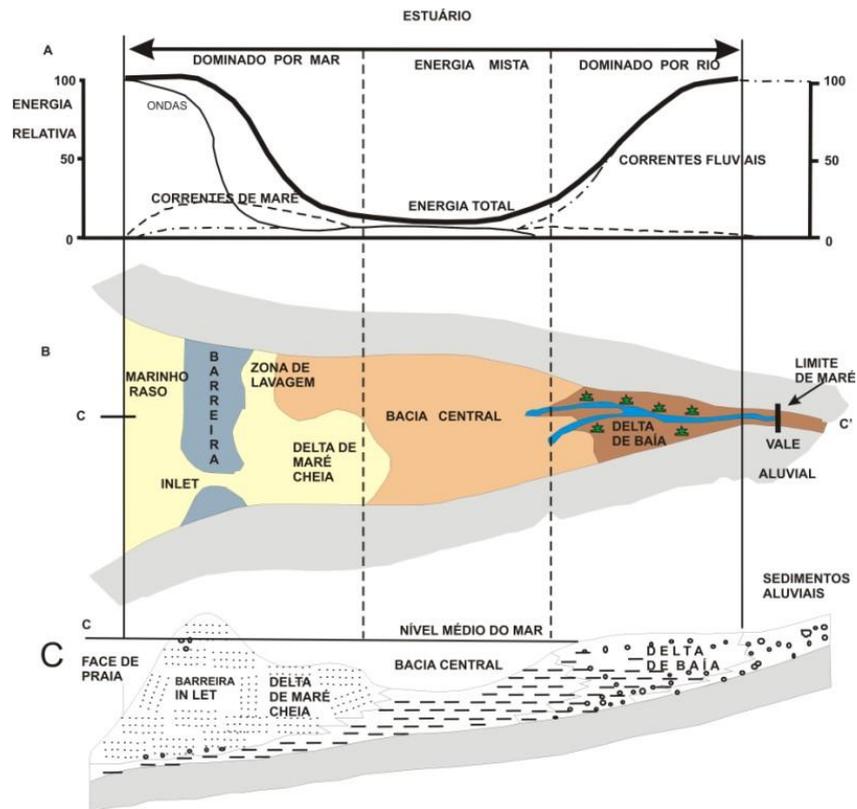


Figura 3.2: Estuário dominado por ondas. Em A) tipo de energia; B) componentes morfológicos, em planta; e em C) fácies sedimentares em seção longitudinal c-c' (Modificado de Dalrymple *et al.*, 1992).

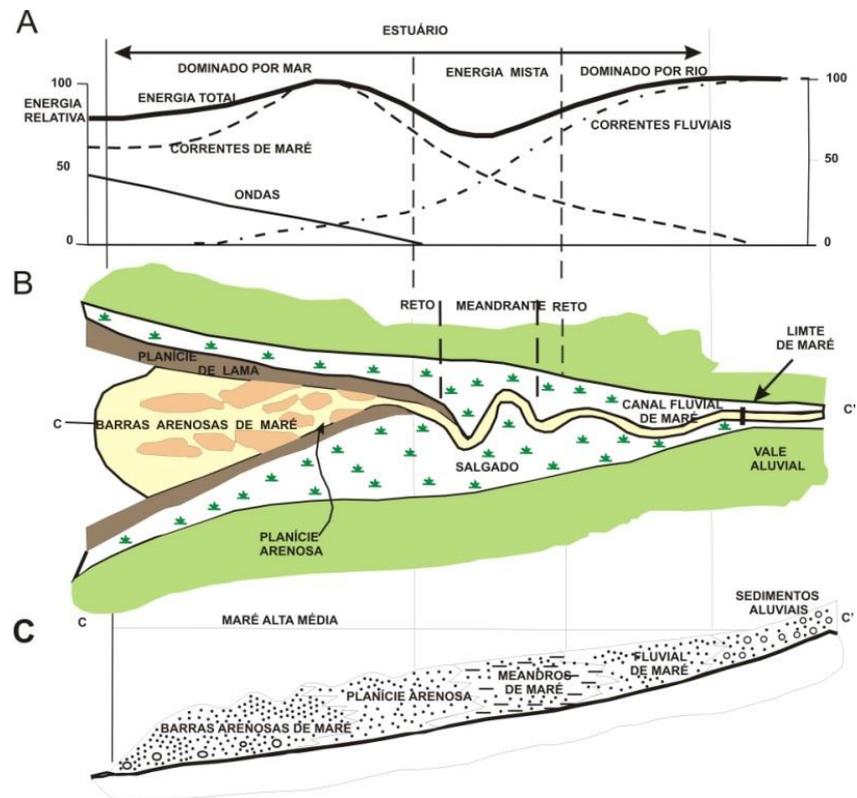


Figura 3.3: Estuário dominado por marés. Em A) tipo de energia; em B) componentes morfológicos, em planta e C) As fácies sedimentares. A Seção CC' representa o eixo do canal e não mostra as fácies de planícies de lama marginais e o salgado (Modificado de Dalrymple *et al.*, 1992).

3.2.2 – Classificação Segundo a Salinidade e Estratigrafia

Por ser um ambiente de transição entre o marinho e o fluvial, destaca-se como variação espacial e temporal da salinidade. A variação está dentro do limite $0,5 - 40\text{ ppm}$. Destacam-se como fatores controladores da salinidade e da circulação: a geomorfologia, o aporte de fluvial e a amplitude de maré. Tem-se como resultado a influência na distribuição da fauna, na densidade da água e na interação dos processos flúvio-marinhos (Quadro 1). Considerando estas variações, e de acordo com Mclusky (1981), a fácies estuarina pode ser dividida em três setores ou compartimentos distintos (Fig. 3.4).

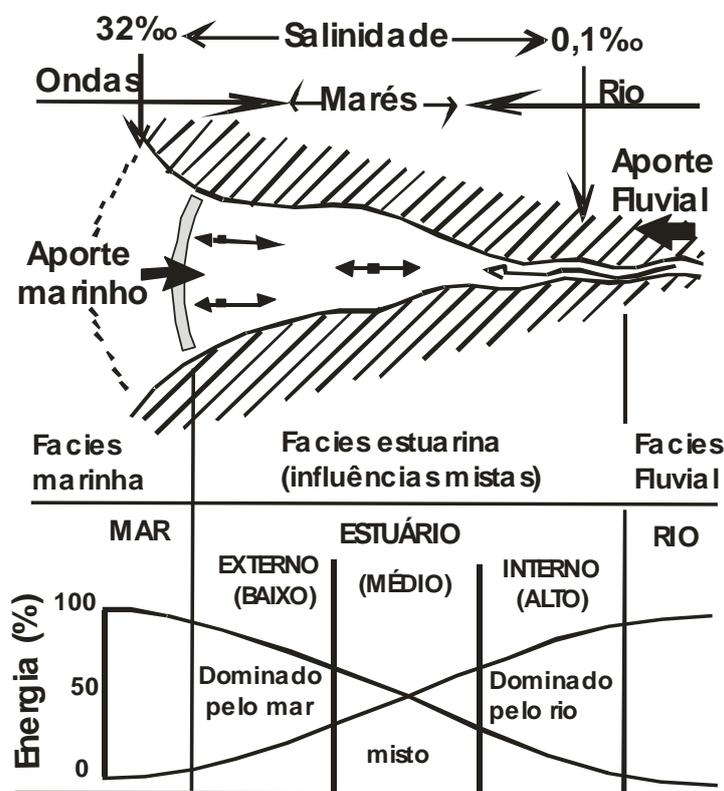


Figura 3.4: Morfologia geral de um estuário e zoneamento segundo parâmetros físicos: salinidade, processos sedimentares, fácies e energia (adaptado de Mclusky, 1981).

Os três setores, de acordo com Mclusky (1981) são:

1. Setor Interno - Parte superior, à montante, no continente, no qual dominam a influência fluvial, indutora de sedimentos grossos que são depositados nos setores médio e baixo.

2. Setor Médio - Parte central, ou intermediária, caracterizada por sedimentação mais fina, em resposta à menor energia, resultante do relativo equilíbrio hidrodinâmico.

3. Setor Baixo - Parte inferior (distal, desembocadura), a jusante. Apresenta-se dominada por ondas ou por marés. Esta característica induz à sedimentação predominante de areias grossas e mobilização desse material, pelas águas, em direção à montante.

Quadro 1: Divisão do Estuário segundo a Salinidade e Distribuição dos Organismos
(Adaptado de Mclusky, 1981)

Divisão do Estuário	Salinidade (ppm)	Zona	Classificação ecológica, distribuição dos organismos no estuário
Rio	< 0,5	Linética	<div style="text-align: center;"> Limnético Oligohalino Mixohalino Verdadeiramente Estuarino Estenohalino Eurihalino Migradores Marinho Marinho </div>
Montante	0,5 – 5	Oligohalino	
Região Superior	5 – 18	Mesohalino	
Região Intermediária	18 – 25	Polihalina	
Região Inferior	25 – 30	Polihalina	
Desembocadura	30 – 40	Euhalina	

Dentro do estuário, a diluição da água marinha pela fluvial, elabora gradientes de densidade determinantes dos padrões de estratificação vertical e do sistema de circulação hídrica. Considerando esta variação no gradiente de salinidade e as suas conseqüências, Day (1981), classificou os estuários em típicos, ou normais; em hipersalinos e; em estuários fechados, descritos a seguir.

Estuários Típicos ou Normais: Correspondem a maioria dos estuários. O gradiente de salinidade aumenta com a proximidade da costa. Observa-se em um ciclo completo de maré a clara tendência na circulação de montante para jusante. A

estratificação permite dividi-los em: estuário de I) Cunha Salina; II) Altamente Estratificado; III) Parcialmente Estratificado e; IV) Verticalmente Homogêneo.

I) Cunha Salina: Caracterizado por uma corrente de água salina que se desloca junto ao fundo, enquanto outra corrente desloca-se na superfície. Este tipo é raro estando associado a alguns fiordes.

II) Altamente Estratificado: Encontrado preferencialmente em fiordes. Caracteriza-se por mostrar uma corrente de água com propriedades intermediárias que intercala a corrente de fundo, salina, e a identificada como fluvial, na superfície.

III) Parcialmente Estratificado: Condição mais comum entre os estuários. Destaca-se por um gradiente vertical da salinidade. Apresenta variados graus de mistura ou estratificação entre as camadas de águas superficiais e das de fundo. Isto permite identificar os sentidos opostos de direção das correntes.

IV) Verticalmente Homogêneo: Caracteriza-se pelo decréscimo da salinidade de jusante para montante (canal acima) e ausência de gradação vertical ou estratificação das águas. A ausência do gradiente vertical de salinidade deve-se à mistura das águas, condicionada pela baixa profundidade e influência determinante das marés.

Estuários Hipersalinos: São aqueles onde nível d'água interior é inferior ao nível médio do mar, dominando o fluxo de jusante para montante, indicando que a água marinha penetra no sistema. Outro processo, responsável pela hipersalinidade da água, ocorre quando a evaporação excede o influxo de água continental. Desse modo, considera-se que o gradiente de salinidade é invertido, ou negativo;

Estuários Fechados: Com o desenvolvimento das barras arenosas, pode ocorrer o fechamento, ainda que temporário, da saída do estuário. Quando isso acontece, a influência marinha pode se tornar nula. As condições internas são comandadas pela evaporação, pelos aportes de água pluvial e fluvial, além da percolação intragranular através da barra arenosa. Estas condições podem fazer o gradiente de salinidade variar de hiposalino à hipersalino;

3.2.3 – Classificação Segundo a Geomorfologia

A configuração da geomorfologia estuarina, tem relação com a origem e a localização. A partir deste enfoque Pritchard (1967), classificou os estuários, segundo a geomorfologia em: 1- Vales de Rios Afogados, 2- do Tipo Fiorde, 3- em Barra e 4- de Origem Tectônica.

1- Os Vales de Rios Afogados, também denominados de Estuários de Planície Costeira, são formados a partir dos movimentos de transgressão marinha. Com maior aporte de água, ocorre seu avanço em direção ao continente e inundação dos vales anteriormente inseridos na planície costeira.

Estes estuários tiveram sua formação destacada durante a Transgressão Flandriana. Possuem topografia similar aos atuais, pois a sedimentação e a inundação não possuíram o mesmo ritmo. Localizam-se nas seções transversais dos vales subaéreos e apresentam profundidade máxima de cerca de 30m.

2- Estuários do tipo Fiorde: os fiordes são vales escavados pela erosão glacial e, após o degelo, inundados pelo mar. São comumente encontrados nas altas latitudes. Os vales têm o corte transversal com forma próxima à retangular e o leito em forma de U. Em geral, o substrato é rochoso, apresenta depósitos sedimentares na cabeceira e o aporte hídrico fluvial é comparativamente menor que o volume total da área. Podem ser citados como exemplos o *Sagne*, na Noruega, o *Milford Sound*, na Nova Zelândia (Fig. 3.5), e o *Loch Etive*, na Escócia (Fig. 3.6).

3- Estuários em barra: desenvolvidos a partir da inundação dos vales fluviais, após o degelo das geleiras formadas durante a Idade do Gelo (Glaciação *Wisconsin*). As barras são longitudinais à costa, protegendo-a ao contrapor-se à ação das ondas marinhas. Apresentam-se extensos, quando há significativo aporte de sedimentos e pequena variação de maré. Como exemplos, o complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, Brasil e o estuário *Vellar* na Índia (Figs. 3.7 e 3.8).



Figura 3.5: Estuário *Milford Sound* (Nova Zelândia), onde se pode visualizar o vale suspenso em forma de “U”, do qual verte uma queda d’água (Fonte: <http://scherfamily.com>, 15/09/2006).



Figura 3.6: *Loch Etive* (Escócia), apresentando vertentes côncavas, formando um largo vale inundado (Fonte: <http://www.electricscotland.com>, 15/09/2006).



Figura 3.7: Estuário-lagunar de Cananéia-Iguape, Brasil. Na vista superior da imagem, percebe-se a barra que caracteriza o estuário. (Fonte: *Google Earth*, 15/09/2006).



Figura 3.8: Estuário *Vellar* na Índia. Na imagem, o canal formado pela estreita abertura na extensa barra, desenvolvida ao longo da costa, permite fluxo hídrico entre o mar e o rio (Fonte: *Google Earth*, 15/09/2006).

4- Origem tectônica; Estão localizados em margens tectonicamente ativas e montanhosas. São formados por falhamentos, por movimentos verticais de trechos do continente (rebaixamento e elevação de blocos). Durante a subsidência ocorre, a invasão das águas marinhas e com o posterior soerguimento, a drenagem continental exorréica forma o estuário. Podem apresentar *rias*, cuja sedimentação está associada à reativação dos processos erosivos quando da elevação dos blocos tectônicos (Fig. 3.9).

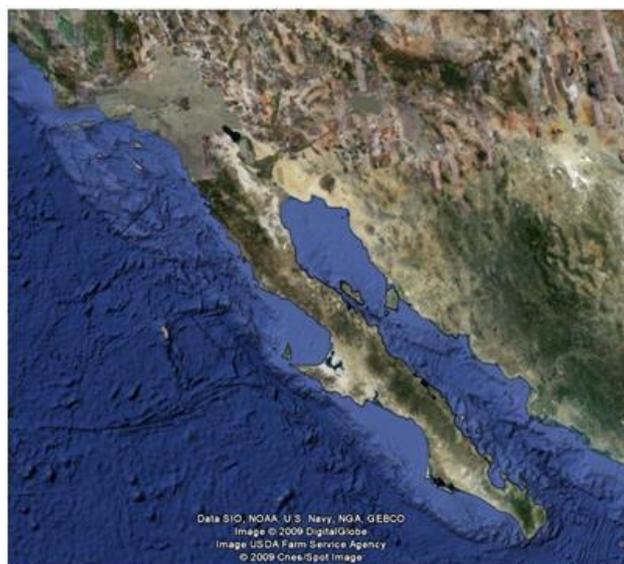


Figura 3.9: Baía de São Francisco – EUA, exemplo de estuário com origem tectônica. Fonte: *Google Earth*, 15/09/2006).

As *rias*, propriamente ditas, constituem um vale costeiro submergido ou estuário que foi tomado pelo mar, resultando em um braço de mar que se introduz na costa, coincidente com a desembocadura de um rio, sendo também observada a influência das marés.

Têm a sua formação, inicialmente, em um vale escavado e ocupado por glaciares, posteriormente, com o degelo, são inundados pelo mar. As rias são especialmente frequentes no litoral do noroeste da Espanha (Fig. 3.10).

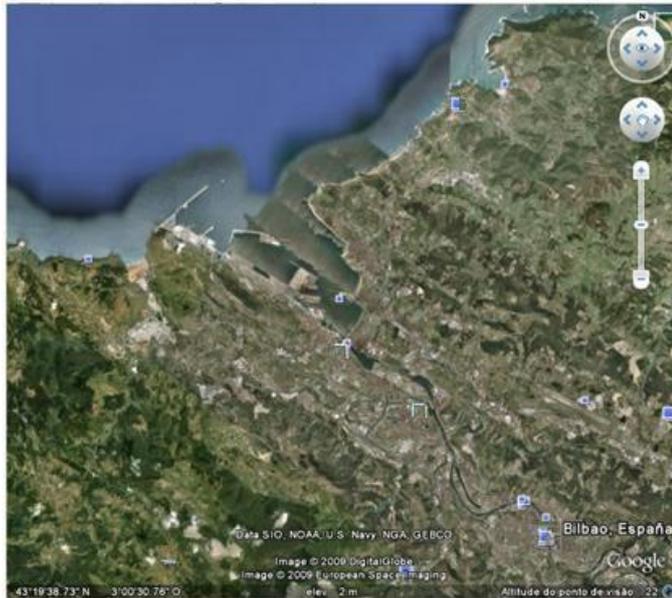


Figura 3.10: Vista da ria de Bilbao, na Espanha. Fonte: *Google Earth*, 15/09/2006).

3.3 – Classificação do Estuário do Rio Formoso

Considerando as classificações expostas, de acordo com a literatura, o Estuário do Rio Formoso pode ser classificado como dominado por maré, mas apresentando destacada participação da ação das ondas nas margens, durante as marés altas. Quanto à geomorfologia, é classificado como do tipo de origem tectônica, determinada a partir do sistema de falhas e fraturas. Este sistema de falhas e fraturas indica a influência das atividades tectônicas na configuração da drenagem dos rios que constituem o estuário.

Por fim, segundo a estratificação da salinidade, é classificado como típico ou normal sendo verticalmente homogêneo e bem misturado.

4 – ESTUDOS DA GEOFÍSICA ESTUARINA - BATIMETRIA E IMAGEAMENTO

4.1 – Introdução

Este capítulo aborda os estudos geofísicos desenvolvidos no estuário do Rio Formoso. A geofísica corresponde um conjunto de técnicas para aquisição de dados de forma indireta através da utilização de equipamentos. A importância da aplicação de métodos geofísicos, para aquisição de dados, esta na otimização das atividades e maior alcance dos levantamentos quando comparados com os métodos diretos, por vezes, altamente custosos.

Os métodos geofísicos utilizados neste trabalho foram os levantamentos batimétrico por eco sondagem e o imageamento com recobrimento por sonar de varredura lateral (*side scan sonar*). Foram gerados mapas e perfis batimétricos do estuário, além de imagens de fundo de um trecho do canal, visando a identificação e configuração morfológica do fundo do estuário do Rio Formoso.

4.2 – Batimetria por Eco sonda

A identificação e configuração do relevo de fundo são expressas cartograficamente por cotas batimétricas. Estas cotas geram curvas que unem pontos de mesma profundidade com equidistâncias verticais, de modo análogo às curvas de nível da altimetria. O estudo batimétrico tem como finalidade mostrar, com precisão, o relevo superficial do fundo em qualquer corpo d'água. Sua execução, na área de estudo, apresenta importância prática para as atividades de navegação, além do desdobramento no conhecimento da hidrodinâmica e na evolução da geomorfologia fluvial e estuarina.

4.2.1 – Materiais e Métodos

A bordo do barco de pesquisas (*Research Vessel*) R/V Velella, pertencente ao Projeto Recifes Costeiros, os dados foram obtidos por uma eco sonda com sistema

de posicionamento integrado *GARMIN GPSMAP 185 Sounder*, durante a execução de noventa perfis batimétricos, transversais e longitudinais do canal e principais afluentes, no dia 03 de março de 2006 (Fig. 4.1). Procurou-se manter uma distância aproximada de 200 m entre os perfis e tendo como limite a profundidade de 1 m, em razão do calado da embarcação.

O trabalho de campo, de montante para jusante, teve início às 05h32min e término às 12h10min, perfazendo cerca de 6 horas e 40 minutos de levantamento, determinado pelo período da maré.

Os valores de profundidade foram corrigidos com base na Tábua de Marés do Porto de Suape, publicada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2006). Para maior precisão, durante a execução dos trabalhos, foram estabelecidas três estações linigráficas e tomadas leituras a cada 15 minutos durante um ciclo enchente/vazante/enchente. A sobreposição das curvas, da estação maregráfica da praia dos Carneiros e a da tábua de maré do Porto de SUAPE-PE, indicou o atraso da preamar (PM), entre o Porto (distante cerca de 36 km) e a desembocadura do estuário (Fig. 4.2). A sobreposição das curvas maregráficas das estações de controle, indicam o atraso interno da PM e da BM, entre as estações e representam o prisma de maré (Fig. 4.3).

No processamento e pós-processamento dos dados foram utilizados *softwares* específicos. No processamento, os dados foram editados para que os problemas ocorridos durante a aquisição fossem corrigidos. Durante este processo também se efetivou a correção do nível da maré, ou seja, os dados levantados foram reduzidos para uma mesma situação de maré (baixa-mar), tendo como base os dados da tábua de maré do Porto de SUAPE e das estações linigráficas. Após todos estes procedimentos, os dados foram exportados para realizar o pós-processamento.

O pós-processamento consiste no tratamento de dados de uma planilha na qual constam os pontos amostrados com hora da aquisição, profundidade, latitude, longitude e observações referentes a determinados trechos do perfil. Inicialmente, estes dados foram plotados sobre a base cartográfica, para que se pudesse verificar a confiabilidade desta base e utilizá-la na edição final dos dados. Verificou-se, neste caso, que as margens digitalizadas da base não estavam satisfatoriamente georreferenciadas. A partir dos dados levantados e plotados, foi digitalizada uma nova margem, com maior legitimidade em relação ao posicionamento georreferenciado.

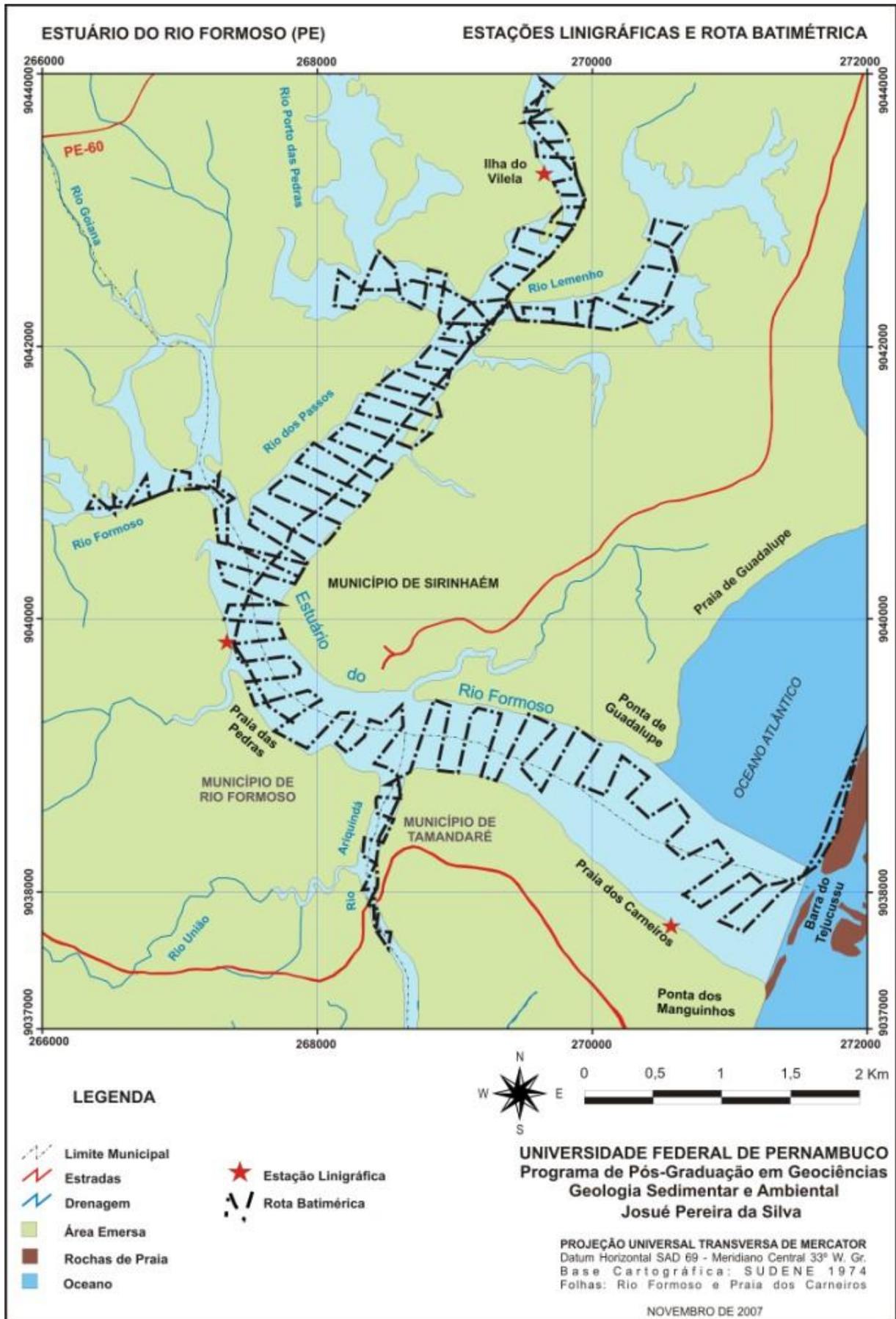


Figura 4.1 – Mapa com a localização das estações linigráficas e da rota batimétrica.

Os valores obtidos, após tratamento e análise, serviram como referência temporal e espacial da determinação da altura, da amplitude e da velocidade das marés, sempre comparando com a Tábua de Maré do Porto de Suape.

Ao produto gerado, com a digitalização das margens corrigidas, foram então somados os dados levantados em campo e adequadamente processados para compor uma planilha com todos os elementos necessários para a geração dos produtos específicos. Estes dados foram processados para se obter um *grid*, ou seja, uma malha retangular que após editoração possibilitou a confecção do mapa batimétrico.

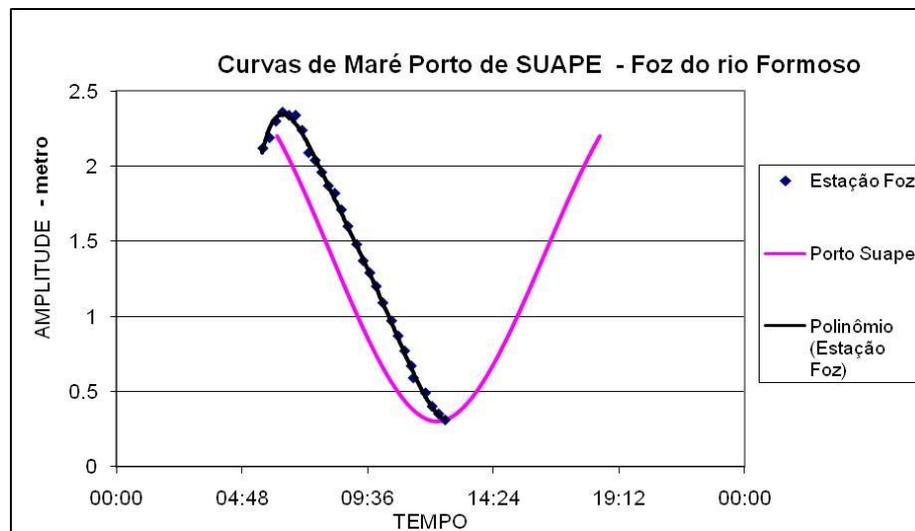


Figura 4.2 – Curvas de maré entre o Porto de SUAPE e a desembocadura do estuário, demonstrando os momentos de maré.

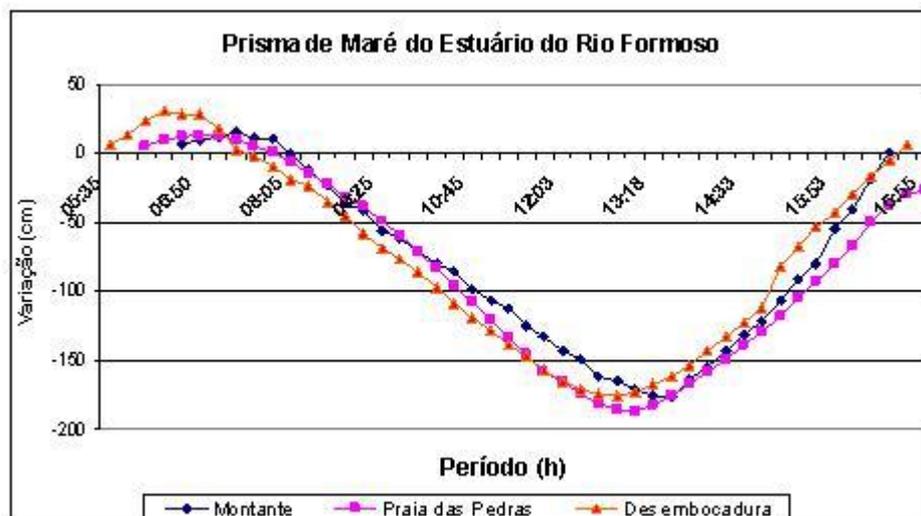


Figura 4.3 – Gráfico da prisma de maré, demonstrando os momentos das marés durante o levantamento batimétrico.

4.2.2 – Resultados e Discussões

Com os dados processados foram confeccionados, como citado, o mapa batimétrico, além dos perfis batimétricos e de um bloco diagrama tridimensional (Modelo Digital Batimétrico) do canal do estuário do Rio Formoso e seus afluentes.

Para facilitar a análise dos dados, o estuário foi dividido em três setores: superior, médio e inferior.

Setor Superior

Localiza-se à montante da Ilha do Vilela, no rio dos Passos, entre as coordenadas UTM 269560 / 9043990 e 267600 / 9040520.

Através do Mapa Batimétrico (Fig. 4.4), pode-se observar o predomínio de cotas batimétricas inferiores à 4m. Próximo à confluência do Rio Formoso e sua montante são encontradas as menores profundidades com predomínio de cotas inferiores a 2m. Localmente são verificadas pequenas depressões, destacando um canal à jusante das confluências dos rios Porto das Pedras, Lemenho e dos Passos, variando entre 3m e 4m, embora tenham sido verificados três pontos com 5m. Na margem esquerda do Rio Lemenho há uma depressão que atinge a cota de 9m de profundidade.

Setor Médio

O setor médio posiciona-se nas coordenadas UTM 267600/ 9040520 e 269330/ 9039120. O trecho corresponde a área localizada entre a confluência do rio Formoso e o rio dos Passos no canal estuarino, à montante, e a confluência do rio Ariquindá, à jusante.

A principal característica deste setor esta relacionada a um canal, à jusante da confluência do Rio Formoso, posicionado na margem direita do estuário. Este canal segue perpendicular até a confluência com Ariquindá. Embora admitindo como limite mínimo, a profundidade de 3 m, predominam cotas superiores à 5m, atingindo 9m de profundidade em trechos ao longo da sua extensão.

Setor Inferior

Representa a parte terminal do canal até a desembocadura limitada pela linha de recifes.

Neste setor, há duas seções mais profundas com cotas superiores a 5 m de profundidade. Uma está localizada na margem esquerda do estuário, a outra se posiciona próximo da desembocadura, paralela à linha de recifes.

O bloco diagrama mostra que em alguns locais a cota batimétrica máxima atinge 11m, na vertente interna da barreira dos recifes, na margem direita do canal estuarino (Fig. 4.5).

No estuário do Rio Formoso, além de trechos com suaves declives, destacam-se áreas com relevo vertical positivo e negativo. O relevo vertical positivo pode ser atribuído aos bancos de areia, considerados como prováveis resultados da hidrodinâmica estuarina; enquanto que as depressões (relevo negativo) podem estar correlacionadas ao sistema de fraturas e falhamentos.

4.2.3 – Perfis Batimétricos

A análise de perfis batimétricos permite e facilita a interpretação do relevo de fundo. Podem ser correlacionados com a sedimentologia, com objetivo de verificar o recobrimento e a participação granulométrica na morfologia. Contribui, ainda, para a observação da evolução geomorfológica da calha fluvial.

Os gráficos foram elaborados a partir dos dados batimétricos coletados no Estuário do Rio Formoso. O critério de escolha destes gráficos foi a significância de representatividade na configuração geral do sistema, levando em conta os três setores e a variação das cotas batimétricas (Fig. 4.6).

Correspondem à rota perpendicular do barco margem a margem. Por convenção, o eixo esquerdo do gráfico, contendo a profundidade, corresponde à margem esquerda do rio; enquanto o eixo oposto, à margem direita. A linha em 0 m, indica a linha da água na baixamar.

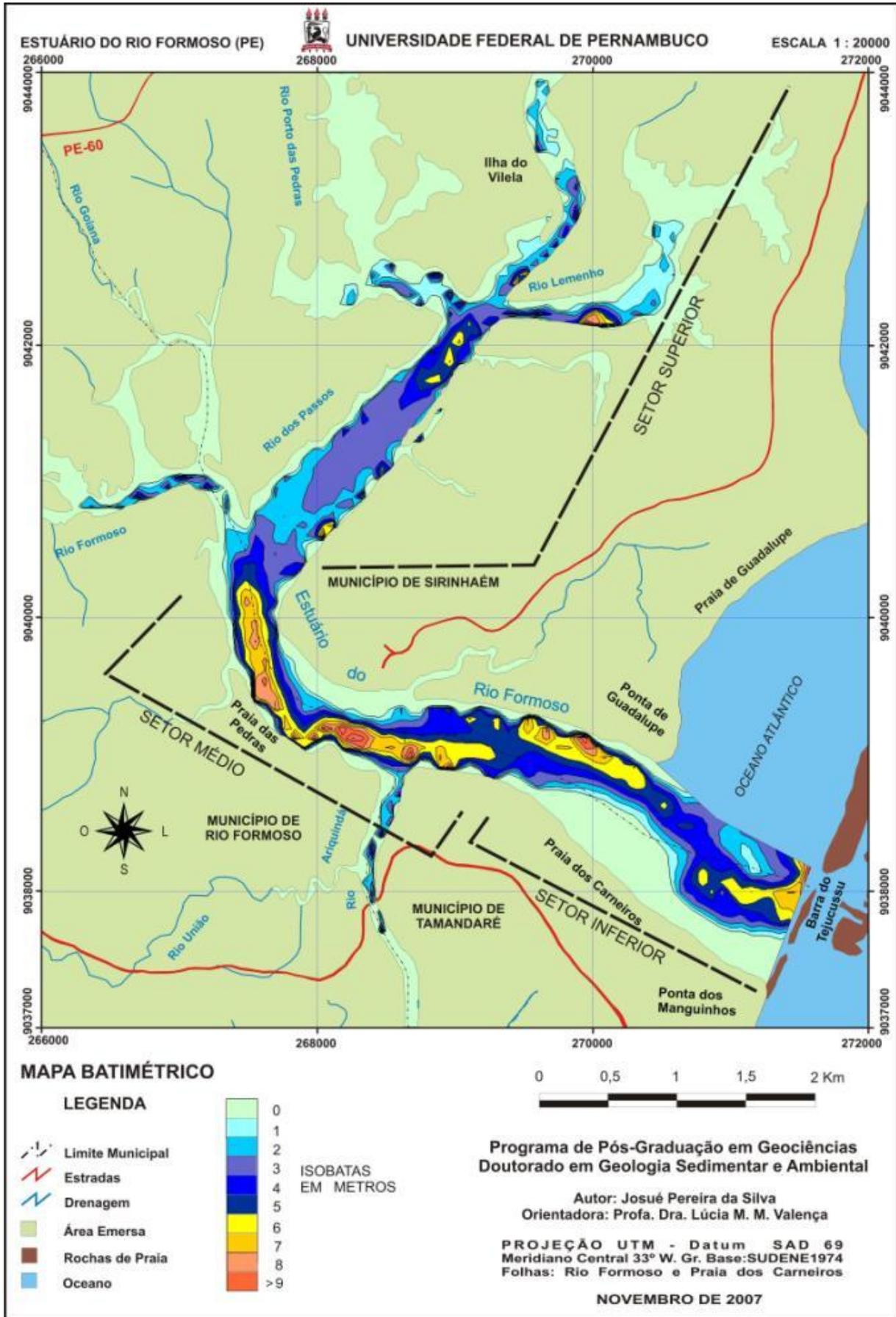


Figura 4.4 – Mapa Batimétrico do estuário do Rio Formoso

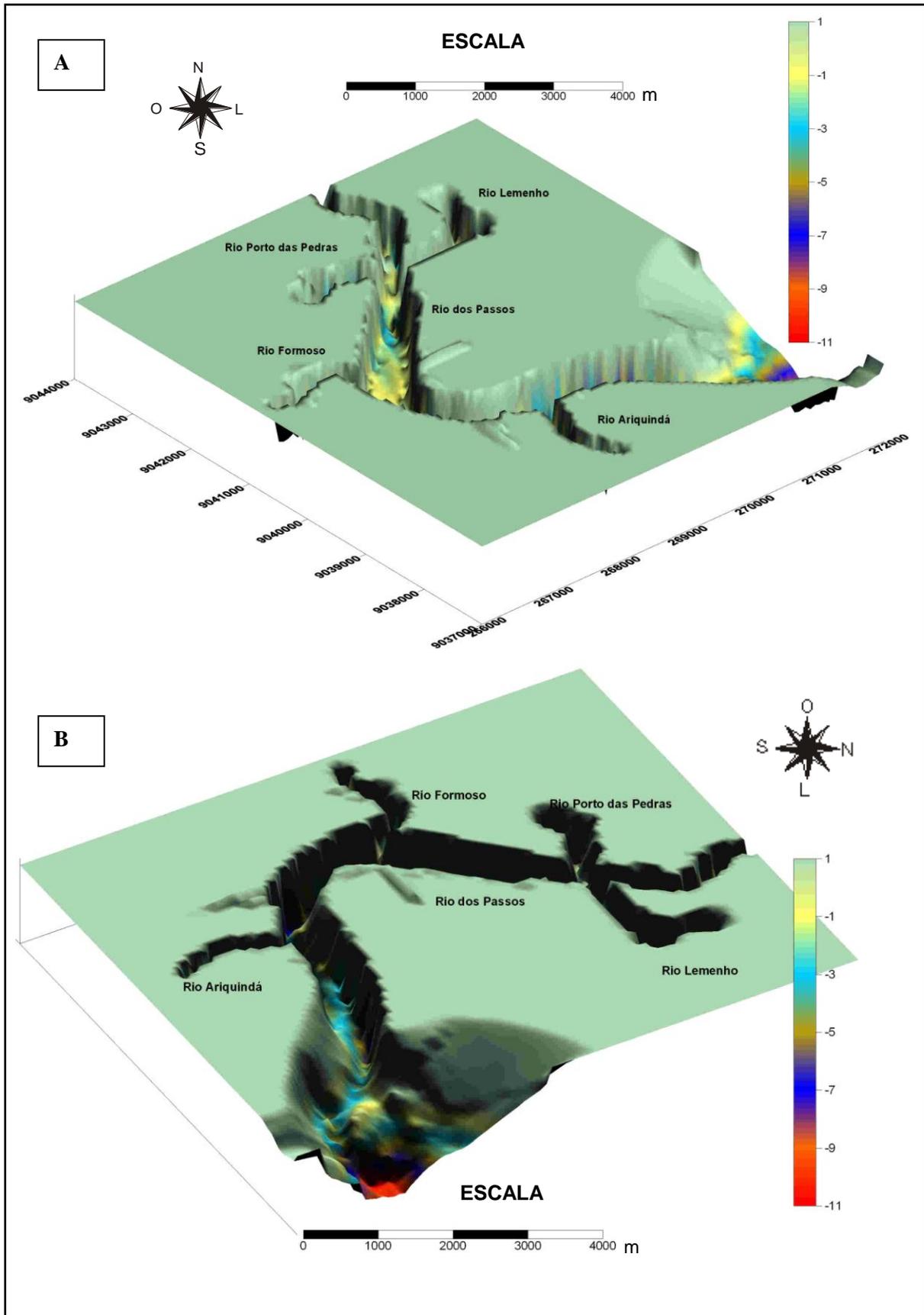


Figura 4.5 – Modelo Digital Batimétrico do Estuário do Rio Formoso. Em A, visão do Rio dos Passos. Em B, detalhe da desembocadura e do canal estuarino.

A linha d'água marcada em zero metro (0m) define o limite entre o leito maior e o leito menor. Cabe lembrar que estes compartimentos são caracterizados pela constância do recobrimento d'água. Enquanto o leito maior apresenta-se submerso de forma periódica (ex. na maré alta), o leito menor é considerado como o compartimento permanentemente submerso.

4.2.3.1 – Perfis Batimétricos Transversais

Entre as coordenadas UTM 269714 / 9043903 e 269585 / 9043935; 269927 / 9043140 e 269742 / 9043125 são representados os perfis 1 ao 7 (Fig. 4.7).

No perfil 1, pode-se observar que a margem esquerda é um pouco mais elevada que a direita, considerando o nível d'água em 0 metro. Apresenta talvegue estreito com cerca de 10 m de largura no fundo, enquanto o espelho d'água do leito menor atinge, aproximadamente, 90 m de largura. A profundidade máxima é menor que 1,5 m.

No perfil 2, nota-se como o predominante desenvolvimento da margem esquerda. Esta margem apresenta gradiente de aproximadamente 1° e morfologia suave.

O talvegue está posicionado na margem direita, com profundidade máxima de 1,8 m. O limite da margem direita do leito menor, embora não facilmente perceptível no gráfico, devido às limitações de obtenção dos dados em razão da presença de vegetação, pode ser estimado que possua mais de 60 m de largura.

No perfil 3, o canal atinge largura aproximada de 230 m, considerando o leito maior, enquanto o leito menor atinge cerca de 50 m. A margem esquerda apresenta configuração relativamente plana até cerca de 90 m. A seguir, ocorre uma declividade de aproximadamente 1° , por mais 40 m, e uma quebra da margem, marca o limite do talvegue, cuja maior profundidade é 1,7 m.

O perfil 4 apresenta na margem esquerda uma suave inclinação com menos de 2° , topografia variando entre 1,6 e 0,7 m, até os 120 m de extensão. A partir deste ponto ocorre uma elevação de 1,2 m e 10 m de extensão. Segue-se nova declividade, por mais 20 m, limitada por uma borda, admitida como início do talvegue. Toda a extensão do leito é permanentemente imersa, atingindo a cota máxima de 3,9 m. A margem direita, ausente no gráfico, apresenta-se recoberta por vegetação de mangue.

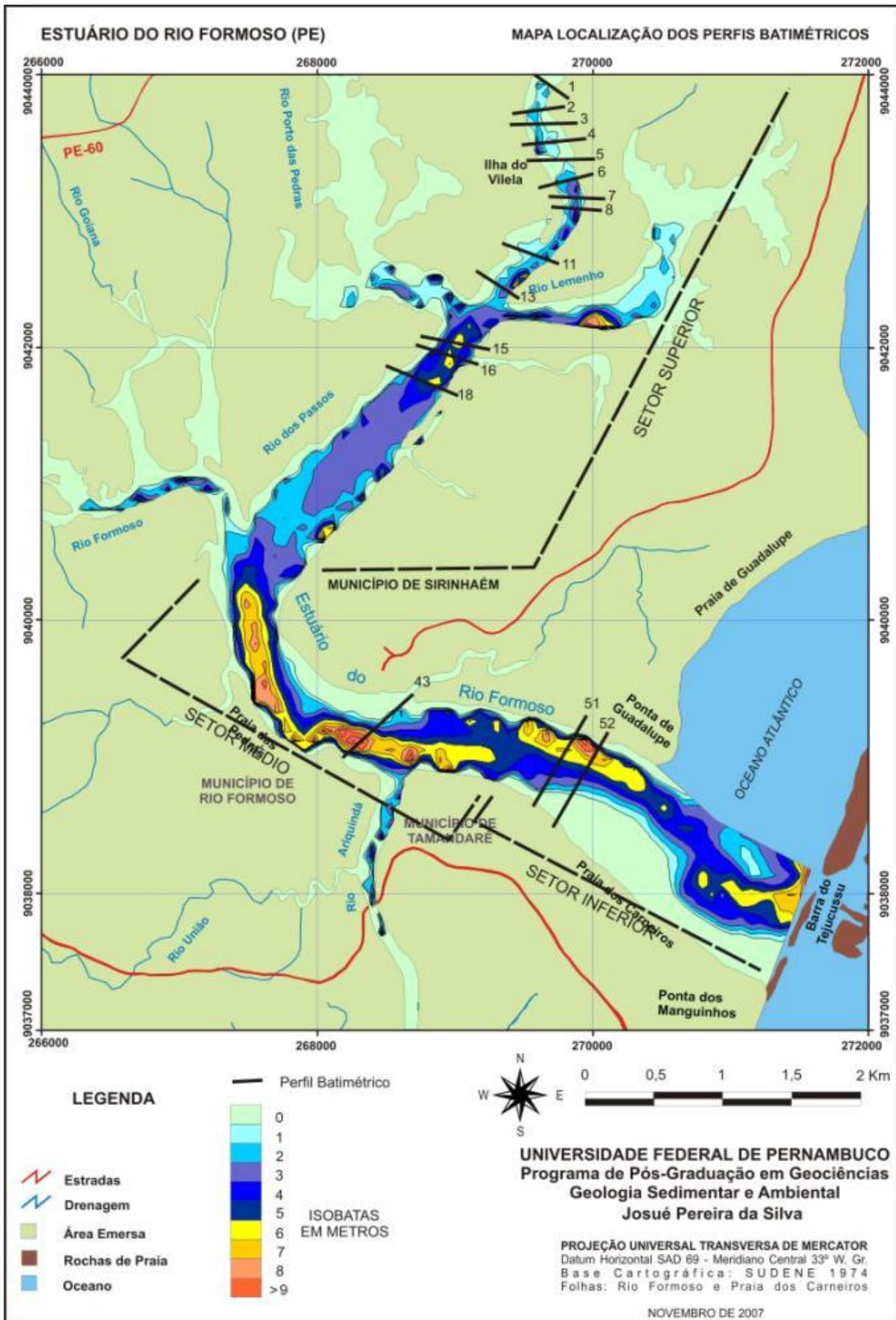


Figura 4.6 –: Mapa de localização dos perfis batimétricos no estuário do Rio Formoso

No perfil 5, destaca-se uma elevação no centro do perfil, possivelmente indicando um depósito sedimentar. A extensão do leito menor, que corresponde a área permanentemente imersa, possui cerca de 50 m, atinge cota batimétrica de 1,9 m, próxima à margem direita.

No Perfil 6, as margens apresentam-se estreitas e íngremes, cujos limites externos ficam emersos durante a maré baixa, caracterizando o leito maior. A lâmina d'água, do leito menor, atinge a extensão de aproximadamente 130m e profundidade máxima de 1,1 m.

No Perfil 7, o canal posiciona-se próximo à margem esquerda e atinge cota máxima de 1,6 m. A lâmina d'água do leito menor alcança 130 m de extensão e o leito maior, aproximadamente 200 m. A margem direita, relativamente plana, tem cerca de 50 m, emersa durante a maré baixa.

Neste trecho do setor superior, os perfis 8, 11 e 13, no Rio dos Passos, apresentam variação batimétrica com pequena diminuição da profundidade. O perfil 8 apresenta cota de 2,5 m, o 11 cota de 2 m, enquanto o perfil 13, apenas 1 m de profundidade (Fig. 4.8). Estes perfis estão localizados a montante das confluências conjuntas dos rios Lemenho e Porto das Pedras. Pode-se considerar que a hidrodinâmica desta área permite condições de sedimentação e conseqüente desenvolvimento de vegetação de mangue nas margens. Estas condições são decorrentes da baixa energia do fluxo hídrico e baixa declividade geral, além da distancia da desembocadura.

Os perfis 15, 16 e 18, no Rio dos Passos, foram escolhidos para análise, por localizarem-se à jusante da confluência conjunta dos rios Porto das Pedras, Lemenho e dos Passos. Representam o trecho mais profundo do setor superior do estuário, atingindo pouco mais de 5 m de profundidade, com o canal apresentando mais de 300 m de largura (Fig. 4.9).

Por corresponder ao trecho de confluência conjunta, esta área recebe maior influência da alternância circulatória hídrica. Ora recebendo fluxo de maré enchente, ora vazante, além da vazão fluvial. Pode-se inferir, portanto, que as condições hidrodinâmicas dificultam a deposição, ao manterem os sedimentos em estado de transporte.

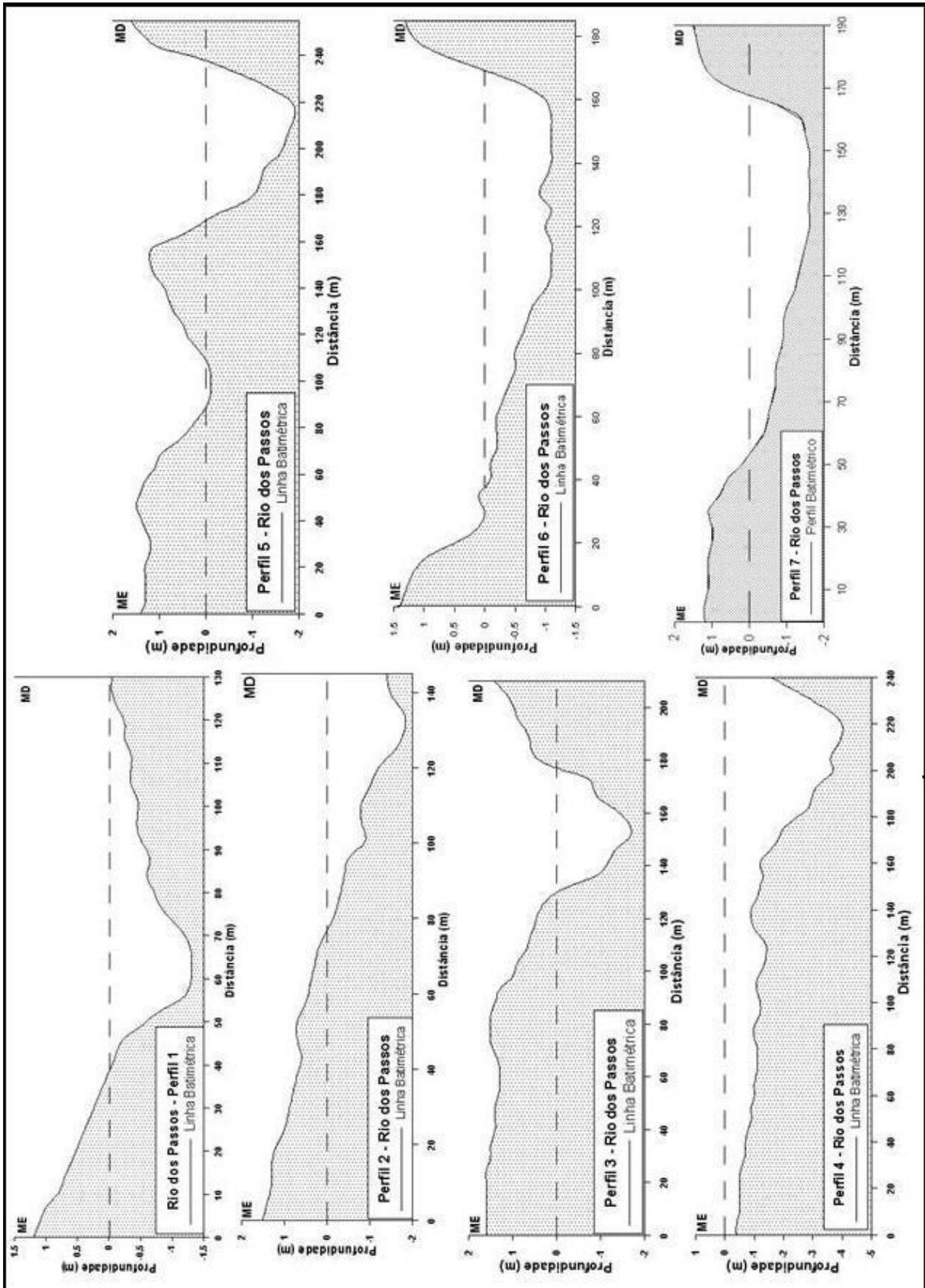


Figura 4.7 – Perfis batimétricos no Rio dos Passos (perfis de 1 a 7).

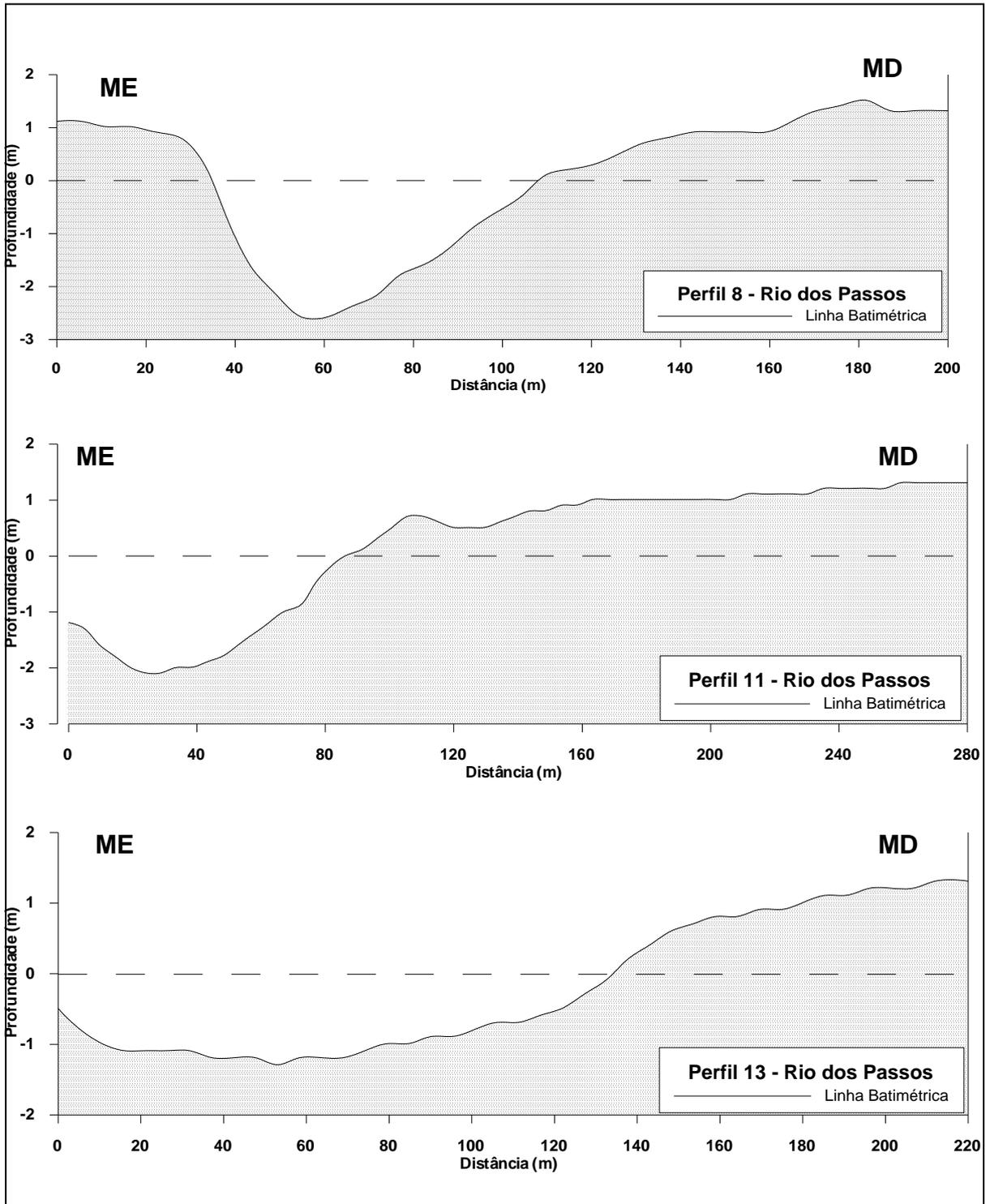


Figura 4.8: Perfis batimétricos do Rio dos Passos (alternados perfis 8, 11 e 13).

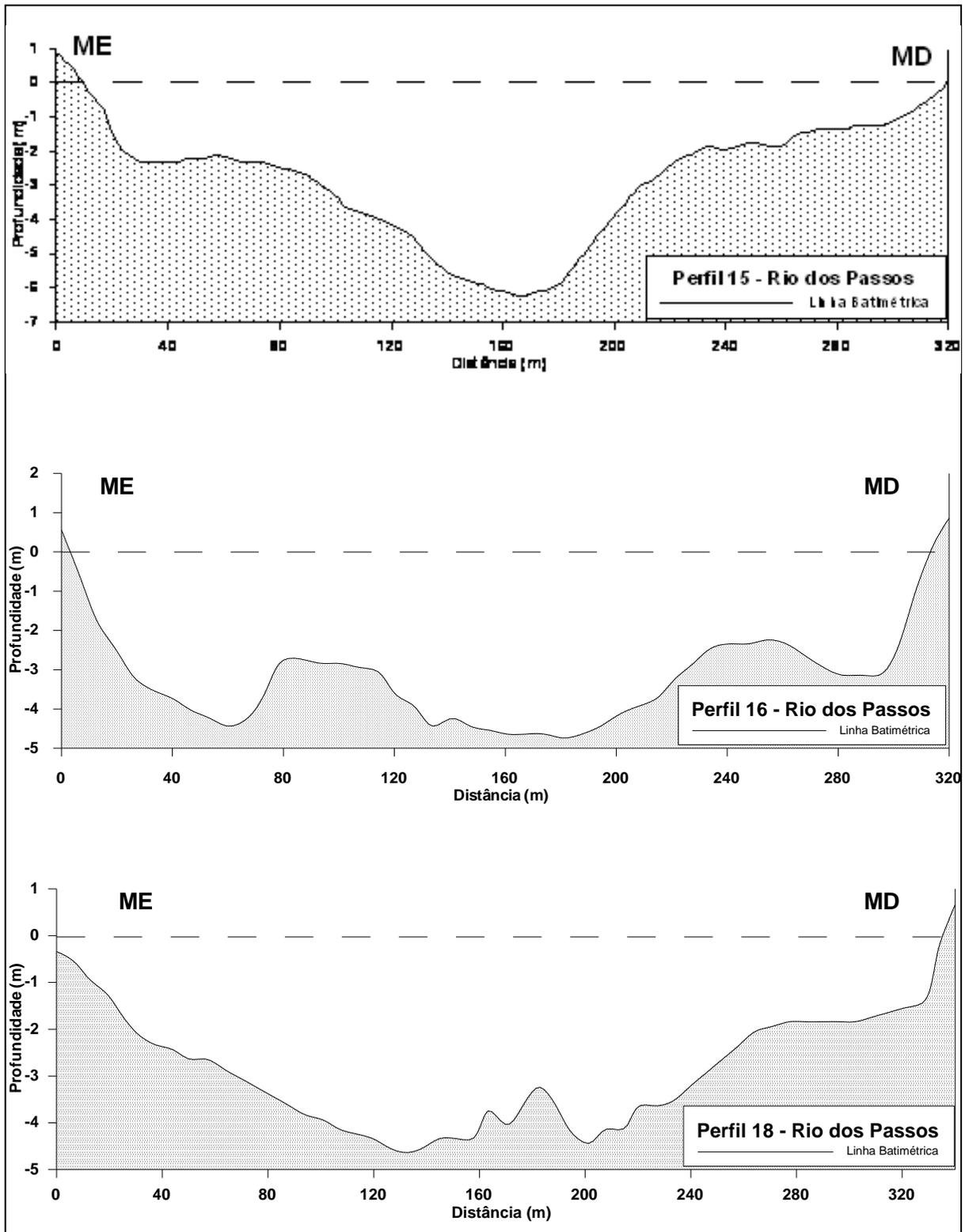


Figura 4.9: Perfis batimétricos do Rio dos Passos (perfis 15, 16, e 18).

O perfil 35, entre as coordenadas UTM 267715 / 9039953 (ME), 267356 / 9039990 (MD); o perfil 39, UTM 267909 / 9039464 (ME), 267546 / 9039379 (MD); o perfil 43, UTM 268203 / 9039019 (ME), 268603 / 9039361 (MD) e o perfil 46, UTM 268957 / 9039356 (ME), 268874 / 9038896 (MD) estão localizados no setor médio do sistema estuarino.

O perfil 35 apresenta um leito menor com aproximadamente 400 m e cota máxima de 6 de profundidade, localizado próximo da margem direita (Fig. 4.10).

O perfil 39 apresenta um leito menor com aproximadamente 400 m e cota máxima de 6,5 m de profundidade, esta localizado próximo na parte central do estuário (Fig. 4.11).

No perfil 43, com largura total superior a 500m, e leito menor, com pouco mais de 250 m de largura, apresenta uma cota de aproximadamente 11 m de profundidade, representando o trecho mais profundo do setor médio, posicionado na margem direita do canal (Fig. 4.12).

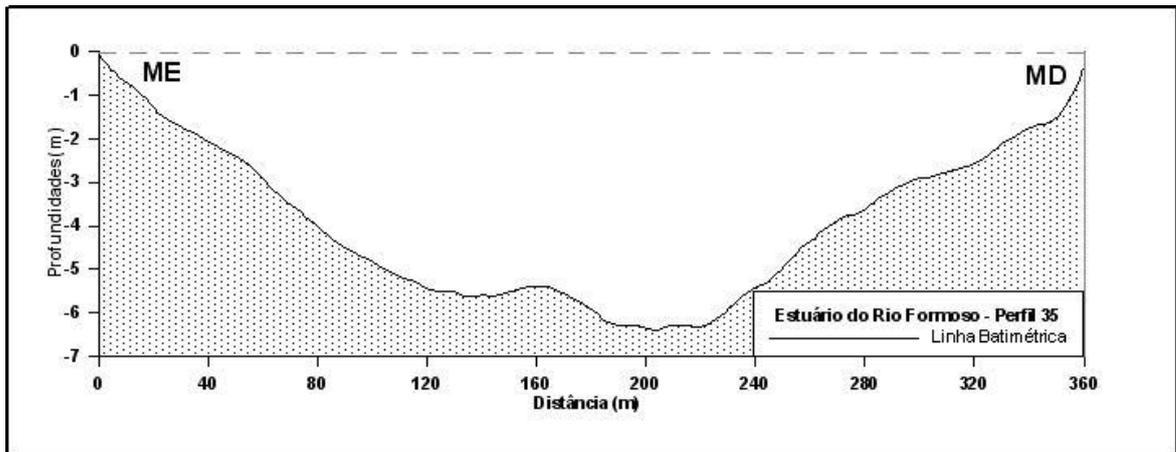


Figura 4.10: Perfil batimétrico 35 do setor médio do estuário do Rio Formoso.

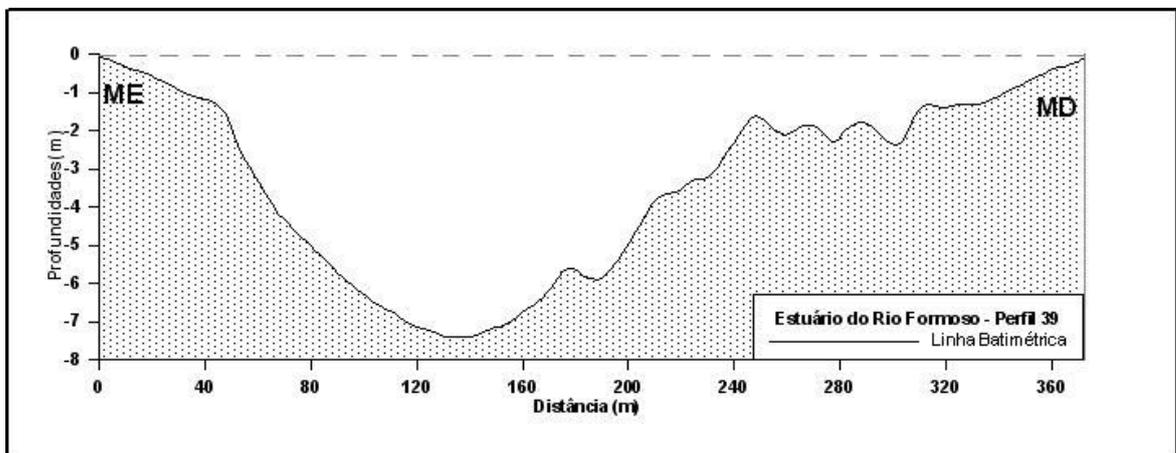


Figura 4.11: Perfil batimétrico 39 do setor médio do estuário do Rio Formoso.

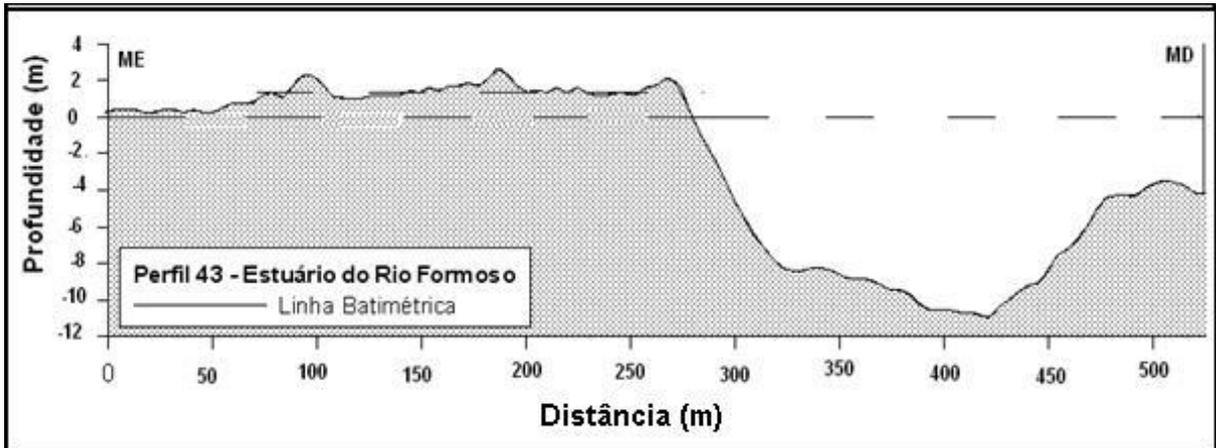


Figura 4.12: Perfil batimétrico 43 do setor médio do estuário do Rio Formoso.

No perfil 46, o leito menor apresenta largura superior a 500m e uma cota de aproximadamente 7 m de profundidade (Fig. 4.13). Representa o trecho mais distal do segmento de maior profundidade do setor médio, posicionado na margem direita do canal.

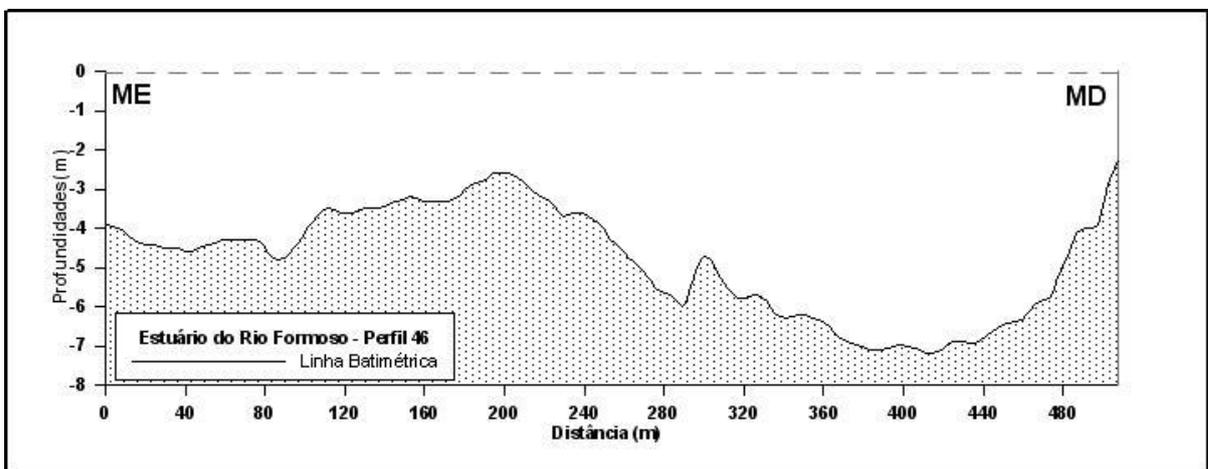


Figura 4.13: Perfil batimétrico 46 do setor médio do estuário do Rio Formoso.

O perfil 51 está localizado no setor inferior da área de estudo, entre as coordenadas UTM 269692 / 9039225 (ME) e 269626 / 9038738 (MD). Apresenta cota de aproximadamente 8,5 m de profundidade, representando o trecho mais profundo do setor inferior, posicionado na margem esquerda do canal (Fig. 4.14).

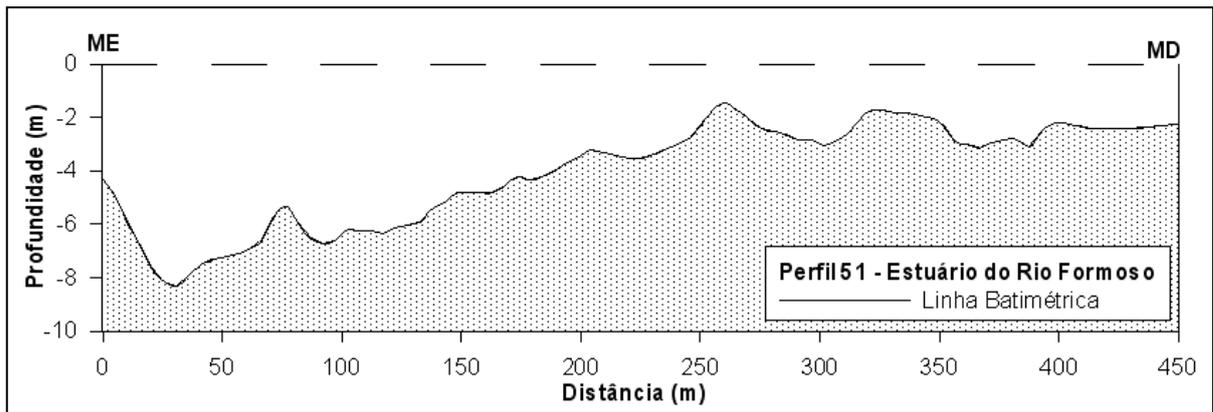


Figura 4.14: Perfil batimétrico do setor inferior do estuário do Rio Formoso.

O perfil 52 está localizado entre as coordenadas UTM 269903 / 9039186 e 269626 / 9038738. Apresenta cota máxima de aproximadamente 9 m de profundidade (Fig. 4.15). Representa o trecho mais profundo do setor inferior, posicionado na margem direita do canal. A maior profundidade está associada ao sistema de falhas e fraturas litológicas da região.

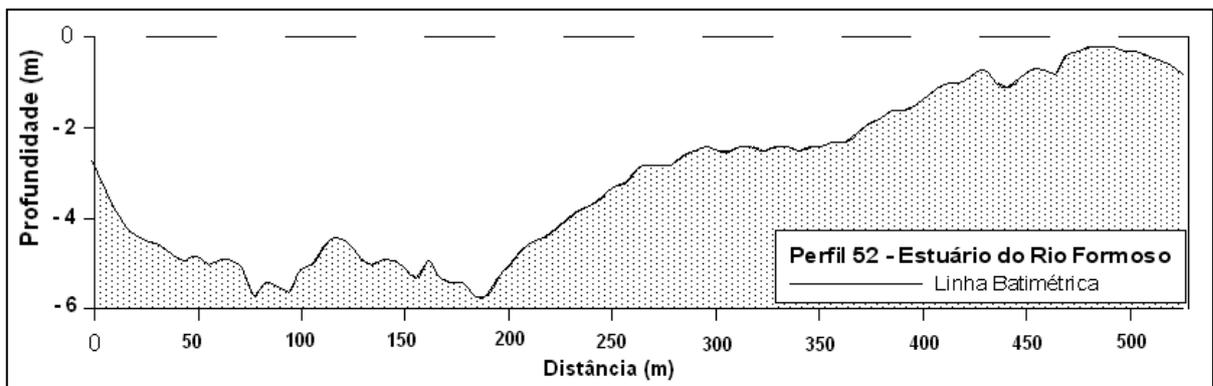


Figura 4.15: Perfil batimétrico do setor inferior do estuário do Rio Formoso.

4.2.3.2 – Perfis Batimétricos Longitudinais

Foram elaborados, dois gráficos longitudinais, incluindo o Rio dos Passos e o canal estuarino do Rio Formoso. Esta apresentação se justifica pela configuração da geomorfologia fluvial entre ambos serem mais coerente que a junção com o Rio

Formoso. Embora com a mesma toponímia, não apresentam íntima relação geomorfológica.

De acordo com as cartas planialtimétricas da SUDENE, Rio Formoso (FI SC. 25-v-a-v-2-SO) e Praia dos Carneiros (FI SC. 25-v-a-v-2-SE), identifica-se uma declividade média de $0,07^{\circ}$, possibilitando considerar, como um curso de baixo gradiente.

Quanto à morfologia do fundo, em perfil longitudinal, o Rio dos Passos apresenta cotas predominantes em torno de 1 m de profundidade. Próximo da confluência conjunta dos rios Lemenho e Porto das Pedras ocorrem cotas em torno de 4m, (Fig. 4.16). Esta influência da hidrodinâmica é claramente observada em todas áreas de confluência dos afluentes com o Rio dos Passos e o canal do estuário.

No trecho superior, a baixa profundidade geral esta associada tanto com a geomorfologia, quanto com a maior sedimentação. A sedimentação, predominantemente continental, é constituída por partículas granulométricas finas a médias, como será visto no capítulo, deste trabalho, abordando a sedimentologia.

Os trechos do canal estuarino que apresentam maior profundidade, além do sistema de falhas e fraturas, estão relacionados, também, com a complexa hidrodinâmica local.

4.3 – Identificação das Formas de Leito por Sonar de Varredura Lateral

Formas ou marcas de leito são feições produzidas pelo movimento de fluidos sobre uma superfície composta de material inconsolidado, não coesivo. O fluxo em canais fluviais, em função da configuração do leito, do modo de transporte do sedimento, do processo de dissipação de energia e da relação de fase entre o leito e a superfície da água, pode ser classificado em regimes de fluxo inferior, transicional e superior (Reineck & Singh, 1980).

No regime de fluxo inferior, a resistência ao fluxo da corrente é elevada, o transporte de sedimento é relativamente reduzido e as ondulações da superfície da água estão fora de fase com as ondulações da superfície do leito. As formas de leito elaboradas são representadas por pequenas ondulações (*ripples*), ondas de areia, (*sandwaves*), megaondulações (*dunes*), ou por uma combinação dessas.

No regime de fluxo transicional, a resistência do fluxo diminui, o transporte de sedimento aumenta e as ondulações da superfície passam a ser erodidas. As formas desenvolvidas sob este regime se situam entre megaondulações e leito plano podendo apresentar, ainda, ocasionais antidunas.

No regime de fluxo superior, a resistência do fluxo é reduzida, o transporte de sedimento é elevado e as ondulações da superfície e do leito estão em fase. As formas desenvolvidas sob este regime são constituídas por leito plano e antidunas. O leito plano é uma superfície sem elevações ou depressões, mais espessa do que a largura máxima do material do fundo. A resistência ao fluxo é relativamente pequena. As ondas de areia são desgastadas pela ação do fluxo; decrescem em amplitude e crescem em comprimento até que o leito se torne plano.

Pode-se considerar que as marcas onduladas (*ripples marks*), são produzidas pela interação das ondas (fluxo oscilatório), correntes (fluxo unidirecional) ou vento.

As marcas onduladas originadas pela ação das ondas, com base na simetria de suas cristas podem ser simétricas e raramente assimétricas. As simétricas destacadamente de cristas retas, são frequentemente bifurcadas, com comprimento de onda (L) variando de 0,09 m a 2 m e altura (H) de 0,03 a 0,23 m.

As marcas de onda assimétricas são muito similares às ondulações de crista reta originadas por correntes, com L entre 0,015 m a 1,05 m e H variando de 0,03 a 0,20 m.

Ondulações produzidas por correntes unidirecionais podem ser agrupadas, segundo o tamanho e a morfologia, em: pequenas ondulações ($L = 0,04 - 0,6$ m; $H = 0,03$ e $0,6$ m), megaondulações ($L > 0,6$ a 30 m), ondulações gigantes ($L > 30$ m) e antidunas ($L = 1$ m a 6 m).

As pequenas ondulações são as menores ondulações simétricas originadas por corrente em substrato arenoso, apresentado granulometria $< 0,60$ mm. Quanto à forma das cristas, distinguem-se os tipos reta, sinuosa, linguóide e rombóide (Reineck & Singh, 1980).

As megaondulações também são descritas como dunas ou ondas de areia (*sand waves*). As dunas se caracterizam pelo comprimento de onda (L) entre 1 m a 5 m, sendo desenvolvidas em regimes de fluxo com velocidades relativamente altas; enquanto que as ondas de areia têm o L de 5 m a 10 m, sendo formadas em condições inferiores de energia. Estas megaondulações apresentam altura variando de $0,06$ m a $1,5$ m e linhas de crista dos tipos reta, sinuosa, lunada, linguóide e rombóide, produzidas em areias grossas a finas.

Uma marca ondulada é definida como gigante quando tem comprimento de onda maior que 30 m, a altura variando de $1,5$ m a 15 m e, habitualmente, apresenta cristas simétricas ou assimétricas, retas e algumas vezes, sinuosas e bifurcadas. As antidunas (*antidunes*) são ondulações transversas cuja migração se dá no sentido oposto ao do fluxo com a erosão da parte. Apresenta perfil aproximadamente simétrico.

Em águas rasas, onde as ondas e as correntes estão presentes, podem ser produzidas várias formas de marcas onduladas, em resposta ao fluxo combinado.

4.3.1 – Materiais e Métodos

Para a identificação das formas de fundo foi utilizado um sonar de varredura lateral portátil modelo “*Sea Scan PC*”, do Laboratório de Oceanografia Geológica do Departamento de Oceanografia UFPE. O equipamento é configurado para emissão/recepção de sinais acústicos de alta frequência ($50-60$ Hz).

O equipamento consiste em um cilindro, no qual há dois transdutores laterais, associados a circuitos eletrônicos. O cilindro foi tracionado pelo barco *R/V Velella*,

pertencente ao Projeto Recifes Costeiros, através de um cabo que serve de apoio e condutor. Utilizou-se um *laptop* para o registro e gravação dos dados permitindo o tratamento e interpretação primária, na medida em que os dados batimétricos e do sonar de varredura lateral são fornecidos na forma digital.

A área delimitada para o estudo situa-se no setor inferior no estuário entre as proximidades da confluência do Rio Ariquindá (Coordenadas UTM 268000 / 9039500), até a desembocadura, nas coordenadas UTM 272000 / 9039500 (Fig. 4.17).

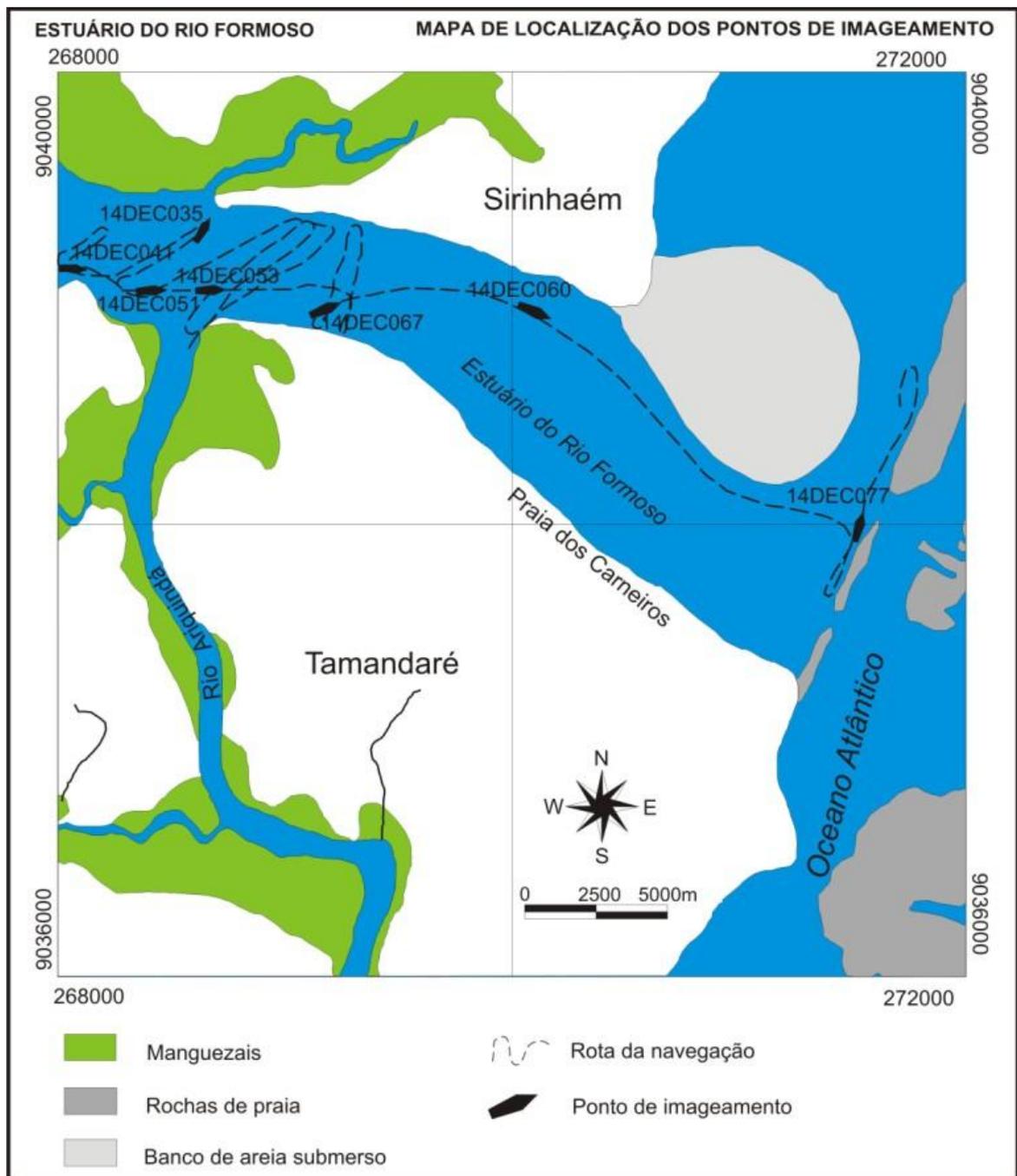


Figura 4.17 – Mapa de localização das imagens de fundo analisadas.

Para aquisição de dados, foi realizada uma série de varreduras laterais ao longo de perfis longitudinais e transversais ao leito do estuário de acordo com as rotas pré-estabelecidas na fase de planejamento. Foram usadas várias larguras de recobrimento lateral (25 a 100 metros), para selecionar a abertura que melhor atendesse a representação. Das aberturas executadas, a que apresentou melhor resultado de representação, foi obtida utilizando o recobrimento lateral de 50m.

As principais modificações na operação do sistema foram no nível de detalhamento, com o recobrimento variando de 25 a 100 m; profundidade do cilindro (variando de 0,5 a 2 m) e mudança da inclinação de varredura. Estas modificações foram realizadas principalmente em função da largura e profundidade do canal, feição que se queria mapear e o nível de resolução da imagem.

4.4 – Resultados e discussões

Nas imagens selecionadas (Tabela 4.1), as feições foram identificadas como marcas de leito (marcas onduladas e leito plano) e substrato rochoso (rochas do embasamento e recifes).

QUADRO 2 – IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE IMAGEAMENTO

IMAGEM	LATITUDE	LONGITUDE	GRANULOMETRIA (DIÂMETRO MÉDIO)	FEIÇÕES DE FUNDO
14DEC035	9393400	268670	Areia fina	Megamarcas onduladas por corrente
14DEC067	9038930	269200	Areia média	Megamarcas onduladas por corrente assimétricas
14DEC060	9039000	270100	Areia média	Megamarcas onduladas por onda simétricas e assimétricas
14DEC051	9039000	268400	Areia média a fina	Leito plano
14DEC041	9039140	268060	-	Substrato rochoso (embasamento)
14DEC077	9038050	271600	-	Substrato rochoso (recifes)

No recobrimento esquerdo da imagem 14DEC035 (Fig. 4.18) é identificada a presença de formas de leito do tipo megaondulações assimétricas de corrente, com comprimento de onda de aproximadamente 8 m, em substrato constituído de areias

finas. Estas ondulações apresentam cristas retas a ligeiramente sinuosas, com pequenas projeções em forma de língua. A impressão de bifurcação pode ser explicada pela substituição por novas cristas, nas terminações das anteriores (Reineck & Singh, 1980). O sentido do fluxo, ao se analisar a imagem, ocorre da parte inferior esquerda para a parte superior direita.

Na imagem 14DEC067 (Fig. 4.19) são identificadas estruturas sedimentares do tipo megamarcas onduladas de corrente, com comprimento médio de onda de 10 m, em leito arenoso de granulometria média. Estas marcas onduladas são assimétricas, com cristas retas. Semelhante a imagem anterior, observa-se falsa bifurcação nos pontos onde as cristas terminam e são substituídas por outras. As megaondulações são recobertas por ondulações longitudinais, na face de barlavento, possivelmente geradas por fluxo combinado de corrente e ondas (no detalhe da figura 4.19).

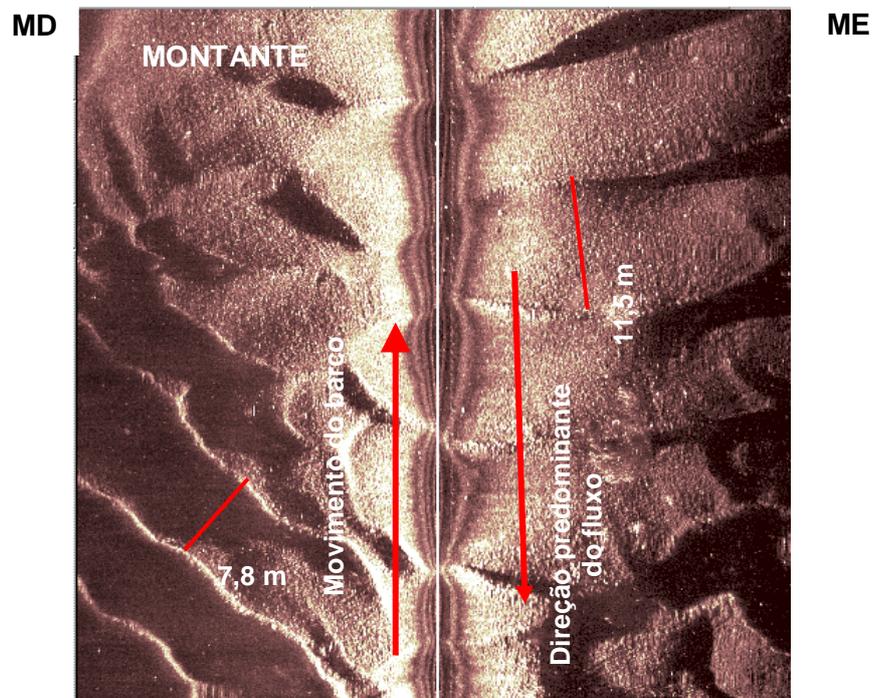


Figura 4.18 (14DEC035.MST) – Megaondulações de corrente de crista reta, mostrando projeções em forma de língua, na direção de jusante da corrente (base da figura) – ME, margem esquerda; MD, margem direita.

Na imagem 14DEC060 (Fig. 4.20), observam-se marcas onduladas geradas por ondas. Na faixa de recobrimento esquerda (correspondente à margem esquerda do

canal), as formas de leito observadas são assimétricas e bifurcadas com comprimento em torno de 1,5 m.

Na faixa de recobrimento direita, as formas de leito observadas são simétricas com cristas retas e mostrando bifurcação. O comprimento de onda alcança em torno de 3 m. Neste trecho do canal, o leito é constituído por areias grossas e representa a porção do canal sobre maior influência das ondas durante a maré alta. Com base na disposição das ondulações assimétricas pode-se inferir o sentido do fluxo, na imagem, partindo do eixo da figura, para a esquerda.

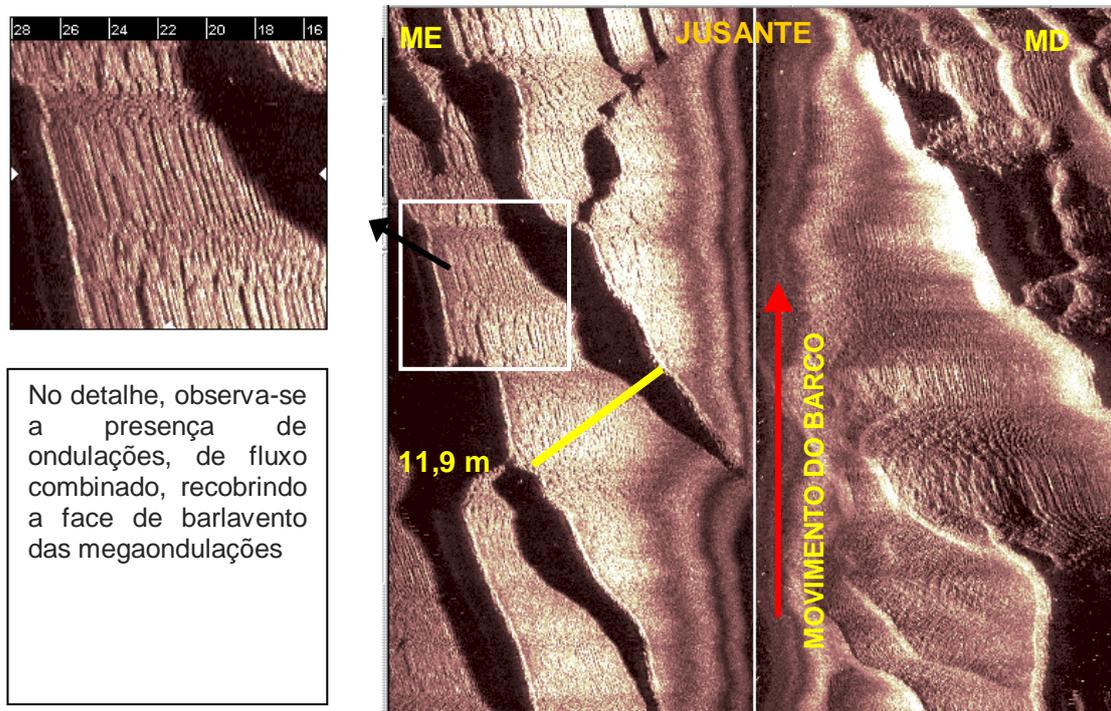


Figura 4.19 (14DEC067.MST) – Megamarcas onduladas de corrente assimétricas e de crista reta – ME, margem esquerda; MD, margem direita.

A imagem 14DEC051 (Fig. 4.21) representa o trecho localizado à montante da confluência do Rio Ariquindá. Observando as faixas de imageamento, notam-se duas feições distintas: na faixa direita da imagem (correspondente à margem direita do canal), identifica-se o leito plano, desenvolvido sob predomínio de areias finas; na faixa esquerda do recobrimento, nota-se a presença de marcas onduladas simétricas geradas por correntes, com cristas sinuosas, apresentando certo desgaste no trecho próximo ao eixo de deslocamento do barco. O substrato é constituído por areia, variando de fina a média.

Na imagem 14DEC041 (Fig. 4.22), as irregularidades são identificadas, possivelmente, como afloramentos de rochas do embasamento, também aflorantes nas proximidades da Praia das Pedras, na margem direita do estuário, desagregadas pela ação dos processos intempéricos e transportadas rio abaixo.

A morfologia da barreira de recifes, localizada na desembocadura do estuário, é identificada na porção esquerda do imageamento 14DEC077 (Fig. 4.23).

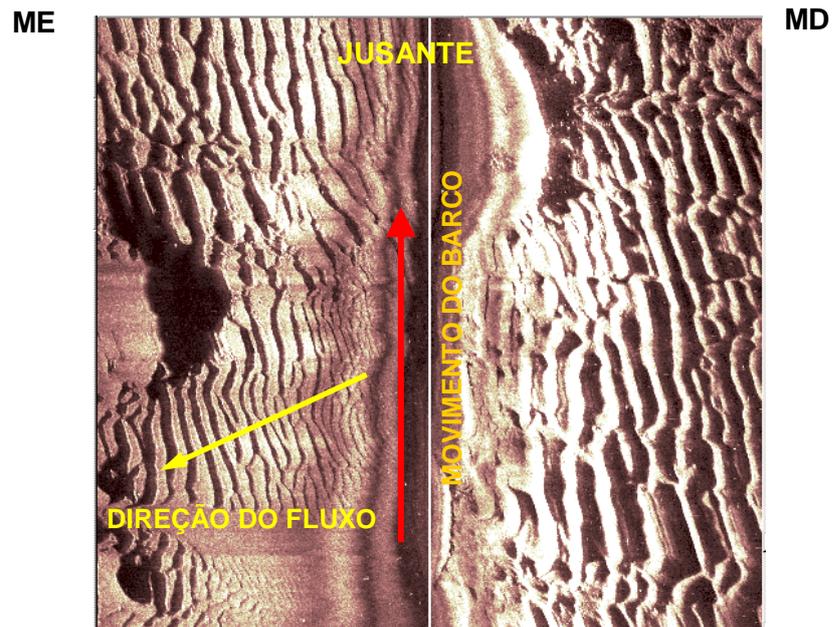


Figura 4.20 (14DEC060) – Marcas onduladas assimétricas e simétricas, geradas por onda (ME, margem esquerda; MD, margem direita).

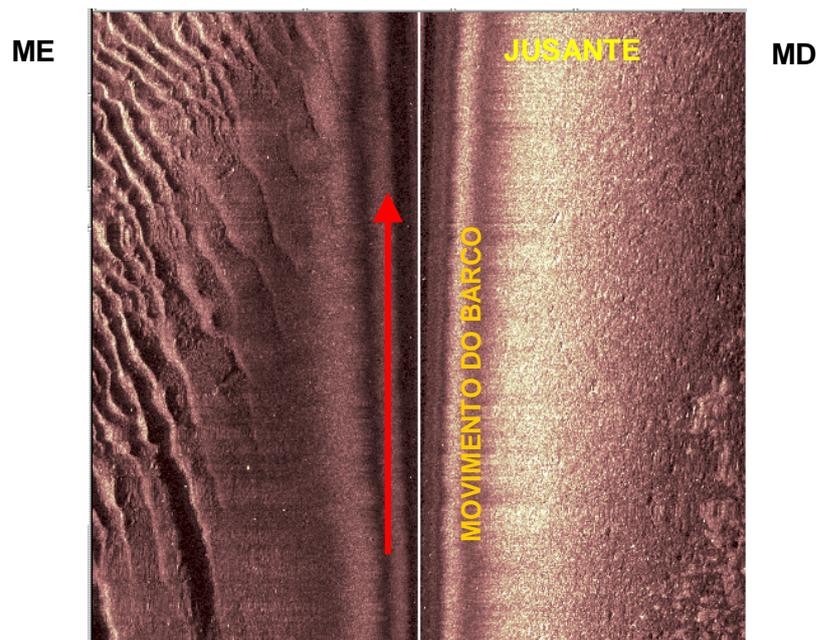


Figura 4.21 (14DEC051) – Leito Plano, textura da superfície identificada no recobrimento direito da imagem (ME, margem esquerda; MD, margem direita).

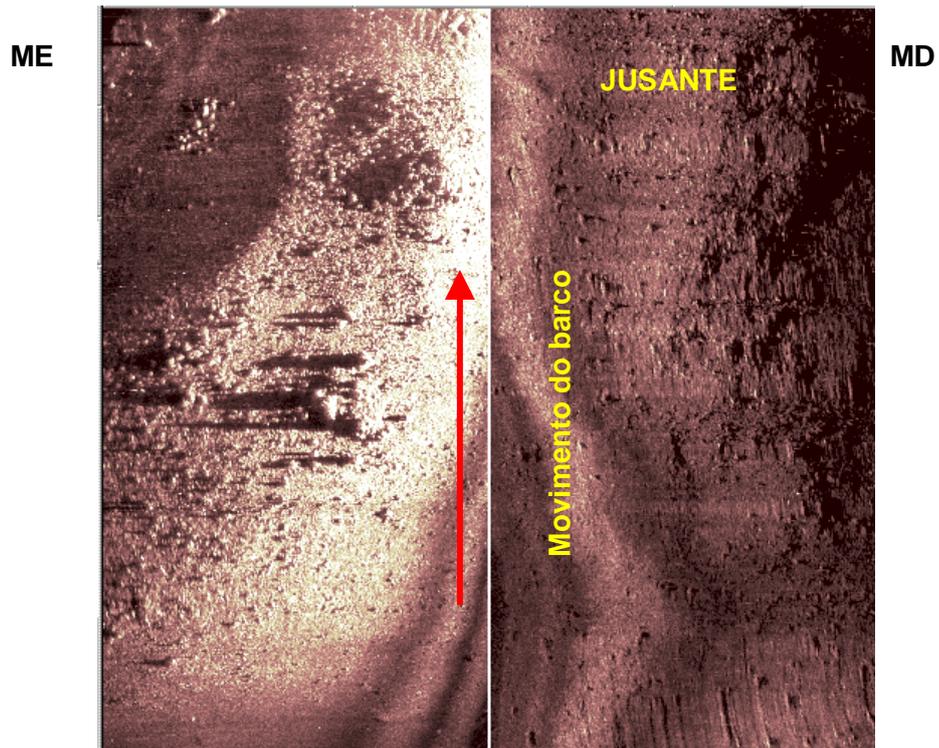


Figura 4.22 (14DEC041) – Afloramentos de rochas do embasamento (ME, margem esquerda; MD, margem direita).

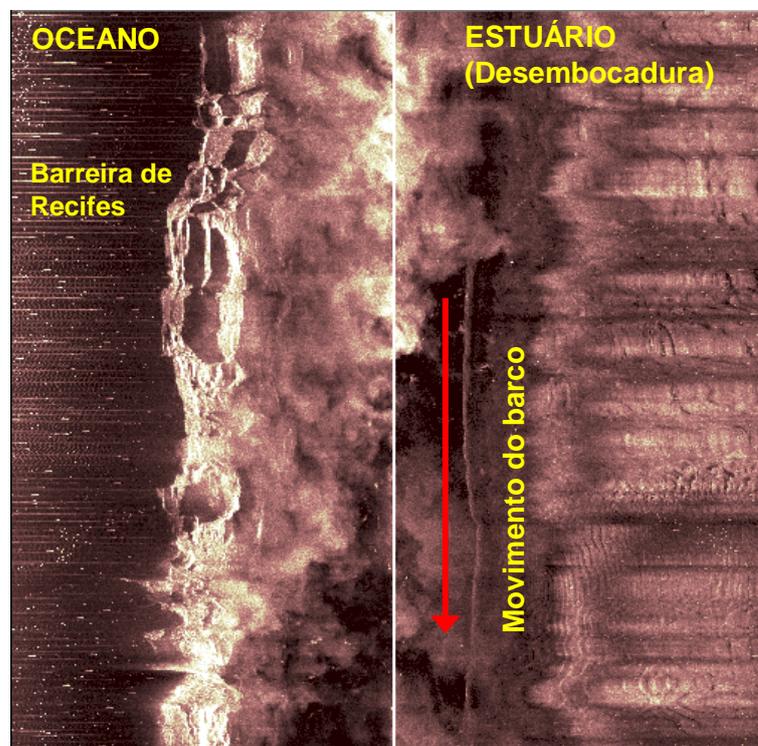


Figura 4. 23 (14DEC077) – A barreira de recifes, na faixa esquerda da imagem, localizada na desembocadura do estuário.

4.5 – Conclusões Parciais dos Estudos da Geofísica Estuarina - Batimetria e Imageamento

A utilização da geofísica aplicada aos sistemas estuarinos como técnica de campo agilizou as atividades de pesquisa, e possibilitou identificar áreas de interesse para futuras coletas de material de fundo para análises granulométricas. Forneceu, ainda, subsídios para a compreensão da hidrodinâmica do sistema flúvio-estuarino.

Os dados têm importância para as atividades de navegação e de turismo, destacadamente quanto ao uso do estuário como marina.

Podem ser observadas, com as informações apresentadas que a morfologia de fundo apresenta relevo vertical positivo e negativo. O relevo vertical positivo pode ser atribuído aos bancos arenosos, resultantes da hidrodinâmica. O relevo negativo é representado pelas depressões e pelo canal mais profundo. Estas morfologias podem estar relacionadas a um paleocanal, atualmente afogado, como apresentado no mapa batimétrico (Fig. 4.4) e nos perfis associados.

No canal predominam cotas batimétricas inferiores a 4 m, correspondentes aos trechos com suaves declives. Estas características são observadas principalmente no setor superior, a montante. Nos trechos de menor profundidade, à montante do Rio dos Passos, a sedimentação possibilita maior distribuição do manguezal sobre as margens em direção ao centro do canal, possibilitando, posterior formação e ampliação da planície de inundação. Podem ser relacionadas com as áreas de confluências e às margens côncavas. Nestes trechos, ocorre maior deposição, justifica uma morfologia de fundo com menor profundidade.

As porções mais profundas do canal flúvio-estuarino, apresentam cotas batimétricas superiores a 5 m, podendo atingir até 11m. Estão posicionados nas margens convexas, associadas às áreas de maior energia hidrodinâmica e podem também estar condicionadas ao sistema de falhas e fraturas geológicas locais.

A análise das imagens obtidas através do *side scan sonar* permitiu identificar e diferenciar feições desenvolvidas no leito do canal estuarino do Rio Formoso.

Nas imagens analisadas foram identificadas as seguintes feições: megamarcas onduladas, leito plano, substrato rochoso (formada pelo embasamento e pelas rochas de praia).

Foi possível classificar as estruturas deposicionais observadas como megamarcas onduladas e definir as suas características, quanto simetria, forma da crista, comprimento da onda, e possibilitando, em alguns casos, inferir o sentido do fluxo.

O substrato rochoso foi facilmente identificado em razão do contraste com o sedimento fluvial, das sombras projetadas e as formas visualizadas.

O recife de arenito também representa uma feição de fácil identificação, por gerar um contraste na imagem com a área adjacente.

Os tipos de megamarcas identificadas estão associados a um regime de fluxo de alta energia dentro do sistema estuarino. As características das megamarcas, quanto configuração da crista, indicam predomínio de fluxo de corrente de maré e secundariamente a influência de ondas.

A localização destas feições topográficas, que indicam níveis do mar mais baixos que o atual, fornece subsídios para pesquisas acerca da evolução costeira no litoral sul de Pernambuco. Além disto, o levantamento batimétrico contribui para o desenvolvimento do conhecimento a cerca hidrodinâmica dos estuários, já que disponibilizou para a comunidade científica um dos parâmetros utilizados para estes estudos.

5 – ESTUDO SEDIMENTOLÓGICO

Este capítulo trata da caracterização sedimentológica do estuário do Rio Formoso. A importância deste estudo consiste na melhor compreensão da hidrodinâmica, a partir da interação entre as características dos sedimentos e o agente responsável pelo seu transporte. Além disso, serve de subsídio para futuros trabalhos de engenharia, navegação, pesca e, ainda, sobre a fauna bentônica, tendo em vista a importância do substrato como *habitat*.

5.1 – Materiais e Métodos

Para se conhecer a distribuição textural dos sedimentos que atapetam os canais principais e secundários do estuário, e fornecer subsídios para a confecção de mapas faciográficos, foram realizadas amostragens de sedimentos superficiais do fundo, em abril de 2005. As estações de coleta foram posicionadas em perfis transversais com equidistância média de 200m (Fig. 5.1). Em cada perfil procurou-se coletar amostras das margens e do leito dos canais. Nos perfis localizados nos canais mais largos (rios dos Passos, Lemenho e no canal estuarino), foram retiradas amostras a cada 20/30 m. Nos canais mais estreitos (rios Formoso e Ariquindá), foram coletadas três amostras por perfil. Para a coleta foi utilizado um amostrador do tipo *Van Veen* e, para posicionamento, um GPS *Garmin 12*.

O material coletado foi tratado e analisado no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM/UFPE. Das 220 amostras coletadas, apenas as arenosas, totalizando 199, foram destinadas para análise granulométrica.

Após secagem ao ar livre, as amostras foram levadas à estufa a uma temperatura de 70°C, para completa secagem. Após quarteamento, foram separadas 100 g de cada amostra para efetuar o peneiramento úmido, separando o material em cascalho, areia e lama (silte e argila).

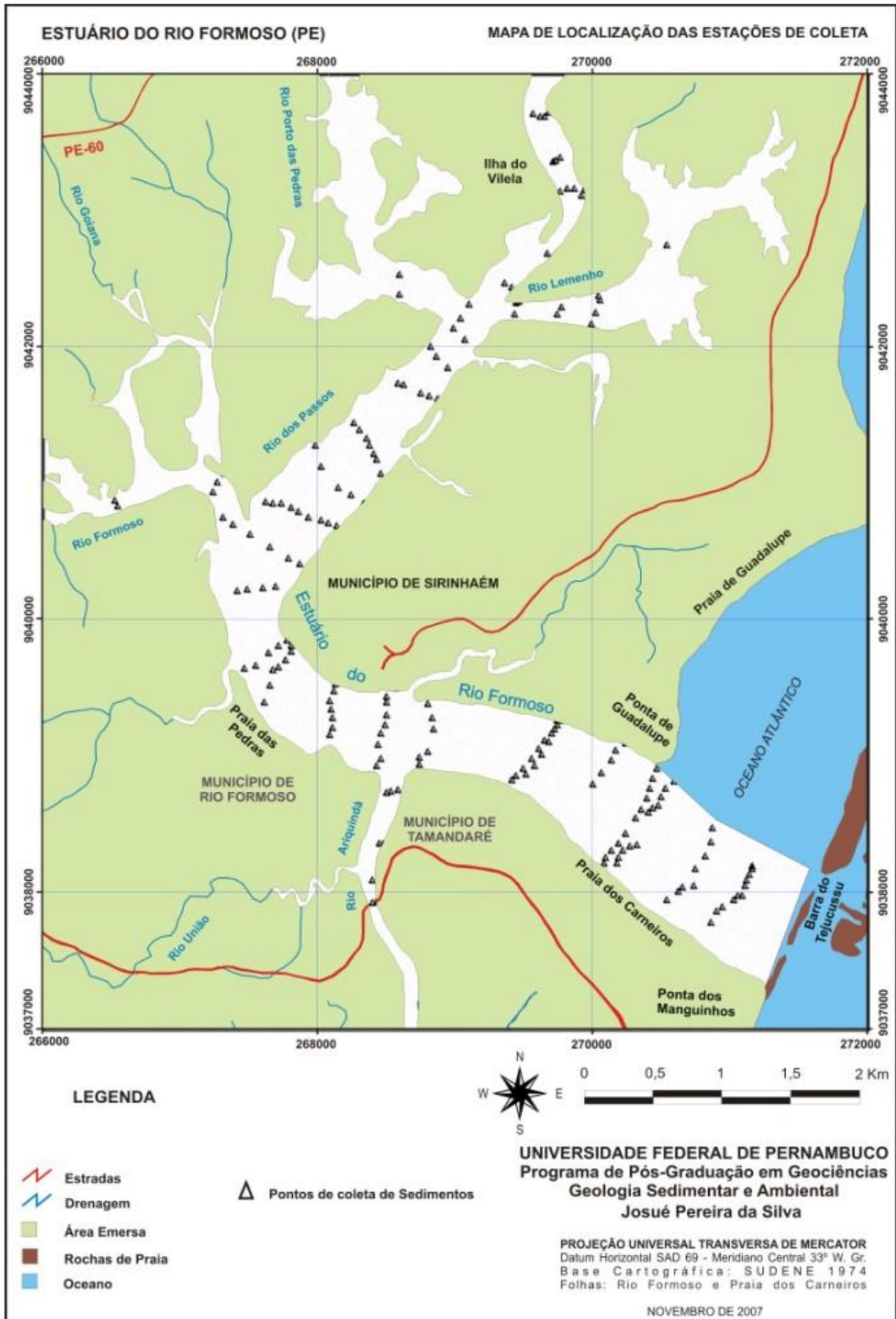


Figura 5.1 – Mapa de localização das estações de coleta de sedimento.

Com a fração areia, foi realizada a separação das subfrações, em agitador de peneiras. Os dados obtidos das análises foram utilizados para determinação dos parâmetros estatísticos (diâmetro médio, desvio padrão, mediana, curtose e assimetria), segundo Folk & Ward (1957). Para identificar sua constituição, foram separados 100 grãos da subfração predominante, considerando três amostras de cada setor (superior, médio e inferior) do estuário.

5.2 – Resultados e Discussões

Com base nos dados de laboratório, foram elaborados os mapas de distribuição das frações cascalho, areia e lama e de fácies texturais. Com os dados estatísticos foram elaborados os mapas de diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose.

5.2.1 – Distribuição Granulométrica

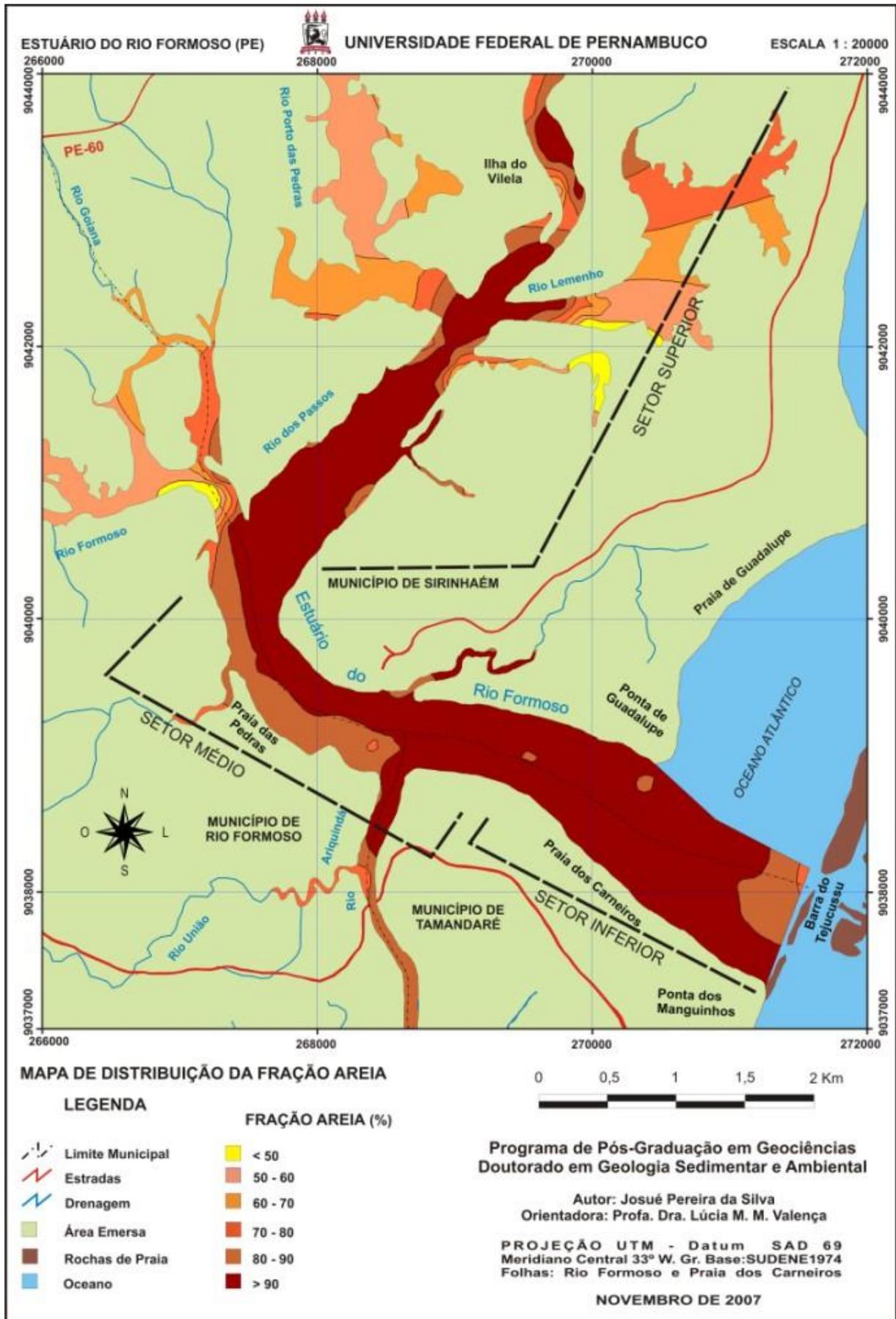
As análises granulométricas foram realizadas em 199 amostras, sendo observado o predomínio da fração areia sobre as frações cascalho e lama (Anexo 1, Tabela 1).

A concentração da fração areia indica que o sedimento disponível no sistema é submetido a condições de alta energia e o transporte das partículas ocorrendo, principalmente, em contato com a superfície de fundo.

5.2.2 - Fração Areia

Ao longo do sistema estuarino do rio Formoso (8,034 km²), os maiores percentuais de areia distribuem-se com valores superiores a 80% desde o trecho superior do estuário, até o inferior (Fig. 5.2), correspondendo aos trechos de maior movimentação hidrodinâmica ou maior profundidade.

Verificou-se a predominância da fração areia em 195 amostras (98% do total), com os seguintes percentuais de distribuição: 129 amostras apresentam valores acima de 80% de areia, em 62 amostras apresentam entre 50% e 80% e apenas 3 amostras possuem menos de 50% de areia (Fig. 5.3).



5.2 – Mapa de Distribuição da Fração Areia, segundo Shepard (1954).

As frações com valores inferiores a 60% de areia são encontradas, basicamente, nos afluentes do estuário, que correspondem aos trechos de menor profundidade do sistema ou menor energia hidrodinâmica.

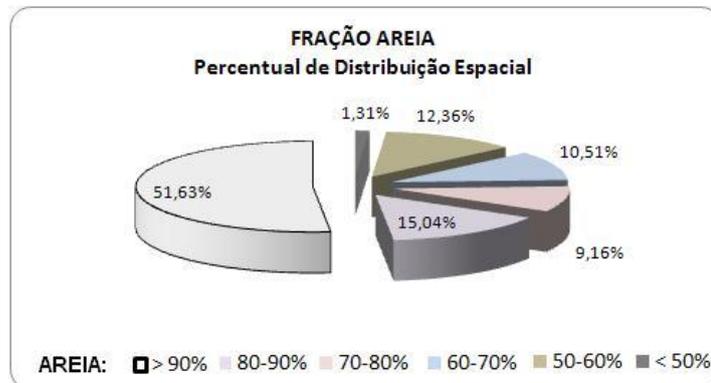


Figura 5.3 – Distribuição da fração arenosa, segundo o percentual de participação amostral.

Quanto a constituição da fração areia, observações realizadas em areias médias, demonstraram que, além da predominância quartzosa, é formada por bioclastos de conchas e halimeda (Fig. 5.4). A ocorrência de bioclastos, embora ocorra em todo o estuário, esta relacionada principalmente com a influência marinha, sendo observada, de modo mais destacado, nos setores médio e inferior do estuário.

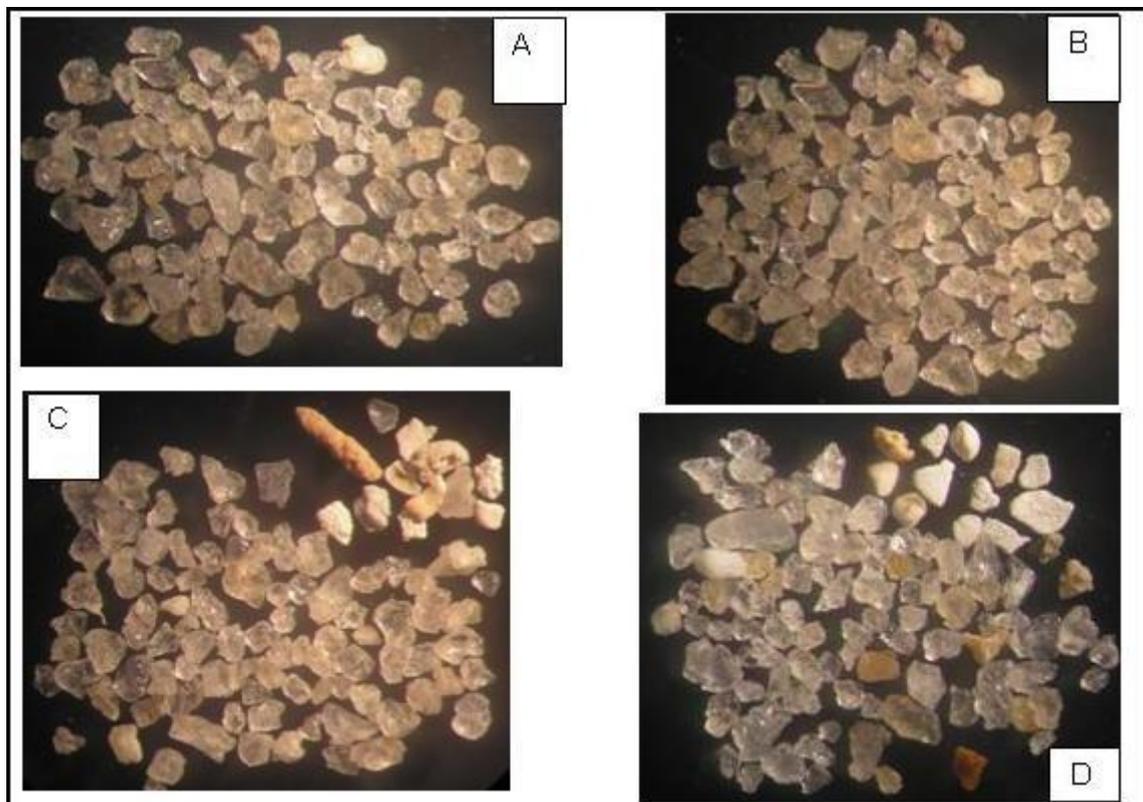


Figura 5.4 – Constituição da fração areia. Em A, setor superior; B e C, setor médio; em D, setor inferior.

5.2.3 – Fração Cascalho

Das 199 amostras analisadas, em 167 (84% do total), a fração cascalho constitui percentuais inferiores a 5%. Foram identificadas, em 30 amostras, valores entre 5% e 15% de cascalho e em apenas 2 amostras apresentaram mais de 20% de cascalho (Fig.5.5).

As maiores concentrações de cascalho estão localizadas, principalmente, na parte mediana e inferior do estuário onde se observa as maiores profundidades, e pontualmente nas confluências dos rios Formoso e Lemenho (Fig. 5.6).

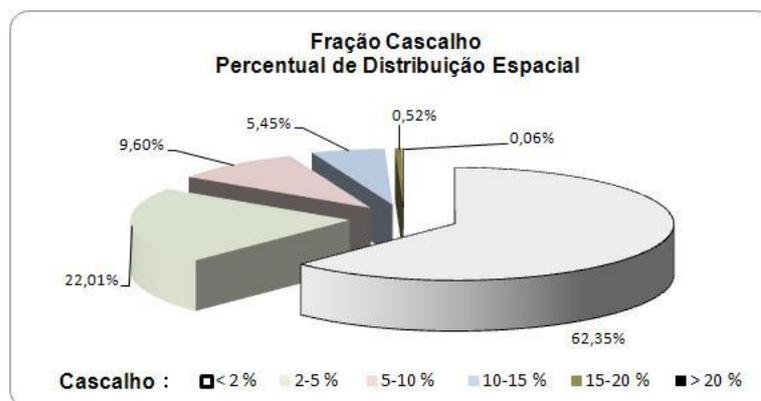


Figura 5.5 – Distribuição da fração cascalho, segundo o percentual de participação amostral.

5.2.4 – Fração Lama (silte + argila)

Das 199 amostras analisadas, 103 apresentaram percentuais inferiores a 5% de lama. 64 amostras apresentaram percentuais entre 20% e 40% de lama, correspondendo a 32% do total.

Com base nesses dados pode-se afirmar que a presença de lama, no estuário, é pouco significativa em termos percentuais (Fig. 5.7). Em termos espaciais, os maiores valores (20 a > 40%) desta fração, são encontradas na parte superior do estuário, ao longo dos rios Porto das Pedras, Lemenho e Formoso e no curso superior do rio dos Passos. Já as menores proporções (< 5%) são observadas no trecho mediano e inferior do sistema (Fig. 5.8), sempre nas margens do canal principal, associada ao desenvolvimento do manguezal servindo de substrato para a vegetação.

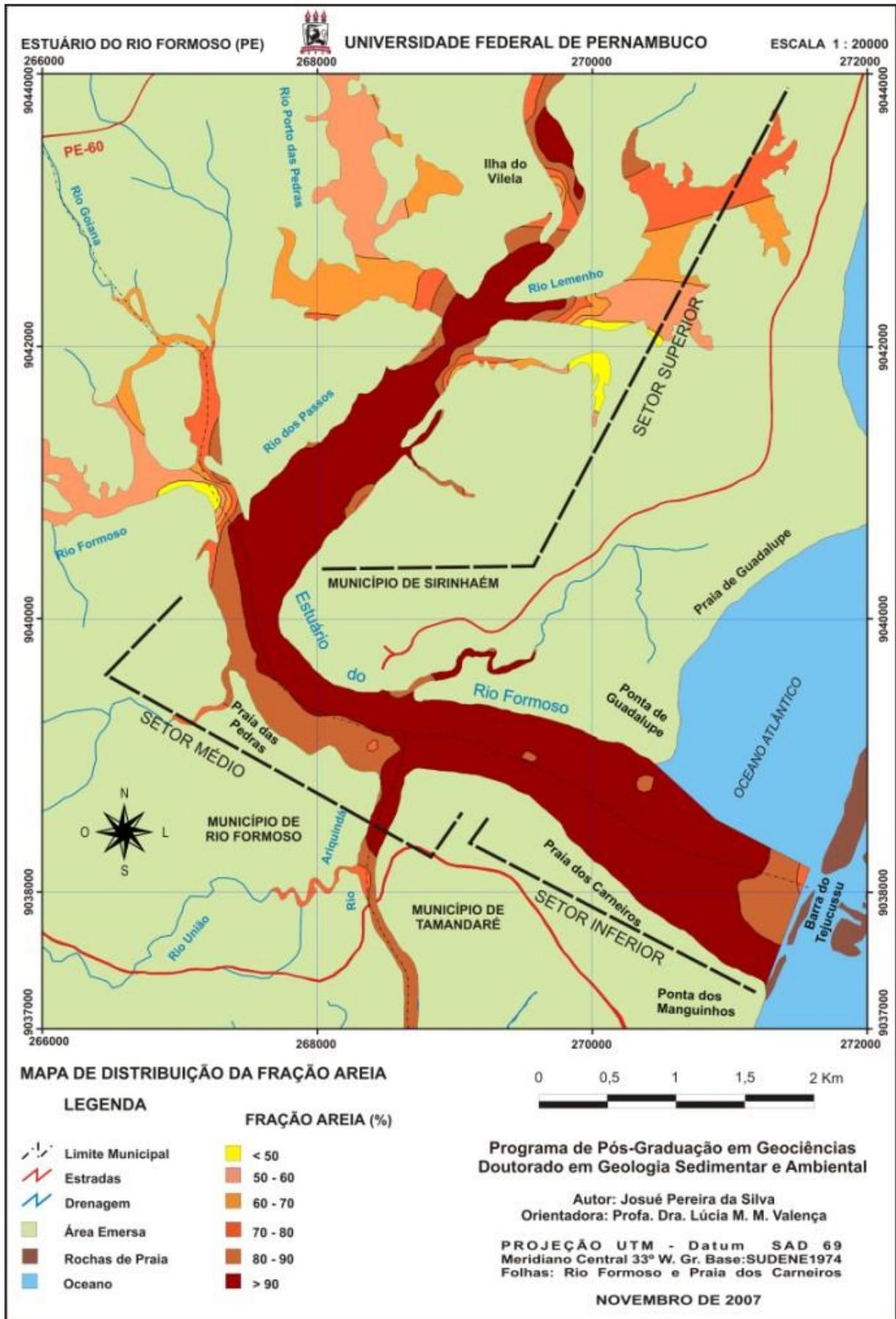


Figura 5.6 – Mapa de Distribuição da Fração Cascalho, segundo Shepard (1954).

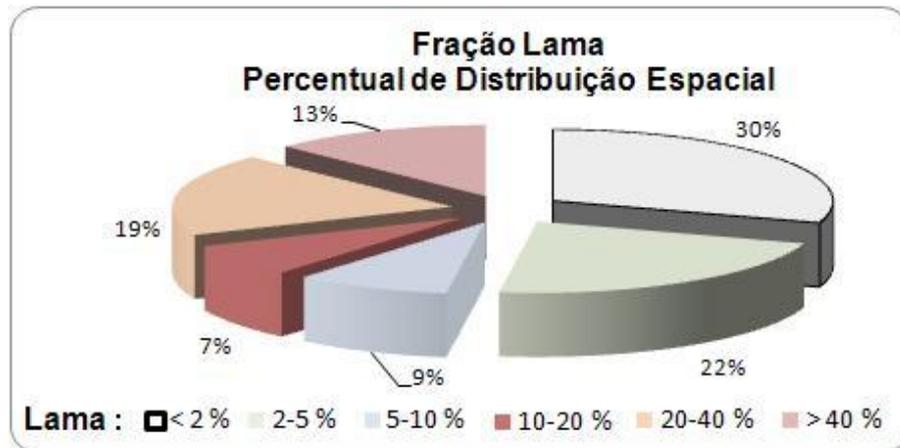


Figura 5.7 – Distribuição da fração lama (silte e argila), segundo o percentual de participação amostral.

5.2.5 – Distribuição Faciológica

A distribuição das amostras da fração areia, segundo a classificação de Shepard (1954), mostra a existência de 4 classes, areia (88,94%), areia lamosa (7,03%) areia cascalhosa (2,01%), lama arenosa (2,01%). A fácies lama concentra-se no trecho à montante, no setor superior, associada à ocorrência de mangue (Anexo 1 Tabela 1). Esta concentração é claramente resultado da baixa energia de transporte do setor e predomínio da deposição.

Para melhor visualização, das distribuições das fácies texturais em mapa, decorrentes das pequenas proporções das fácies areia cascalhosa e lama arenosa, optou-se em agrupar estas fácies da seguinte maneira: areia cascalhosa com areia e lama arenosa com areia lamosa (Fig. 5.9).

A distribuição da fácies arenosa está claramente associada à energia do sistema, ocorrendo ao longo do estuário, concentrando nos trechos de maior profundidade. A fácies areia lamosa localiza-se nas áreas de menor profundidade e nos pontos de confluência dos afluentes.

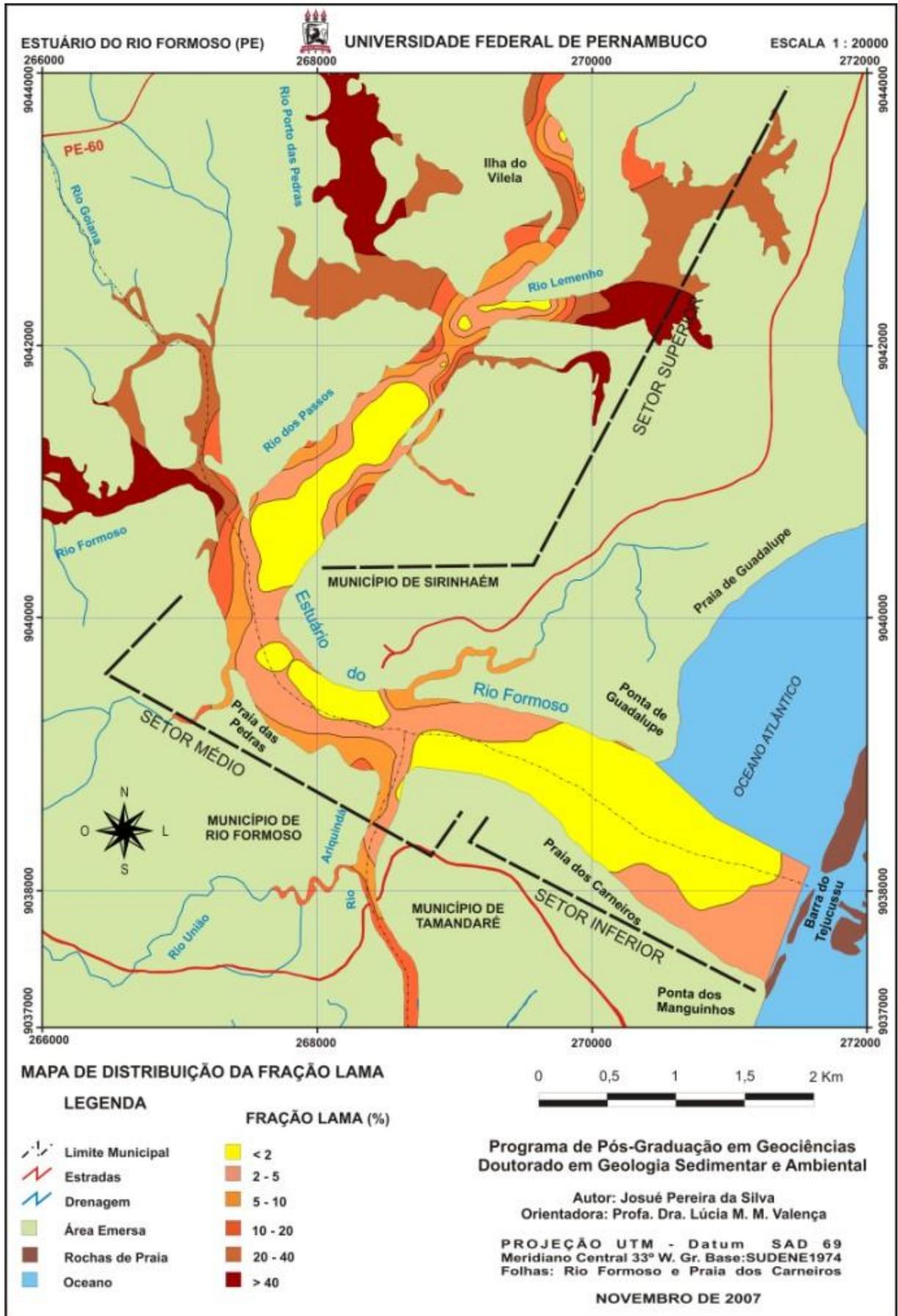


Figura 5.8 – Mapa de Distribuição da Fração Lama, segundo Shepard (1954).

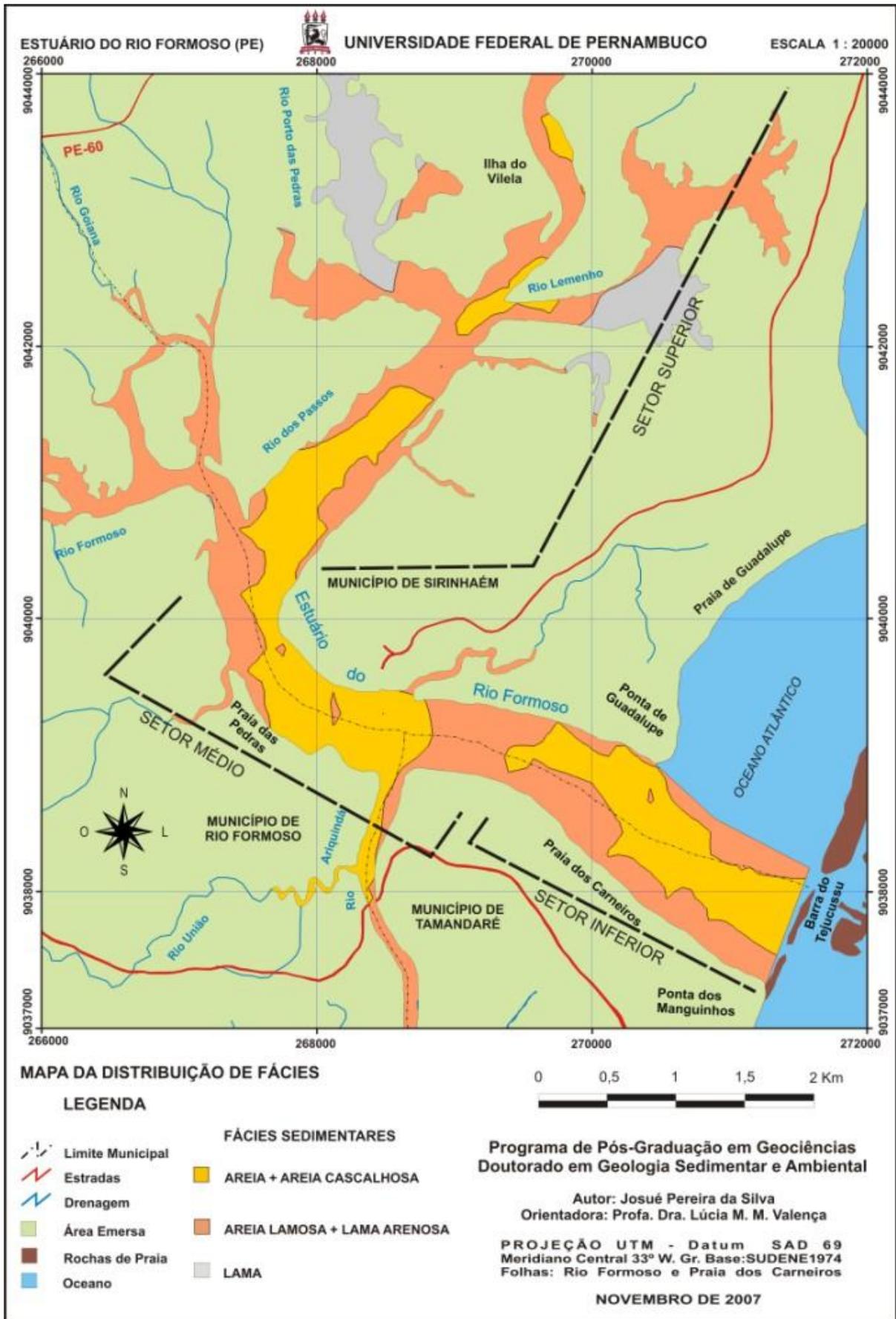


Figura 5.9 – Mapa de Fácies Sedimentares, segundo Sheppard (1954).

5.2.6 – Parâmetros Estatísticos

5.2.6.1 – Mediana

As análises dos sedimentos mostraram, pela classificação da mediana que dominam as areias médias, em 38% da área de estudo (Anexos1, Tabela 2). As frações areia fina (29% da área) e muito fina (19%) ocorrem principalmente nas margens, enquanto a fração lama (10% da área) predomina nas confluências e, em direção à montante, dos rios Formoso, Porto das Pedras e Lemenho. Podem ser verificadas manchas individualizadas de areias grossas, próximo da praia Porto das Pedras, da ponta de Guadalupe e da Barra do Tejucussu. (Figs. 5.10 e 5.11).

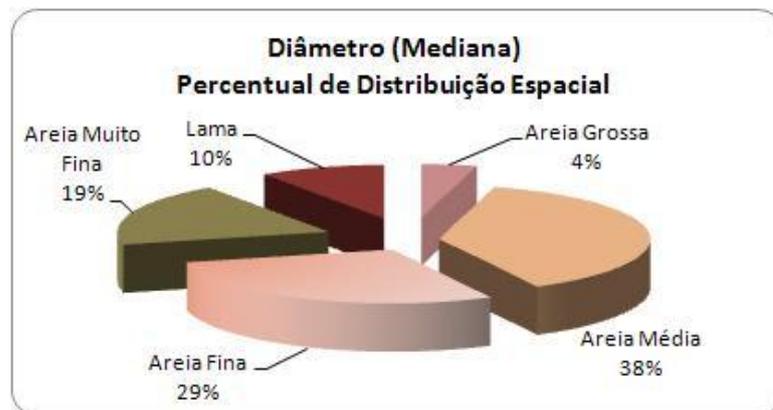


Figura 5.10 – Distribuição espacial dos valores da mediana, segundo o percentual, no Estuário do Rio Formoso.

5.2.6.2 – Grau de Assimetria

Através da correlação entre a assimetria e o regime, ou nível de energia atuante, é possível caracterizar um ambiente de sedimentação. Sedimentos mais grossos são representados por valores negativos de assimetria, significando uma área de energia mais intensa. Valores próximos da média de distribuição representam simetria, indicando a ciclicidade da intensidade da energia no ambiente. Por fim, a assimetria positiva indica área de menor energia com predomínio de sedimentos mais finos, conforme Folk & Ward (1957).

Do total de amostras analisadas, 50% apresentam características moderadamente simétricas, em 24%, a assimetria é negativa, em 14% positiva, em 9% muito negativa e assimetria muito positiva em 3% (Anexo1, Tabela 2). Estes dados refletem os níveis de energia no sistema, possibilitando a deposição simultânea de material grosso e fino (Fig.5.12).

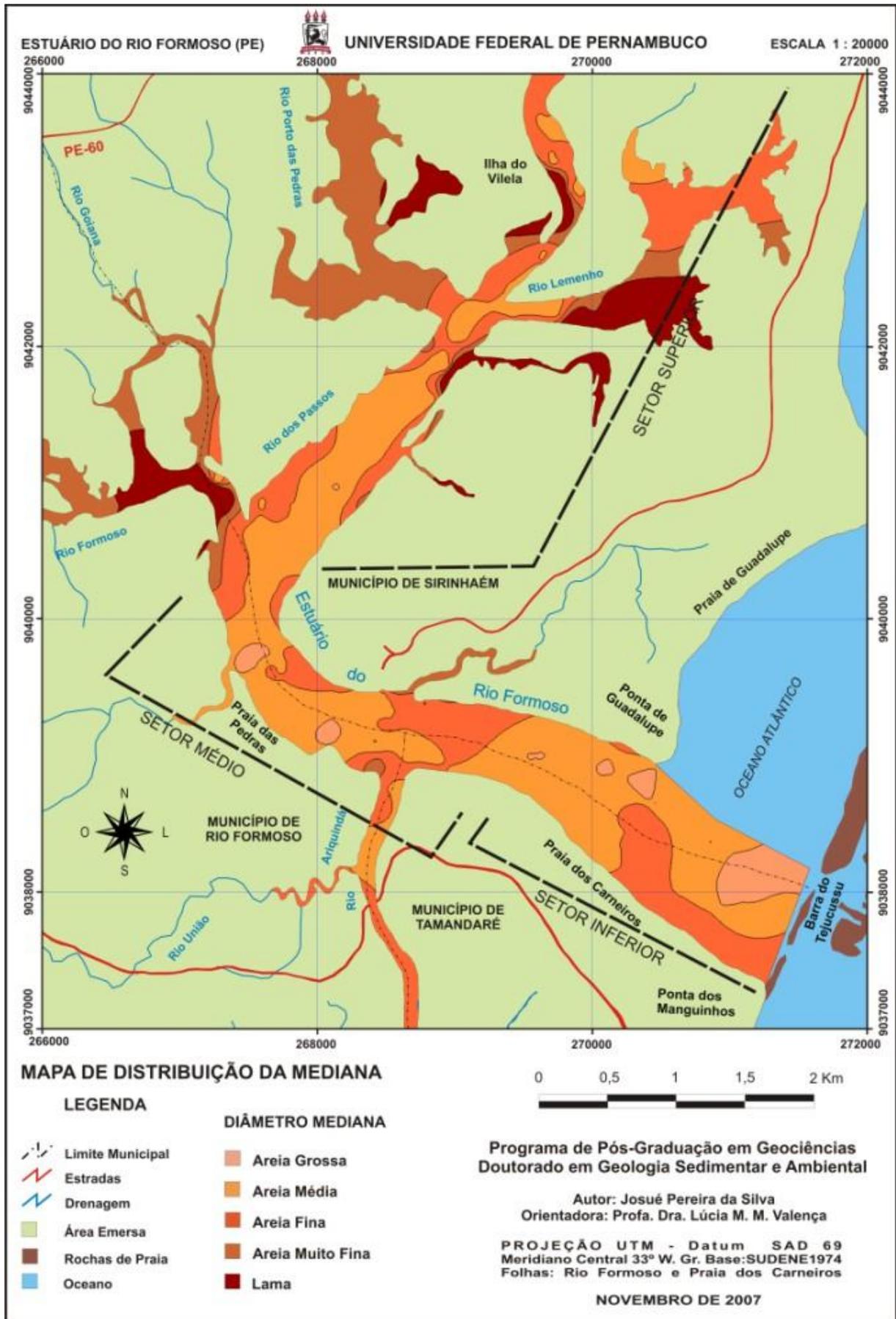


Fig. 5.11 – Mapa de Distribuição da Mediana.

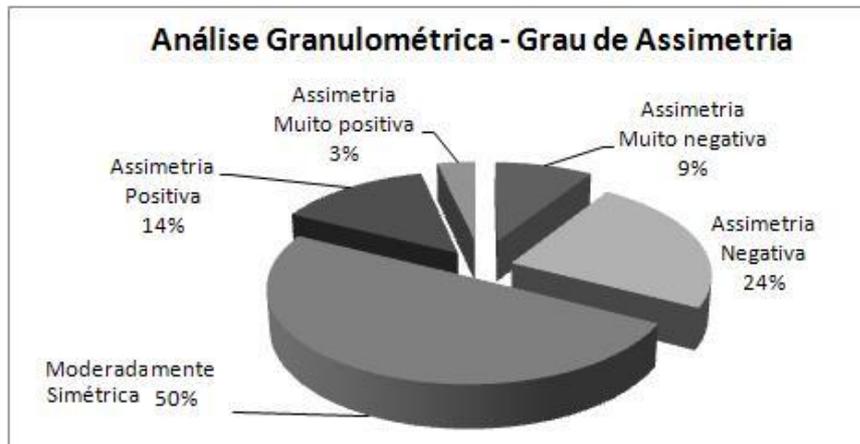


Figura 5.12 – Distribuição granulométrica percentual do grau de assimetria no Estuário do Rio Formoso.

Em relação à distribuição espacial da assimetria no estuário, observa-se que a assimetria é muito positiva em 29% da área, moderadamente simétrica em 27%, negativa em 21%, positiva em 15% e muito negativa em 8% (Fig. 5.13).

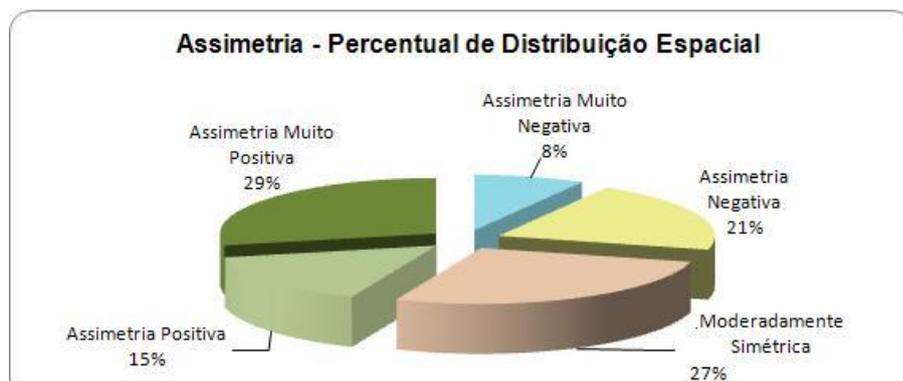


Figura 5.13 – Distribuição espacial do Intervalo da Assimetria, segundo percentual, no Estuário do Rio Formoso.

O mapa de assimetria representa as áreas de menor energia do estuário concentradas no trecho superior, mais a montante, e nos afluentes Rio Formoso, Porto das Pedras e Lemenho (Fig. 5.14). Nestas áreas predominam assimetria muito positiva e positiva e os sedimentos predominantemente mais finos. No rio dos Passos e principalmente no canal do estuário predominam assimetria com características muito negativas, negativas e simétricas, indicando área sob ação de energia mais intensa. Nestas áreas há predomínio de material mais grosso, constituído principalmente por areias médias a grossas.

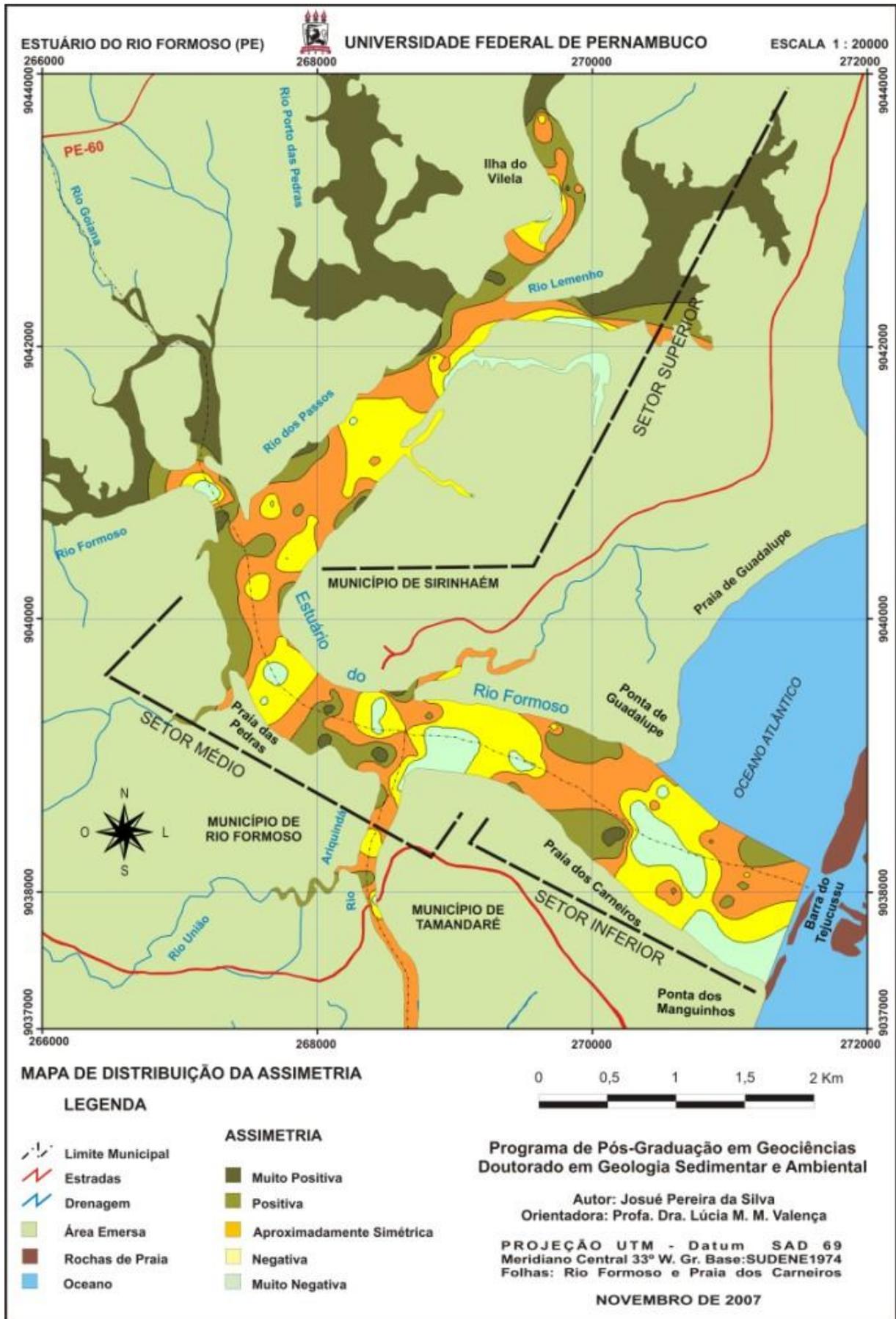


Figura 5.14 – Mapa de Distribuição da Assimetria

5.2.6.3 – Curtose

A curtose demonstra o grau de achatamento, ou de agudez dos picos, nas curvas de distribuição de frequência. Sua medida indica a distribuição granulométrica, podendo-se relacionar com a movimentação no ambiente.

De acordo com o grau de curtose, há três tipos básicos de curvas de frequência: mesocúrticas, que indicam áreas de média energia; platicúrticas, representam áreas de baixa energia e as leptocúrticas, indicam uma área submetida à alta energia. Portanto, a curtose pode ser utilizada como parâmetro para a diferenciação e a caracterização de ambientes e seus respectivos regimes de energia.

Do total de amostras analisadas, observa-se o predomínio das curvas leptocúrticas (48%) e 31% apresentaram curvas platicúrticas (Anexo1, Tabela 2; Fig. 5.15).

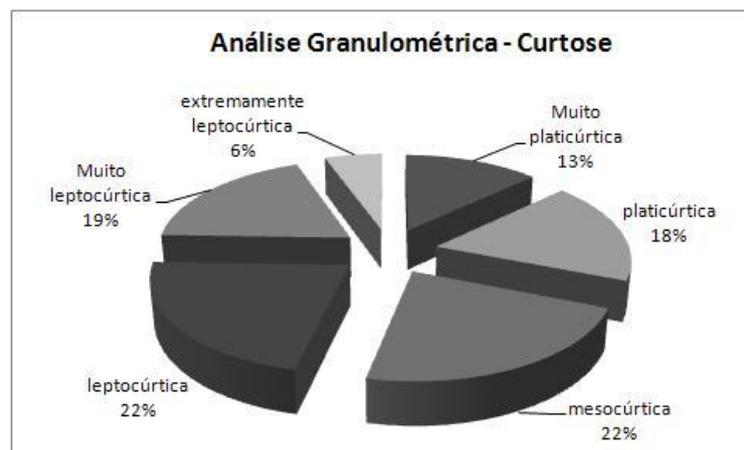


Figura 5.15 – Distribuição granulométrica percentual da curtose no Estuário do Rio Formoso.

No estuário do Rio Formoso a distribuição espacial da curtose, apresenta predominância das curvas leptocúrticas em 56% da área, (Fig. 5.16), as curvas platicúrticas estão presentes em 25% da área e em 19% da área ocorrem curvas mesocúrticas (Fig. 5.16).

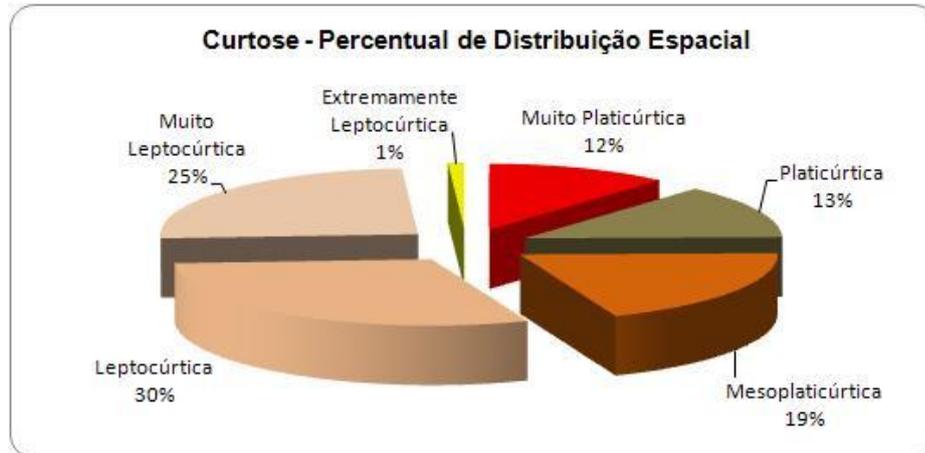


Figura 5. 16 – Distribuição espacial da curtose, segundo percentual, no Estuário do Rio Formoso.

Observa-se que na parte inferior do estuário nas proximidades da desembocadura e em áreas de maior profundidade predominam curvas leptocúrticas (extremamente leptocúrticas, constituem 1%; muito leptocúrticas, 25%; e as leptocúrticas com 30%), confirmando, assim, zonas de alta energia.

Nos cursos dos afluentes Formoso, Porto das Pedras e Lemenho, e nas áreas de cotas batimétricas mais rasas, predominam curvas platicúrticas e mesocúrticas; são setores mais abrigados estando associados às condições de média e baixa energia (Fig. 5. 17).

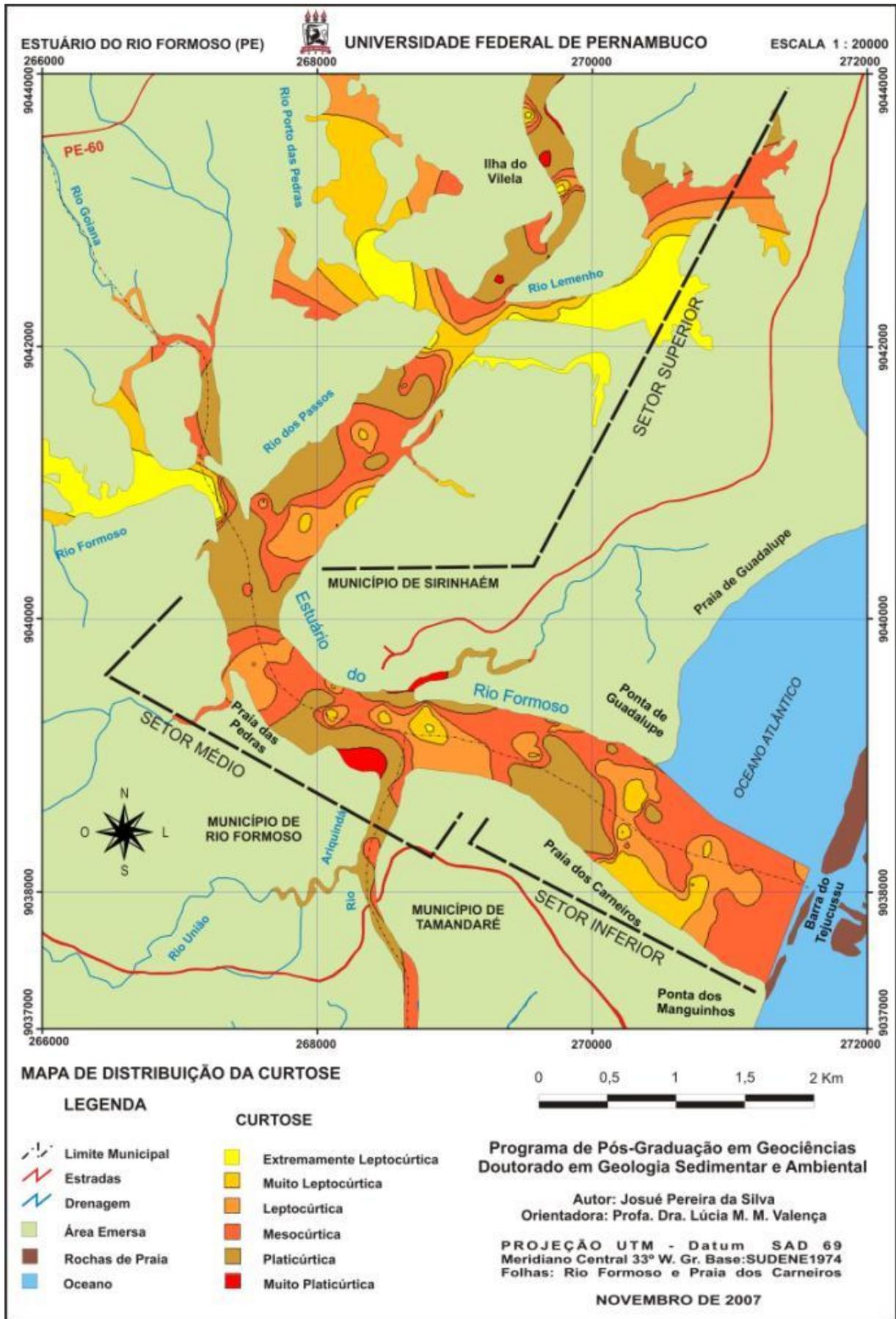


Figura 5.17 – Mapa de Distribuição da Curtose.

5.2.6.4 – Desvio Padrão

Este parâmetro, que corresponde ao grau de seleção das amostras, representa a capacidade de um agente de transporte em selecionar as partículas sedimentares. Em geral, quanto mais fluido for o fluxo, maior será sua capacidade de seleção. Isto significa que o sólido transportado tenderá a apresentar maior homogeneidade granulométrica. Por outro lado, quanto maior a viscosidade, ou densidade do fluxo, menor será sua capacidade de seleção, resultando em material heterogêneo, quanto à granulometria.

Quanto ao grau de seleção das amostras analisadas, constatou-se a predominância de sedimentos pobremente selecionados (56%). As classes, muito pobremente, moderadamente, extremamente mal selecionado e bem selecionado foram também observadas em percentuais que variaram de 22%, 14%, 5% e 3%, respectivamente (Fig. 5.18).

Considerando o grau de seleção das amostras analisadas, pode-se observar que, em termos de distribuição espacial, os sedimentos moderadamente selecionados recobrem 31% da área, os pobremente selecionados, 28%, os muito mal selecionados 25%, os extremamente mal selecionados, 15% e os muito bem selecionados e bem selecionados, juntos recobrem apenas 1% (Fig. 5. 19).

Percentualmente, as amostras apresentam uma distribuição diversificada, entre os graus de moderada seleção até extremamente mal selecionado.

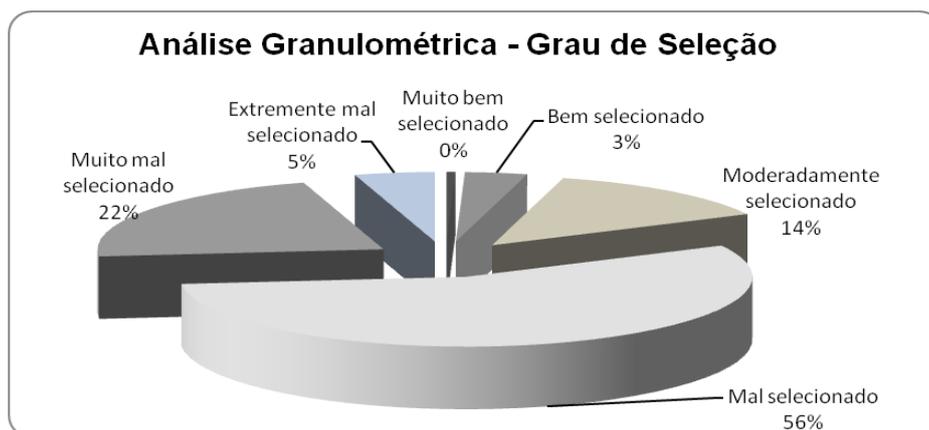


Figura 5.18 – Distribuição do grau de seleção no estuário do Rio Formoso.

Pode-se observar que sedimentos extremamente mal selecionados predominam no setor superior do estuário, mais precisamente nos afluentes Lemenho e Porto das Pedras, como resposta a baixa energia hidrodinâmica do local (Fig. 5.20). Na confluência dos dois rios há domínio de sedimentos mal selecionados possivelmente resultado da convergência de sedimentos carregados por diferentes cursos d'água, a área apresenta condições de baixa a média energia de corrente.

No Rio dos Passos há uma extensa área com sedimentos moderadamente selecionados. Certamente relacionados com a batimetria que neste mesmo local apresenta o predomínio da isobata de 4 m e por apresentar condições de média energia de corrente.

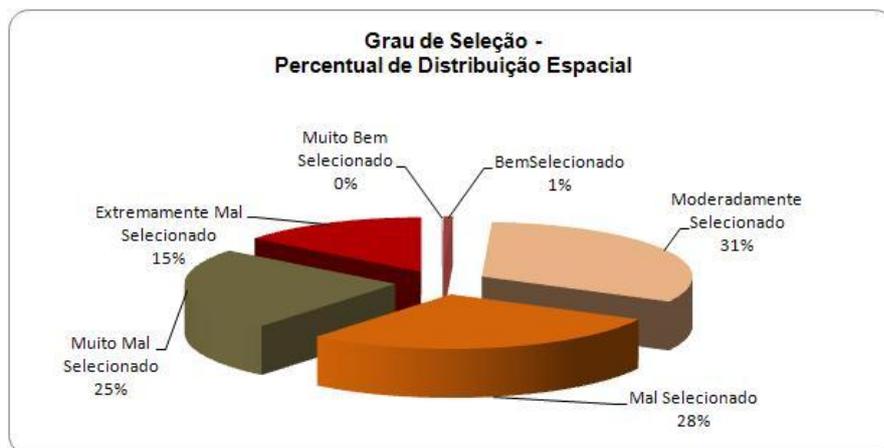


Figura 5.19 – Distribuição espacial do grau de seleção no estuário do rio Formoso.

No mapa se observa, na confluência do Rio Formoso, uma área com sedimentos bem selecionados. Em campo, constituem um banco arenoso exposto durante a baixa mar. Estes sedimentos devem se depositar ao encontrar a barreira hidráulica exercida pelos dois rios, Formoso e dos Passos, na confluência.

No setor inferior, predomina sedimentos moderadamente selecionados distribuídos pelas marés e ondas. Próximo à barreira de rochas de praia e nas margens da praia dos Carneiros ocorrem sedimentos mal selecionados. No caso da barreira de rochas praias, deve corresponder à tendência do material, identificado como areia fina, depositar nestes trechos, mas serem misturados com sedimentos mais grossos, principalmente areia média, ou serem parcialmente remobilizados pelos fluxos de maré e ondas. No caso da praia dos Carneiros, soma-se, à participação hidrodinâmica das ondas, a declividade da praia; tema abordado no capítulo 6 deste trabalho.

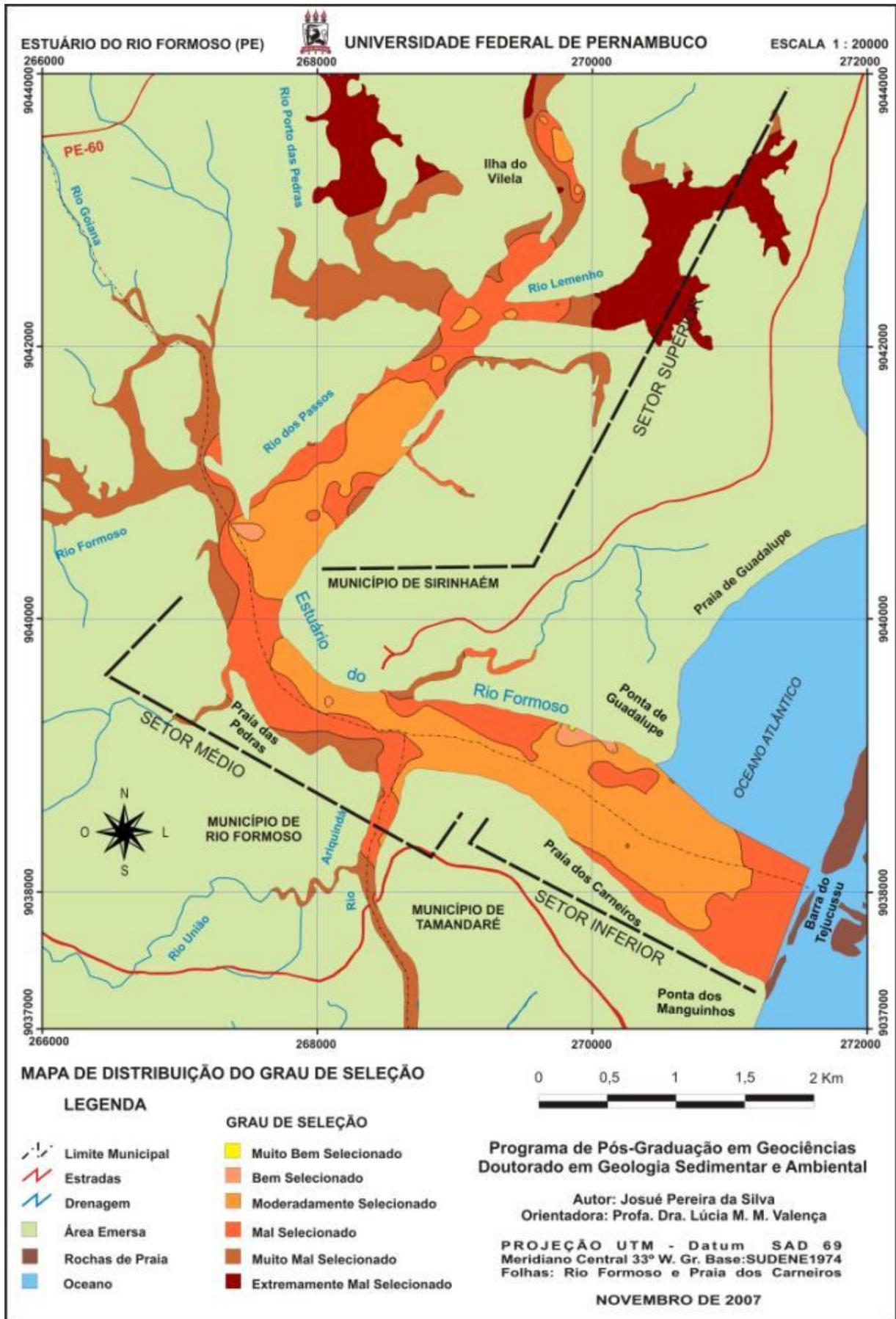


Figura 5. 20 – Mapa de Distribuição do Grau de Seleção.

5.3 – Distribuição Granulométrica

A distribuição granulométrica do sedimento pode ser compreendida a partir da relação entre o tamanho das partículas e a velocidade da corrente, responsável pelo transporte. Esta relação pode ser afetada pela constituição das partículas, em razão da variação do peso, e, secundariamente, pelo formato da partícula.

As partículas sedimentares são predominantemente quartzosas, confirmando a importância da contribuição fluvial no aporte de sedimento para o sistema estuarino.

Podem-se inferir, também, a partir da distribuição granulométrica, mais precisamente com base na mediana, as direções e os sentidos preferenciais do transporte sedimentar. Foi então interpolado e confeccionado o mapa do padrão de transporte dos sedimentos (Fig. 5.21).

Para a confecção do mapa foi aplicado o método de *krigagem* vetorial (Ribeiro, 2000). Neste método é realizada a interpolação de uma variável, no caso, a granulometria. A filtragem do método permite suavizar o resultado correspondente, a direção dos vetores representada, em planta, por setas direcionais.

As variações de tamanho e sentido das setas estão relacionadas com as variações de energia e granulometria (mediana).

A base da seta indica as áreas de menor energia, correspondendo as áreas de menor granulometria ou de menor profundidade. A ponta da seta mostra as áreas de maior energia, ou seja, as áreas de maior granulometria ou de maior profundidade. O tamanho da seta representa a intensidade da energia. O sentido das setas indica padrão coincidente com o trecho mais profundo do canal, onde se encontra o fluxo principal. A direção contrária, ao indicado pelas setas, corresponde ao setor de menor energia de transporte, logo, passível de deposição.

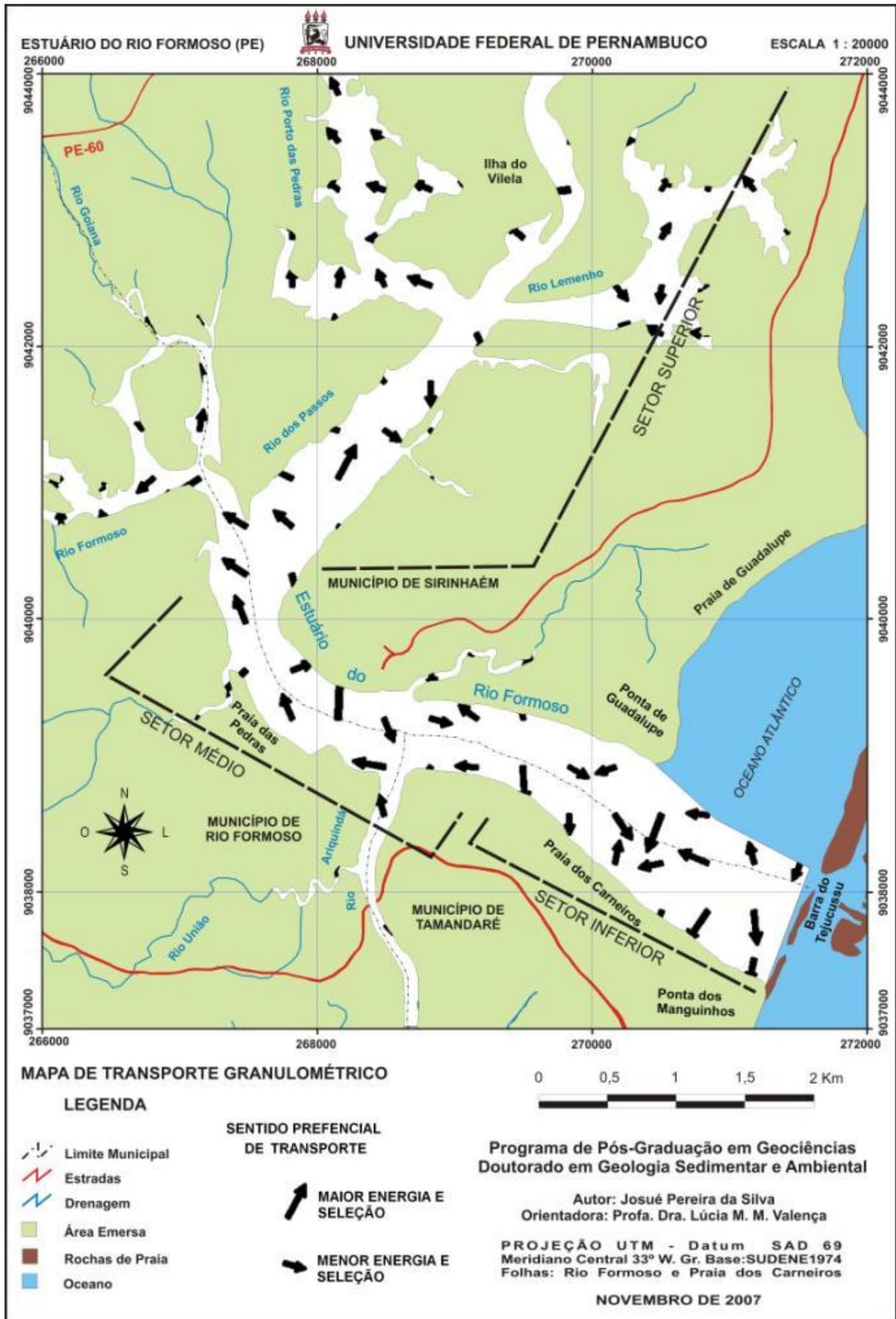


Figura 5.21 – Mapa do padrão de transporte granulométrico, pelo método de *krigagem*.

O mapa mostra que, na desembocadura, o transporte é direcionado para a margem esquerda, correspondente as áreas de maior profundidade. Enquanto que a deposição ocorre na margem direita, de menor profundidade. Os fluxos internos são comandados pela maré (enchente e vazante) e pela corrente fluvial. A convergência do padrão de distribuição granulométrica e o talvegue permitem fazer associação entre a sedimentologia e a batimetria. Desse modo, evidencia-se a concentração das areias finas e muito finas na margem direita, cuja batimetria do canal atinge as menores cotas do setor e apresenta uma morfologia suave, contrastando com a margem esquerda, onde se encontra o trecho mais profundo, com isóbatas superiores a 5 m.

5.4 – Conclusões Parciais do Estudo Sedimentológico

O Mapa de Distribuição da fração cascalho mostra que há pouca participação desta fração no total das amostras analisadas. As maiores concentrações ocorrem nas maiores profundidades e próximo à praia das Pedras, na margem direita do canal do estuário.

Os grãos arenosos apresentam espacialização predominante destacando-se nas amostras com percentuais acima de 90%.

A maior proporção da fração lama ocorre a montante do estuário, e as menores (<5%) são observadas no trecho mediano e inferior do sistema sempre nas margens do canal principal. A maior participação da fração lama no Rio Formoso deve-se, possivelmente à pequena vazão (5.10m³, Lira *et al.*, 1979).

Quanto à distribuição dos sedimentos, segundo o diâmetro médio, predomina areias médias e finas. Nos rios Formoso e Porto das Pedras predominam as frações areia muito fina e lama. No Rio Lemenho, além dessas duas frações, apresenta à montante uma considerável ocorrência de areia fina.

A distribuição da fração arenosa apresenta concentração granulométrica na subfração areia média. Contudo, apresentando tendência ao mal selecionamento, pode-se inferir que esta tendência deve-se à remobilização dos sedimentos da praia de Guadalupe, através da corrente de deriva associada à maré alta. Isto resulta em introdução de material no sistema estuarino.

Os sedimentos dos rios Lemenho, Porto das Pedras e Formoso apresentam predominantemente assimetria muito positiva e positiva, o que indica áreas com condições de energia de transporte mais baixa. Por outro lado, no rio dos Passos e no estuário, há alternância variando de aproximadamente simétrica à assimetria negativa. Localmente, à jusante da confluência do Ariquindá e próximo à desembocadura, apresenta assimetria muito negativa. São características de áreas submetidas às condições de maior energia de transporte.

Os parâmetros indicaram que a hidrodinâmica interna é predominantemente de alta a média energia, nos setores inferior e médio, respectivamente. No setor superior, predomina regime de baixa energia. Os ciclos de média energia estão possivelmente relacionados com a maré vazante.

Na margem direita do canal principal, na praia dos Carneiros, em direção leste, se observa área de deposição com elaboração de bancos de areia longitudinais que acompanham o padrão predominante das correntes.

As análises granulométricas possibilitaram na identificação do fluxo de maré como fator predominante na distribuição do sedimento de fundo. Isto foi possível ao se considerar que as diversas distribuições resultam da hidrodinâmica, permitindo inferir as áreas de maior ou de menor influência da maré, e secundariamente das ondas associadas à preamar, no estuário do rio Formoso.

6 – MORFODINÂMICA PRAIAL

6.1 – Introdução

A elaboração de perfis praias permite avaliar a dinâmica costeira considerando os sentidos do balanço sedimentar e dos processos deposicionais ou erosivos, correspondentes ao avanço ou recuo da linha de costa. Nesta perspectiva, de demonstrar as variações temporais do sistema praias, diversos trabalhos foram elaborados, como os de Bascom (1951), Bruun (1962), Sonu & Van Beek (1971), Davis (1985) e Medina *et al.* (1994). Para a compartimentação dos elementos morfológicos de uma praia, adaptou-se a classificação de Davis (1985) conforme a figura 6.1.

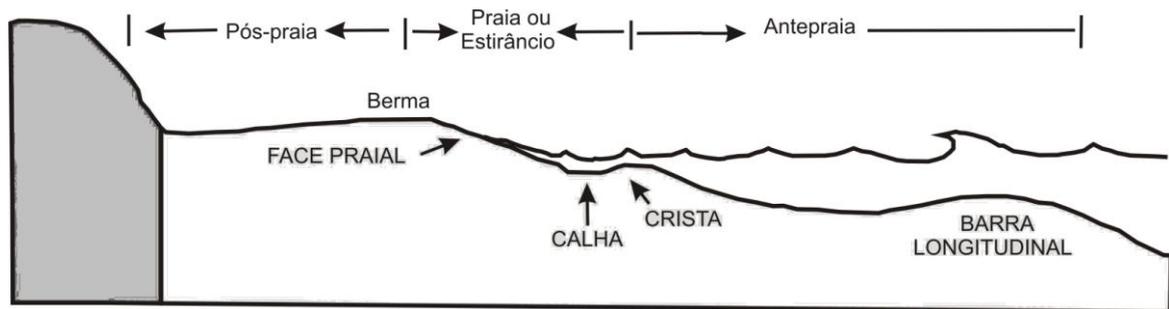


Figura 6.1 – Perfil com principais elementos morfológicos de uma praia, adaptado de Davis (1985).

A mobilização dos sedimentos e a configuração das praias estão diretamente associadas com processos oceanográficos físicos, denominados de processos hidrodinâmicos costeiros. Estes processos são exercidos pela ação das ondas, das marés e por correntes resultantes da ação dinâmica originada principalmente a partir do dos ventos. A competência do vento está basicamente na direção e na velocidade com que fazem a superfície líquida ondular. No litoral de Pernambuco, predominam os ventos de SE, entre abril e setembro, e de NE, entre outubro e março, mas se concentrando em agosto e setembro.

Tendo como base os dados sobre o regime de ondas em Suape, tem-se que ventos com velocidades entre 4 e 6 m/s geram ondas que podem alcançar entre 12 e 14 m/s, com direção ESE e SE, e conjuntamente à direção, a altura e o período

das ondas, influenciam no transporte de sedimentos ao longo das praias (CONSULPLAN, 1992).

As correntes de maior interesse em uma praia são as denominadas correntes litorâneas. Sua importância reside na capacidade de transportar sedimentos de uma região para outra, longitudinalmente à linha de costa. Isto significa que uma área sob condições erosivas pode ter o material desagregado, transportado e depositado noutra área, que apresenta condições deposicionais, resultando em acréscimo na linha de costa.

Construções mal dimensionadas ou posicionadas de modo que sirvam de obstáculo às correntes litorâneas, influenciam ou determinam a ativação de processos erosivos em áreas costeiras ao alterarem a hidrodinâmica e o transporte por correntes de deriva litorânea.

Variações do nível do mar ou mesmo a sazonalidade das praias, com retirada e reposição natural de sedimentos, podem estabelecer períodos de erosão ou de deposição, representando uma situação de busca de equilíbrio no balanço sedimentar.

Para a análise do comportamento do balanço sedimentar é necessário comparar a evolução dos perfis praias, em períodos pré-determinados. O conhecimento da morfodinâmica praias constitui um importante parâmetro para o planejamento de uso e ocupação do solo de regiões costeiras, contribuindo na organização espacial e conservação ambiental (Manso, *et al.* 2003).

A realização de levantamentos de perfis de praia na área estudo, além de permitir identificar o comportamento morfodinâmico, como resposta da hidrodinâmica regional, contribuiu nas considerações sobre o comportamento do transporte sedimentar da praia de Guadalupe e o Estuário do Rio Formoso.

Nas margens que delimitam o canal estuarino, próximo da desembocadura, se desenvolvem praias com características diferenciadas. Na margem direita, a Praia dos Carneiros apresenta-se relativamente larga (em média 140 m de extensão), formada por areias de granulometria média (0,50 mm), fina (0,25 mm) a muito fina (0,125 mm). A porção da Praia de Guadalupe, na margem esquerda do estuário, é comparativamente, estreita (em média 15 m de extensão), estando delimitada pelo talvegue. É formada por areias grossas (1,0 mm), médias (0,50 mm), a areias finas (0,25 mm).

6.2 - Materiais e Métodos

Foram realizados levantamentos nos meses de julho, setembro e outubro de 2005. O mês de julho, representativo do período chuvoso; setembro e outubro, o período de estiagem. Foram montadas estações para referência de nível (RN), monitoradas durante o período citado.

O material utilizado nesta etapa, constou de: Nível Topográfico – *Pentax*; Tripé – *Al top*; Mira topográfica; Trena de 50 m; Fichas de campo; GPS – *Garmim 12* e piquetes de demarcação.

Os perfis foram montados perpendicularmente à linha de costa. As execuções dos levantamentos foram realizadas na baixa-mar das marés de sizígia, objetivando obter a maior extensão do estirâncio descoberto e, assim, um perfil maior e mais representativo do ambiente praiial.

As estações (Referência de Nível – RN) foram fixadas na pós-praia. Adotou-se, como referência, pontos estáveis como quina de muro ou árvores, geoposicionados com o receptor GPS para posterior plotagem (Fig. 6.2). Com base nestes pontos fixos foram realizadas leituras com distanciamento não regular, definido segundo as variações morfológicas observadas na face praiial. As leituras foram efetuadas desde o ponto de amarração (RN) até onde a profundidade permitiu adentrar na antepraia.

Para o nivelamento topográfico foram feitas as leituras das visadas na mira, sobrepostas à superfície do terreno. As cotas desses perfis foram reduzidas ao zero hidrográfico estipulado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN (2006) sendo desenvolvido um cálculo de correção para as oscilações das curvas harmônicas da maré.

A aplicação destes parâmetros, nos levantamentos da morfodinâmica praiial, possibilita a avaliação do impacto das marés e das ondas associadas, sobre a morfologia das praias (Hoefel & Klein, 1998).

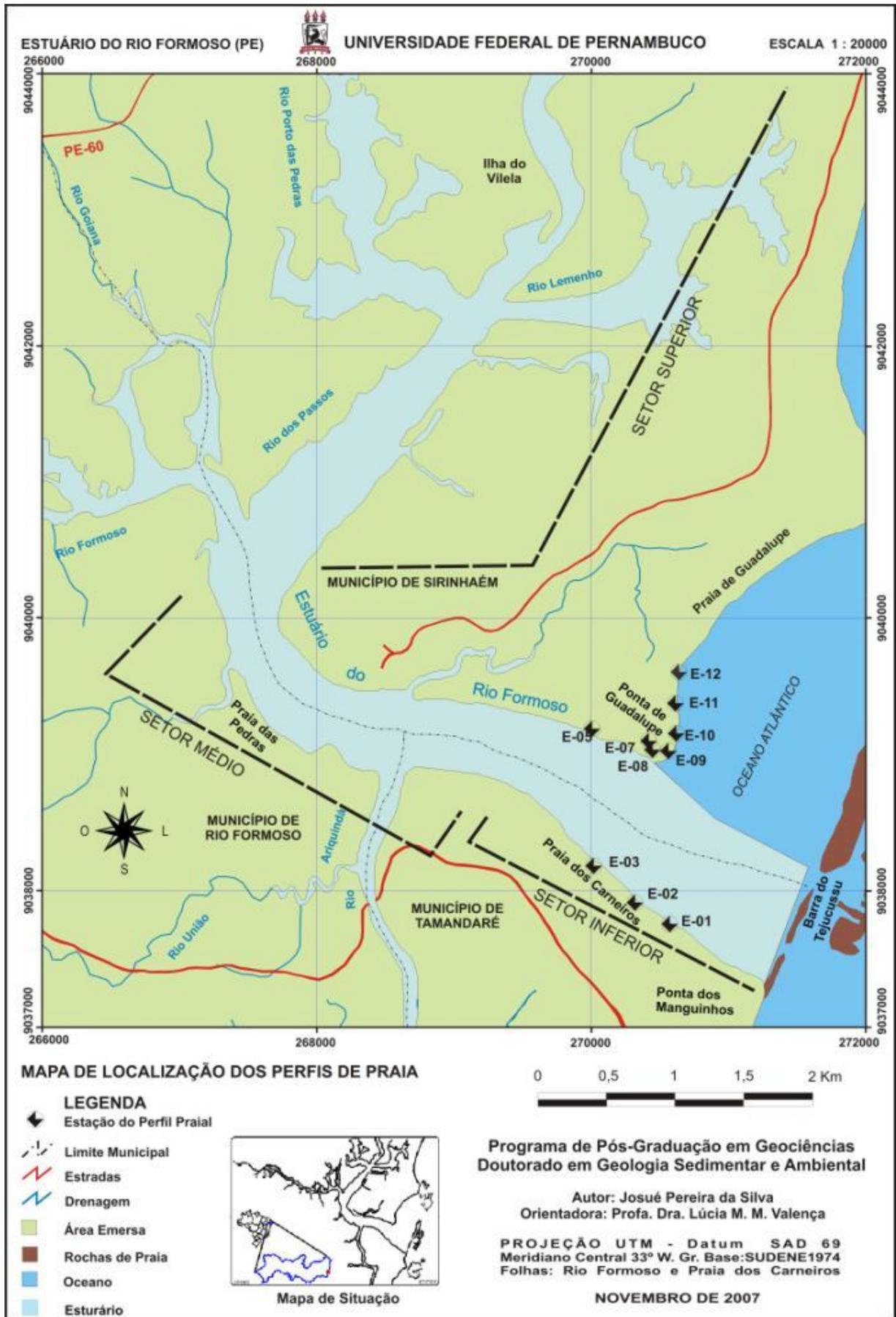


Figura 6.2–Mapa de localização dos Perfis de Praia (Estuário do Rio Formoso e Praia de Guadalupe).

6.3 – Resultados e Discussões

Os perfis representam a evolução da morfologia durante o período julho-outubro, considerando a influência das marés de sizígia. Em um trecho da praia dos Carneiros, foram montadas três transectos de perfilagem, denominadas estações E1, E2 e E3 (Fig. 6.3, 6.4 e 6.5). Pode-se verificar que, nos meses de setembro e outubro (período de estiagem), houve mobilização dos sedimentos, com retirada de material. Observou-se que, a partir da berma, em setembro ocorreu um deslocamento de aproximadamente 2 m em direção ao continente. Em outubro, a berma já erodida, na mesma cota da Referência de Nível – RN. O trecho considerado apresentou tendência erosiva, no período. Entre os meses de setembro e outubro, a partir dos 75 m de distância do RN, ocorreu relativo acúmulo, formando um banco arenoso, paralelo à linha de praia (Fig. 6.6).



Quanto ao balanço sedimentar, a estação E-1 (UTM 270624 / 9037801) teve perda ($-166 \text{ m}^3/\text{m}$) em setembro e ganho de $20 \text{ m}^3/\text{m}$ em outubro. A estação E-2 (UTM 270353 / 9037972) apresentou perdas ($-75 \text{ m}^3/\text{m}$ e $-51 \text{ m}^3/\text{m}$), nos mesmos meses. A estação E-3 (UTM 270041 / 9038224), teve perda em setembro ($-143 \text{ m}^3/\text{m}$) e ganho de $101 \text{ m}^3/\text{m}$, em setembro (Fig. 6.7). Na verdade, os perfis não representam áreas de erosão, pois os sedimentos são ciclicamente mobilizados. Os sedimentos ora se deslocam em direção à calha do estuário, ora retornam à margem podendo, ainda, se deslocarem ao longo dela.

As variações morfológicas são representadas basicamente pela mobilização de sedimentos que formam dunas subaquáticas que durante a maré baixa apresentam-se como bancos arenosos (Figs. 6.8, 6.9 e 6.10). Durante a preamar os sedimentos remobilizados, por vezes, são depositados na pós-praia.



Figura 6.4 – Posicionamento do perfil E –2, praia dos Carneiros, margem direita Setembro/2006.



Figura 6.5 – Posicionamento do perfil E – 3, praia dos Carneiros, margem direita Setembro/2006.

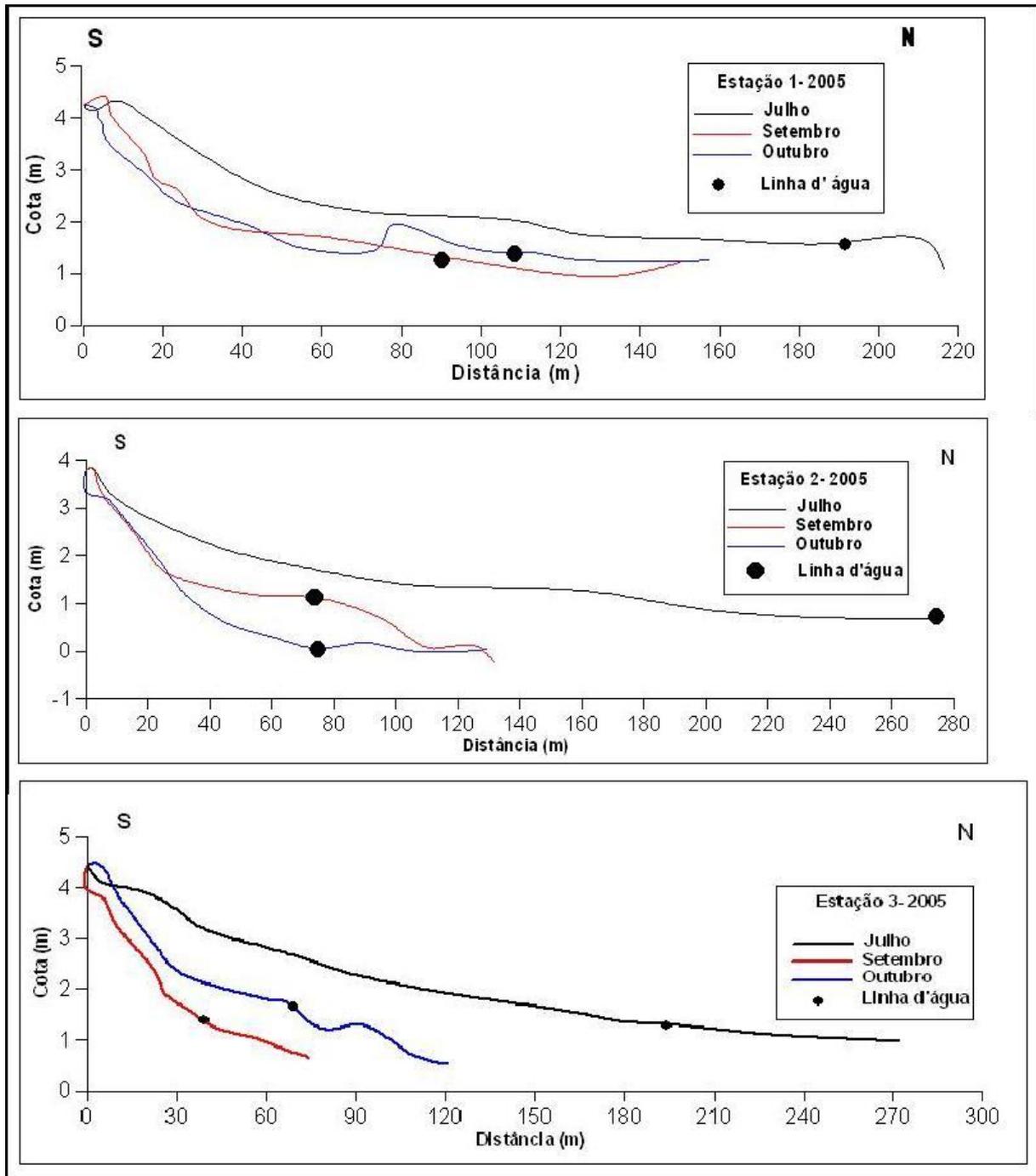


Figura 6.6 – Curvas de nivelamento das estações E-1, E-2 e E-3 na Praia dos Carneiros.

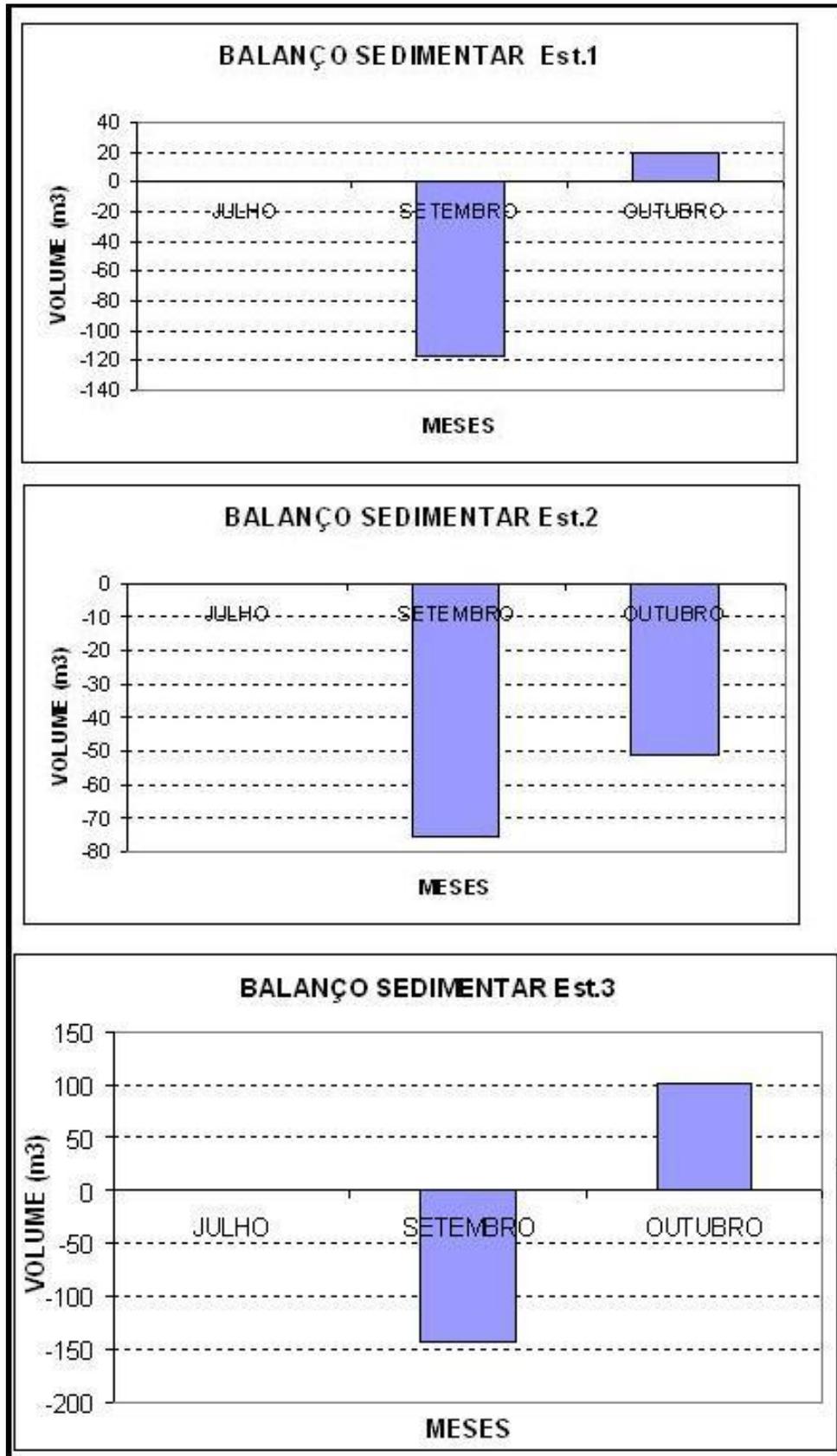


Figura 6.7 – Balanço sedimentar da praia dos Carneiros

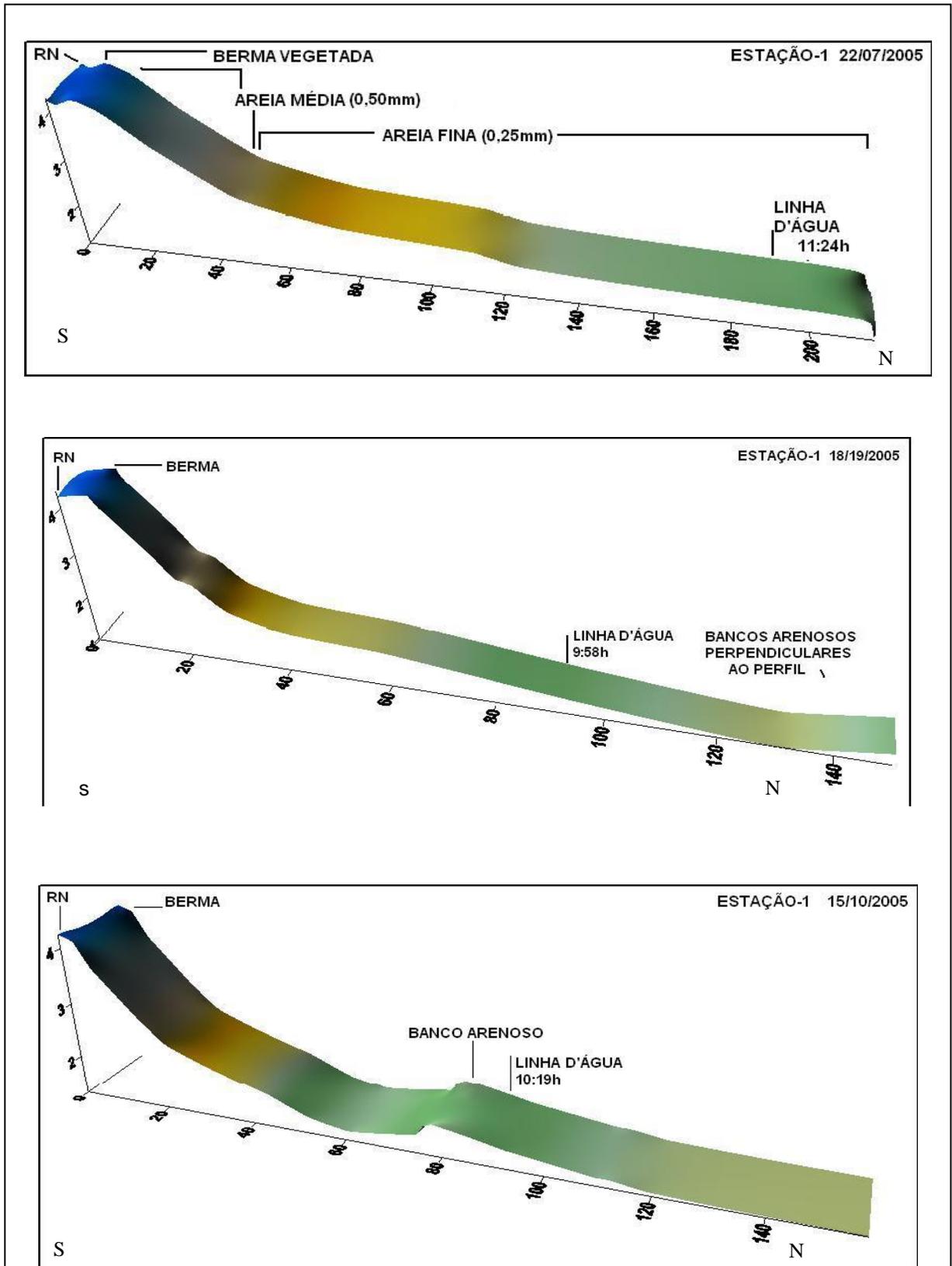


Figura 6.8 – Estação 1. Bloco diagrama da evolução Praia dos Carneiros. No período considerado, ocorre a retirada de sedimentos e evolução para um perfil côncavo.

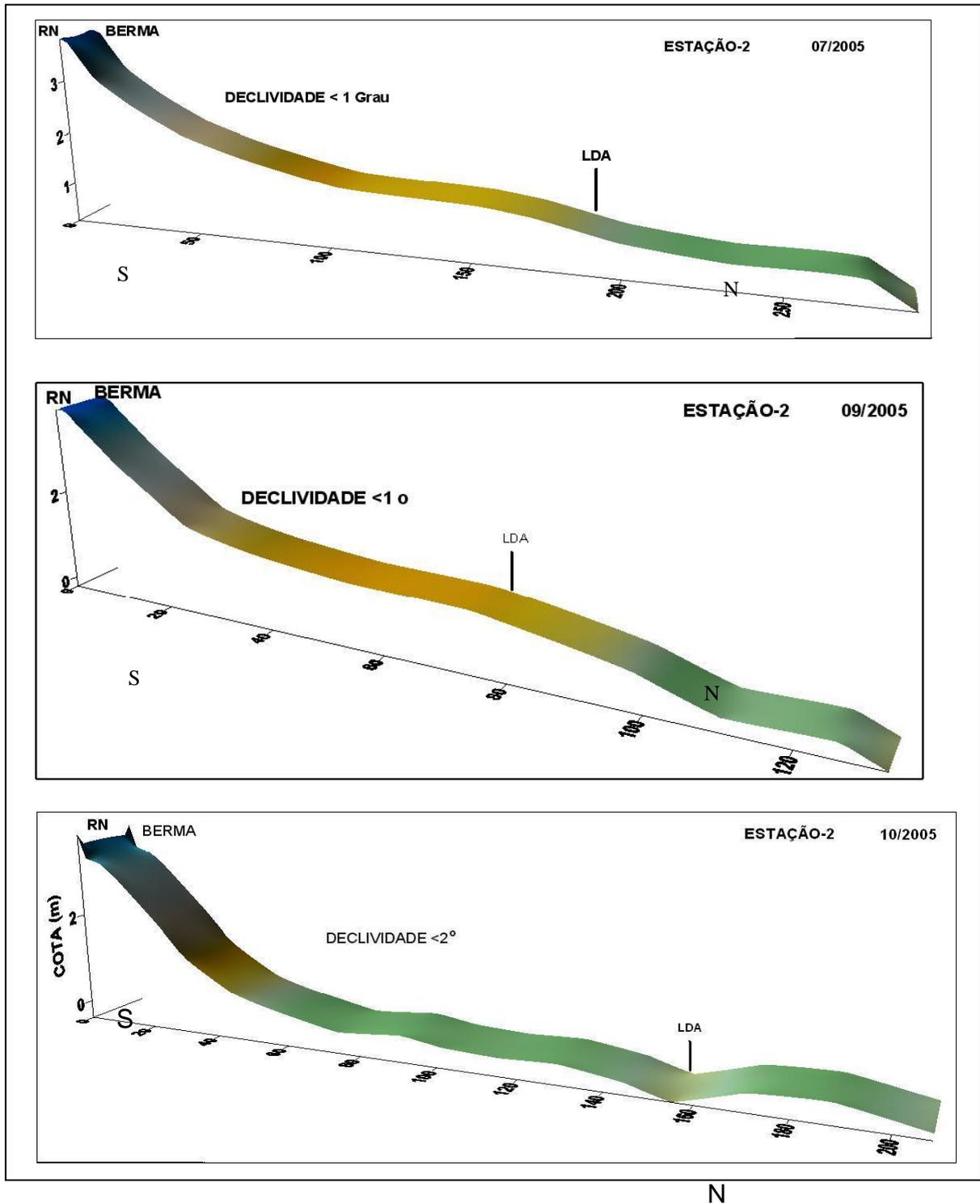


Figura 6.9 – Estação 2. Bloco diagrama da evolução Praia dos Carneiros. No período considerado, observa-se o resultado da mobilização dos sedimentos com aumento da declividade na parte proximal da berma e a formação de bancos na antepraia.

As estações E-5 e E-8, estão posicionadas na margem esquerda do canal estuarino. De modo geral, é o trecho com a face de praia mais estreita. O limite dos

perfis coincide com a acentuada vertente do talvegue que corresponde ao trecho mais profundo do canal localizado nesta margem (Fig. 6.11). O gradiente da face praial deste trecho possibilita, adaptando a classificação de Short & Wright (1983), como reflectiva em relação à ação das ondas atuantes durante a maré alta.

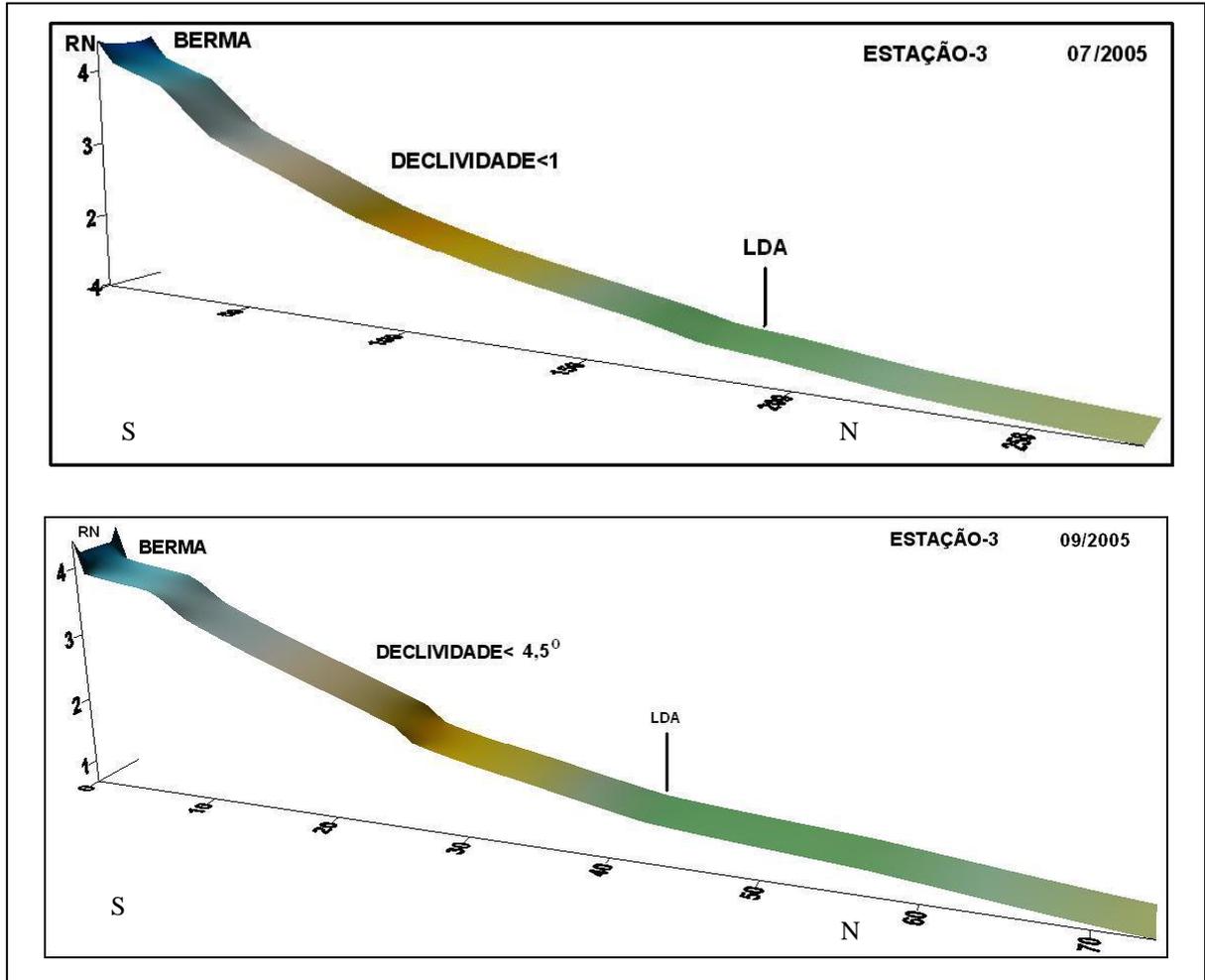


Figura 6.10 – Estação 3. Bloco diagrama da evolução Praia dos Carneiros. No período considerado, se observa o deslocamento de sedimentos com aumento da declividade na parte proximal da berma. Nota-se, ainda a formação de uma segunda berma.

A estação E-5 (UTM 270027 / 9039165) apresentou balanço sedimentar com variação de ganho, em setembro ($31 \text{ m}^3/\text{m}$), e perda de sedimentos em outubro de $-12 \text{ m}^3/\text{m}$ (Fig. 6.12). A estação E-8 (UTM 270452 / 9039041) apresentou comportamento positivo com aporte de $93 \text{ m}^3/\text{m}$, tendo uma pequena perda acumulada em outubro de $-8 \text{ m}^3/\text{m}$ e uma variação morfológica pouco significativa (Fig. 6.13 e 6.14).



Figura 6.11 – Aspecto de trecho da praia de Guadalupe, na margem esquerda do estuário.

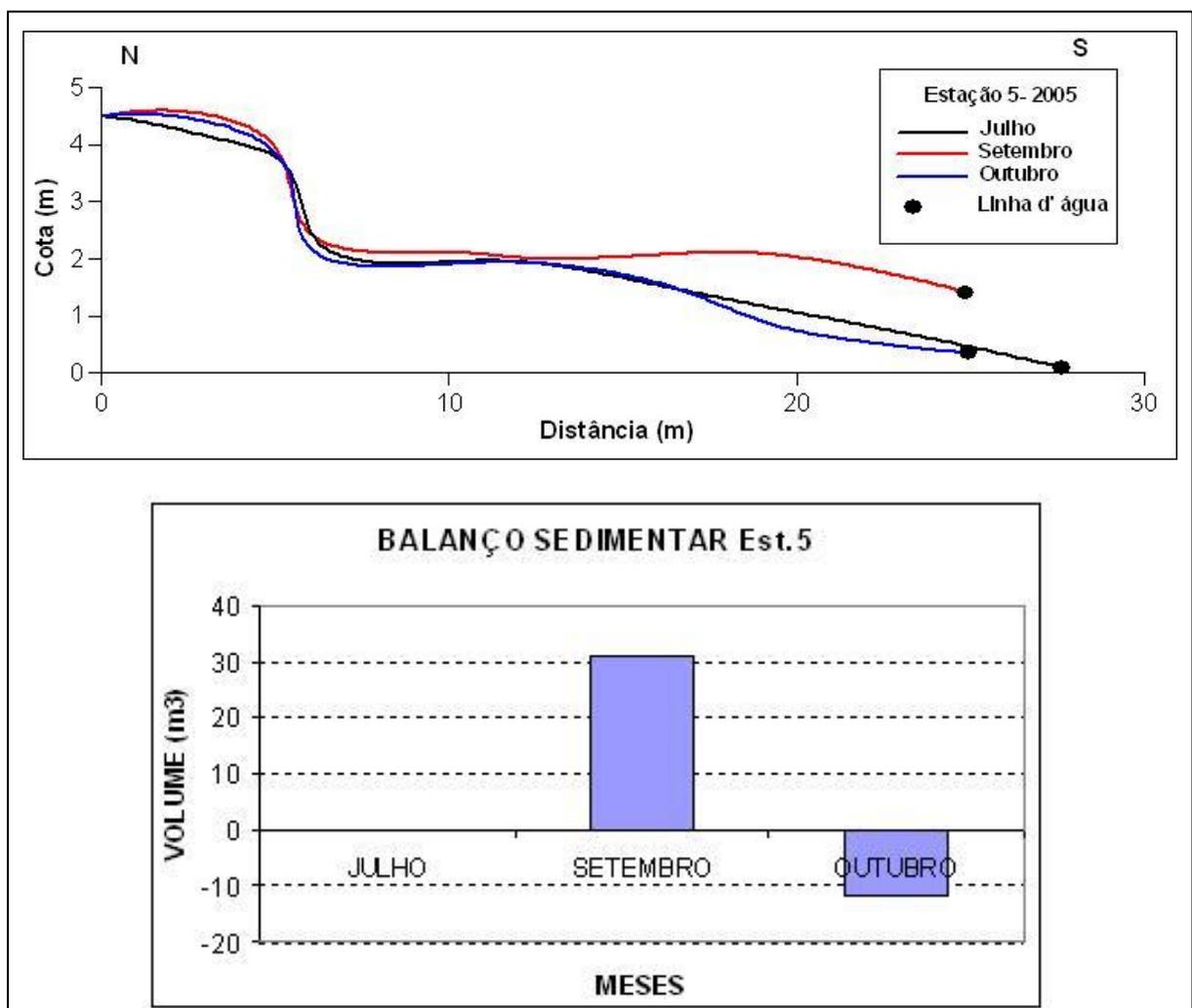


Figura 6.12 – Estação E-5, Perfis e balanço sedimentar da praia na margem esquerda do estuário.

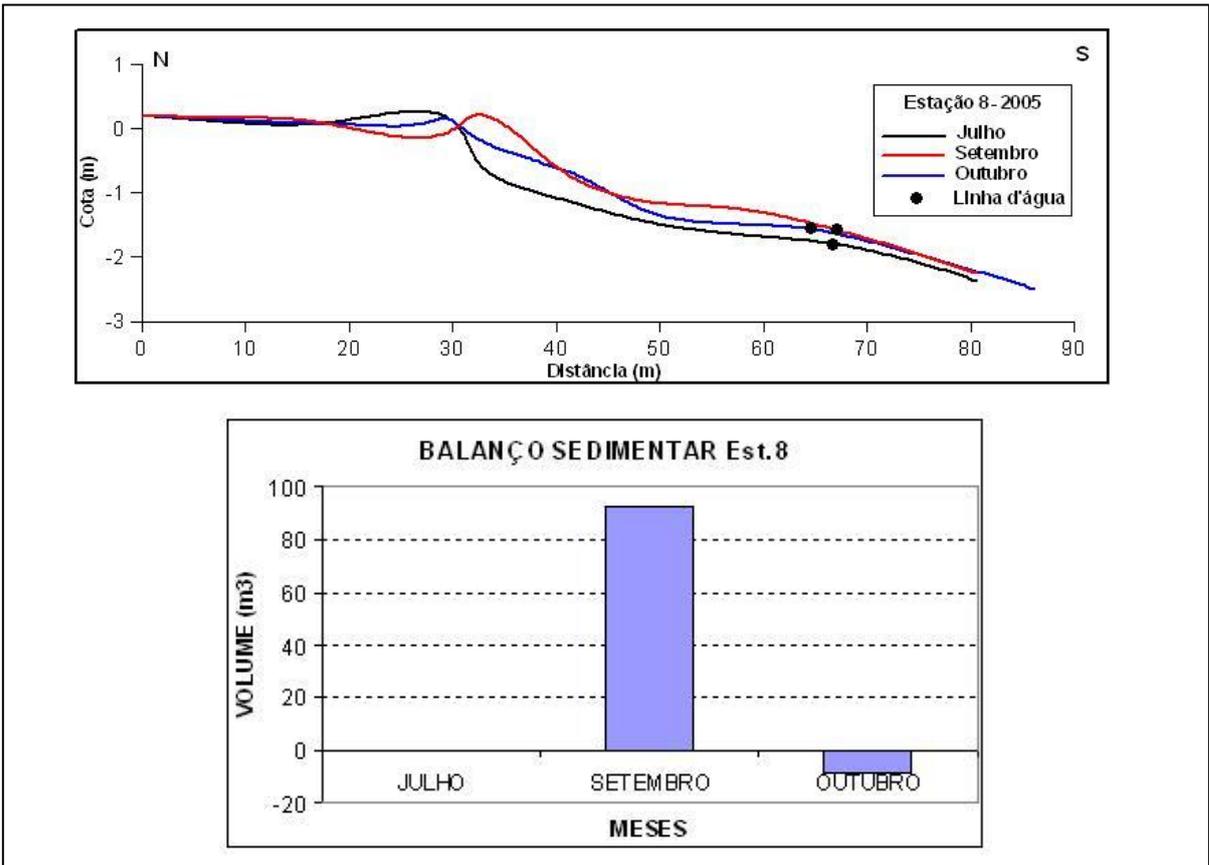


Figura 6.13 – Estação E-8, Perfis e balanço sedimentar da praia na margem esquerda do estuário.

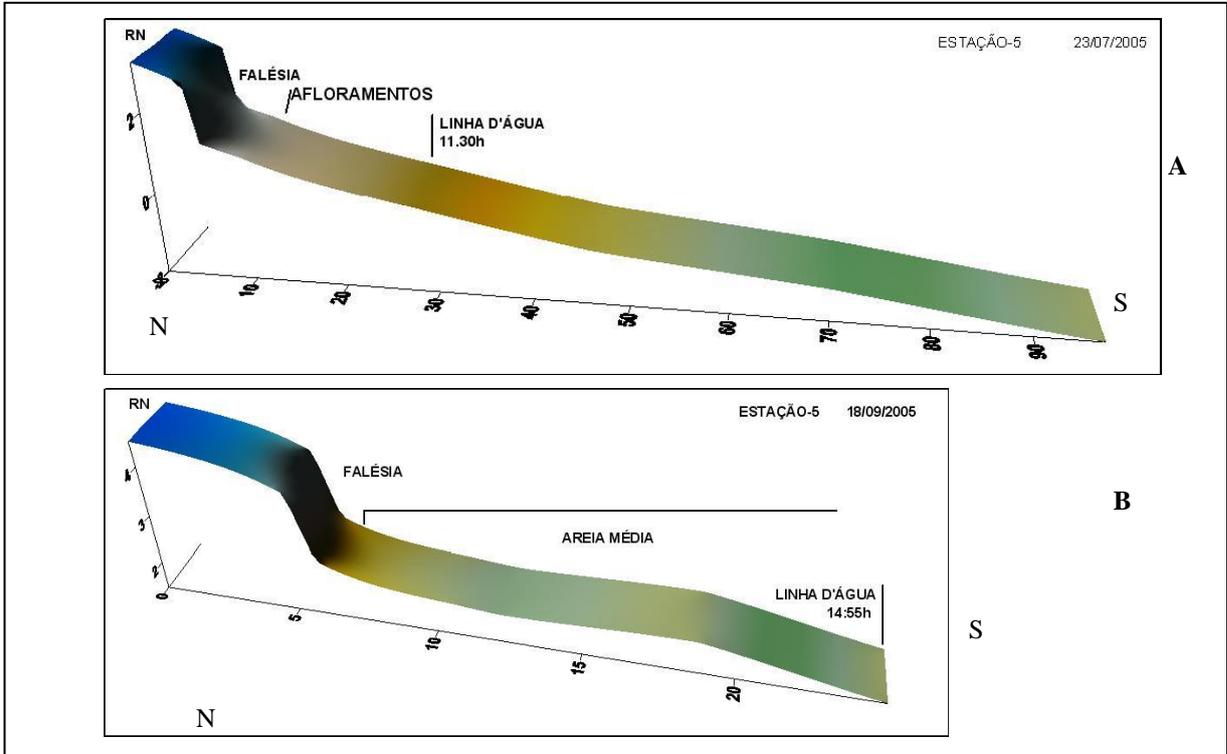


Figura 6.14 – Estação 5. Bloco diagrama da evolução da praia na margem esquerda do Estuário. No período considerado, observa-se a perda de sedimentos no sopé da falésia e acentuado aumento na declividade na margem (B). Isto ocorre com a ação das ondas durante a maré alta.

A Estação E-9 (UTM 270565 / 9039105), localizada no Pontal de Guadalupe, apresentou no mês de setembro, acréscimo de sedimentos ($51 \text{ m}^3/\text{m}$). Em outubro apresentou estabilização com um pequeno ganho de $1 \text{ m}^3/\text{m}$. Os perfis nos meses de setembro e outubro apresentaram evolução positiva na sua morfologia em relação a julho (Fig. 6.15).

As estações E-12, E-11 e E-10 estão localizadas ao longo da Praia de Guadalupe, e apresentam comportamento morfodinâmico diferenciado das demais estações comentadas anteriormente.

A estação E-12, está posicionada no sopé da falésia de Guadalupe nas coordenadas UTM 270640 / 9039605 (Fig. 6.17).

A estação E-11 está montada sobre uma rampa de acesso próximo de um muro de contenção nas coordenadas UTM 270605 / 9039377, (Fig. 6.18). Esta obra rígida está construída sobre a faixa de praia, resultando em um efeito reflectivo das ondas de modo similar ao da falésia onde se encontra a Estação E-12 (Fig. 6.19). Nas estações E-11 e E-12, a praia forma uma estreita faixa com cerca de 20m.

A Estação E-10 está localizada na coluna de uma casa, construída sobre a pós-praia nas coordenadas UTM 270603 / 9039163. Foi verificado que esta casa se encontra comprometida, do ponto de vista estrutural, em razão do embate das ondas durante as marés de sizígia (Fig. 6.20).

A estação E-11 apresentou aportes ($20 \text{ m}^3/\text{m}$) e em outubro ($1 \text{ m}^3/\text{m}$). A Estação E-10, apresentou perdas de sedimentos em setembro ($-21 \text{ m}^3/\text{m}$) e em outubro ($-39 \text{ m}^3/\text{m}$).

A estação E-12 apresentou perda de sedimentos entre julho e setembro ($-40 \text{ m}^3/\text{m}$), em outubro teve ganho de $8 \text{ m}^3/\text{m}$, indicando relativa estabilização.

É possível interpretar, embora faltem mais dados para certificar, que parte do sedimento erodido da face praial da E-12 seja depositado na E-11, pela corrente de deriva local, considerando a dinâmica observada entre ambas. (Figs. 6.22, 6.23 e 6.24).

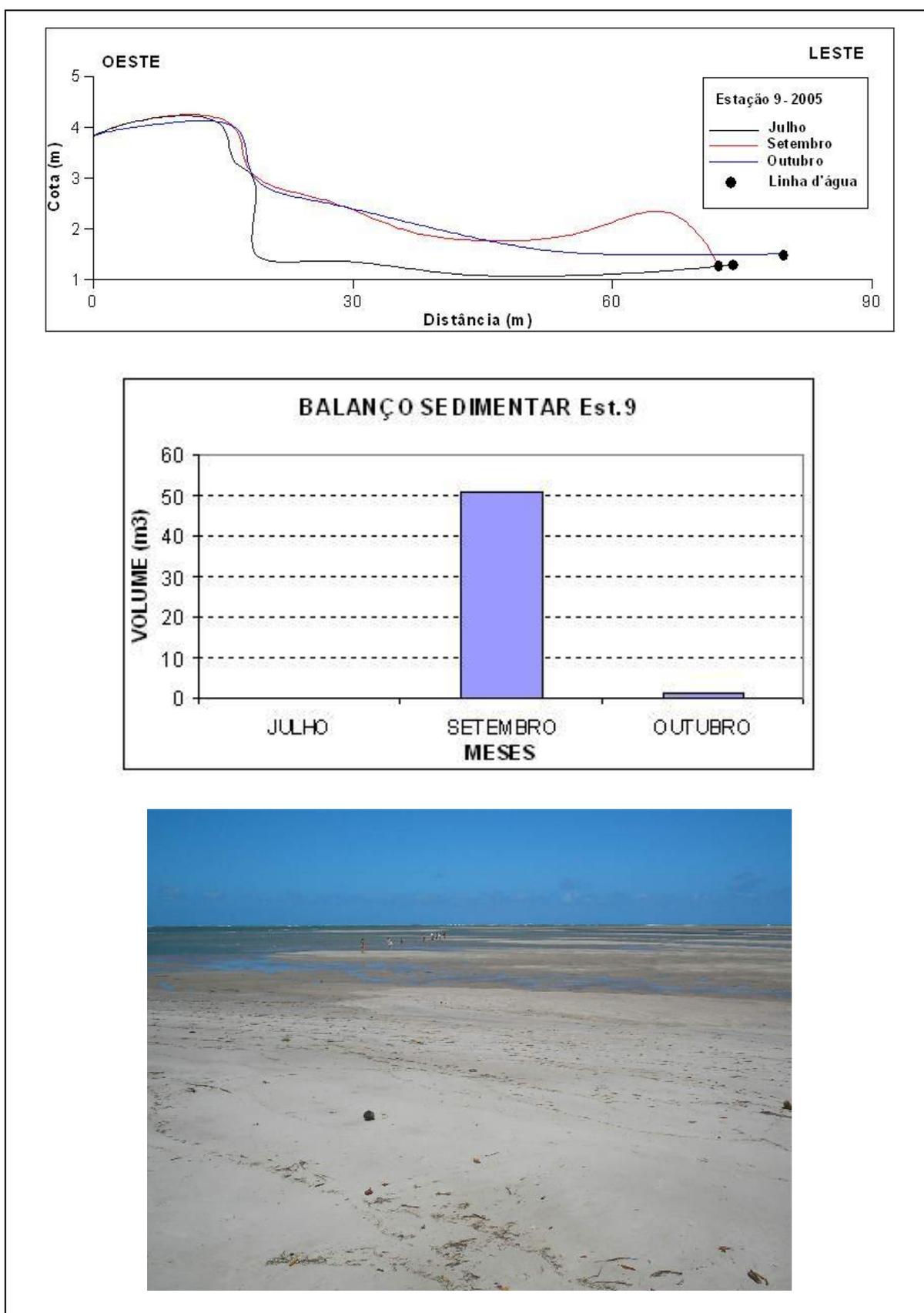


Figura 6.15 – Estação E - 9. Perfis e balanço sedimentar da praia do Pontal de Guadalupe.

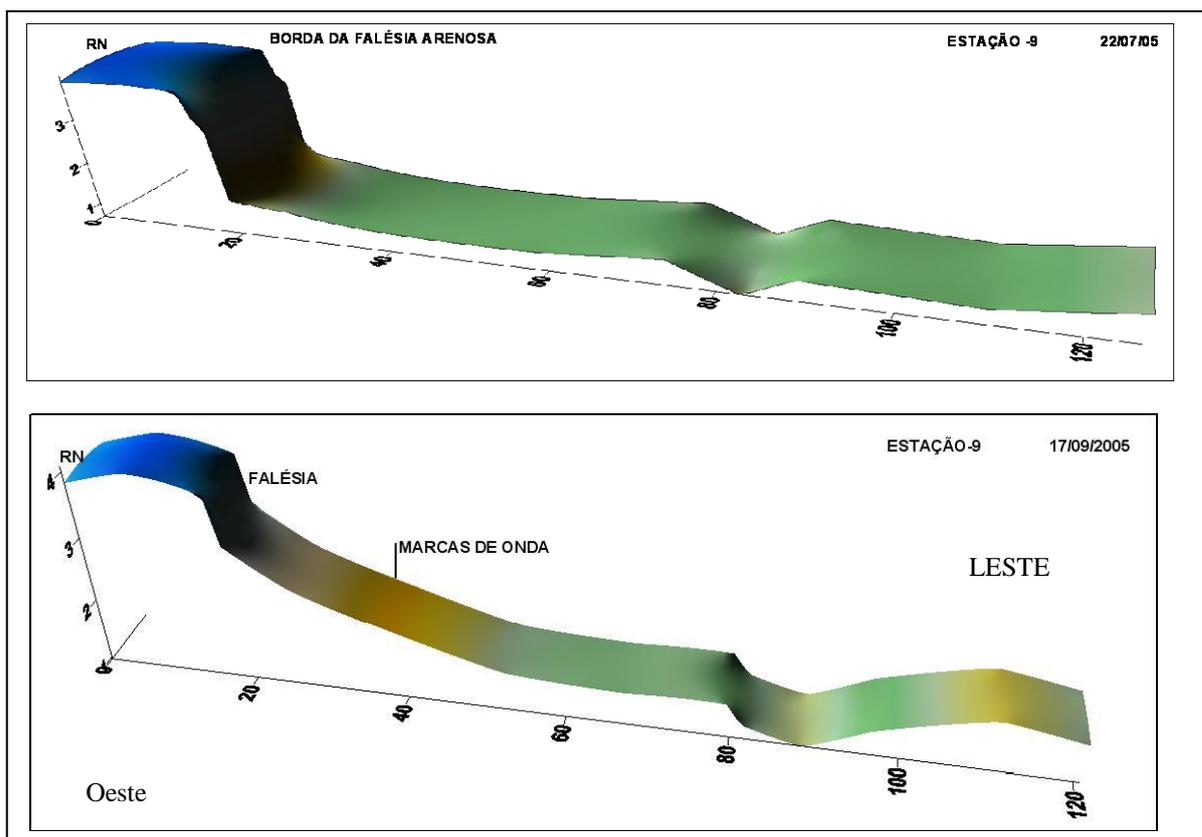


Figura 6.16 – Estação E-9. Bloco diagrama da evolução de trecho do Pontal de Guadalupe. No período considerado, observa-se o aporte de sedimentos ao sopé da falésia.



Figura 6.17 – Posicionamento do Perfil E-12, Praia de Guadalupe, setembro 2006. A face da falésia encontra-se em intensa erosão ocorrendo queda de árvores.



Figura 6.18 – Posicionamento do Perfil E-11, da Praia de Guadalupe, setembro 2006.



Figura 6.19 – Estação E-11, aspecto do muro de proteção na Praia de Guadalupe, setembro 2006.



Figura 6.20 – Posicionamento do Perfil E-10, da Praia de Guadalupe, setembro 2006.

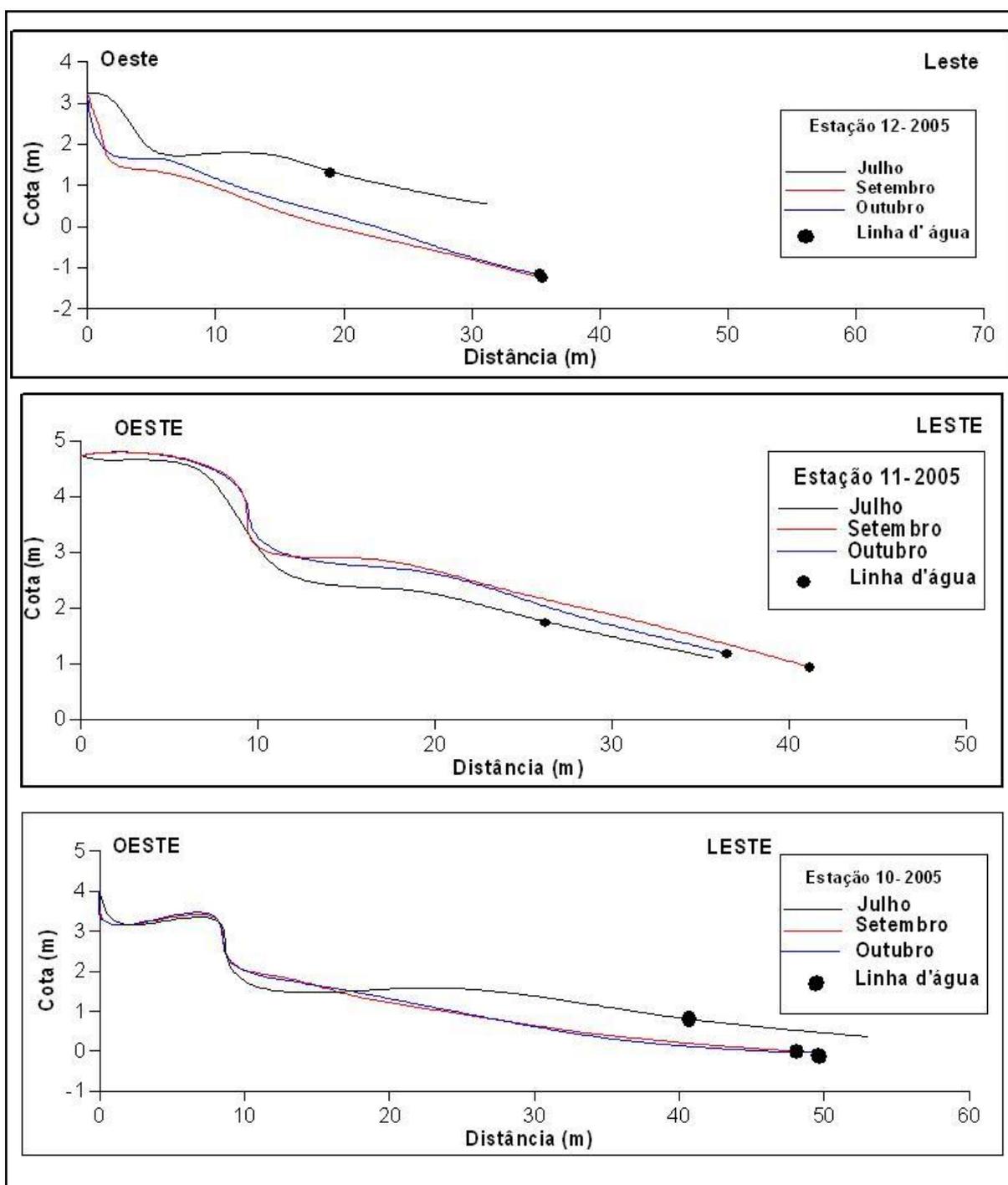


Figura 6.21 – Curvas de nivelamento das estações E-12, E-11 e E-10 na Praia de Guadalupe.

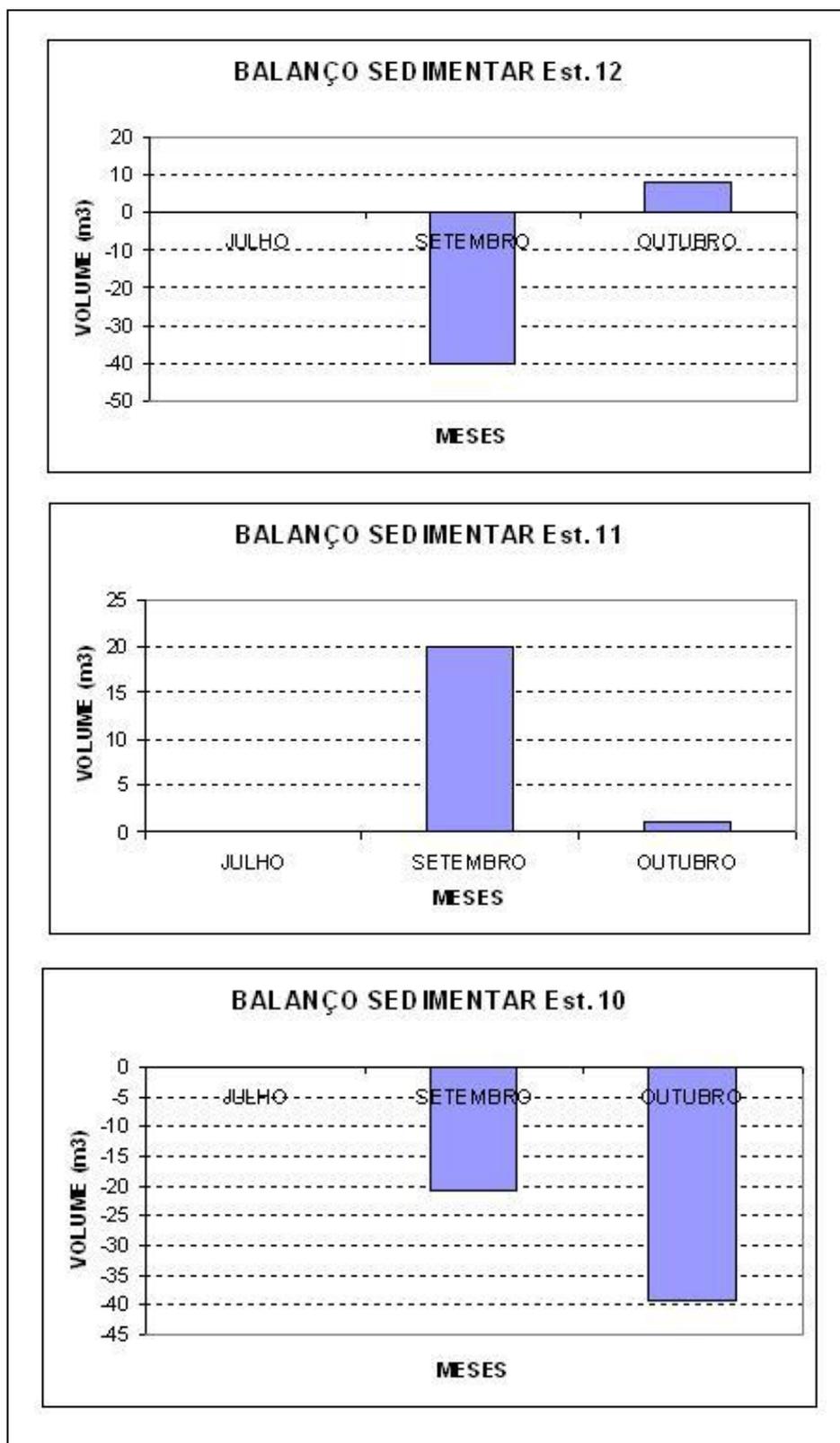


Figura 6.22 – Estações E-10, E-11 e E-12: Balanço sedimentar dos perfis na praia de Guadalupe.

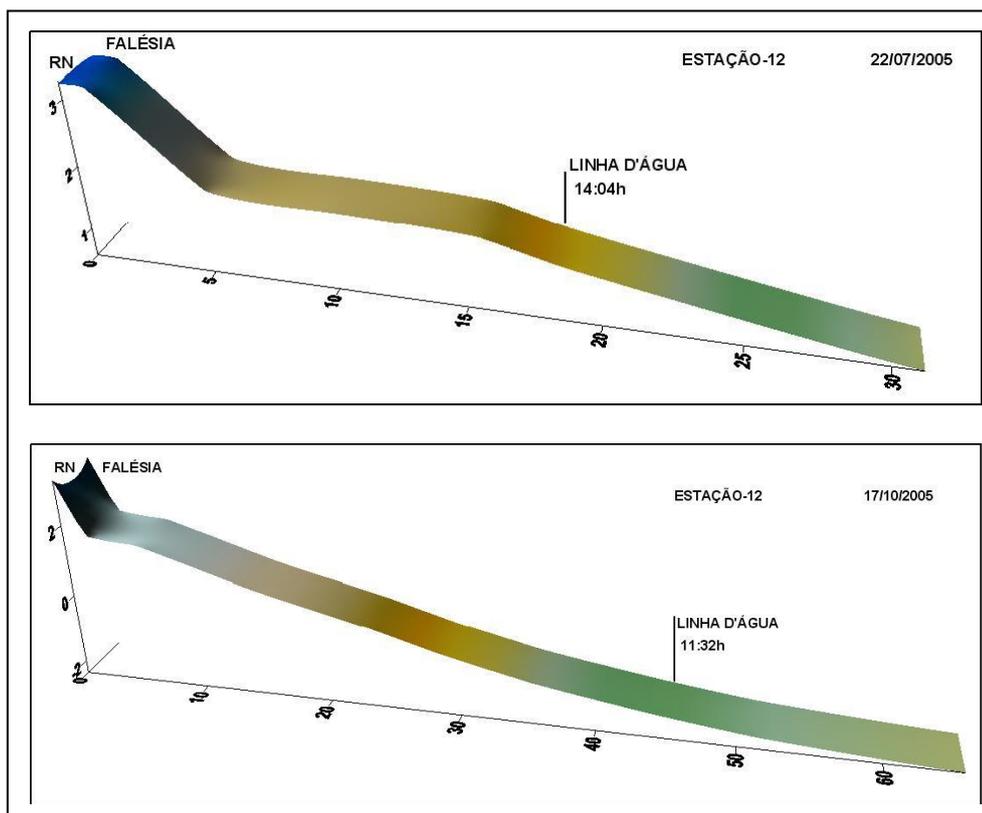


Figura 6.23 – Estação 12. Bloco diagrama da evolução de trecho da Praia de Guadalupe. No período considerado, observa-se o recuo da falésia, a remoção sedimentar da face praial e o remodelamento do perfil.

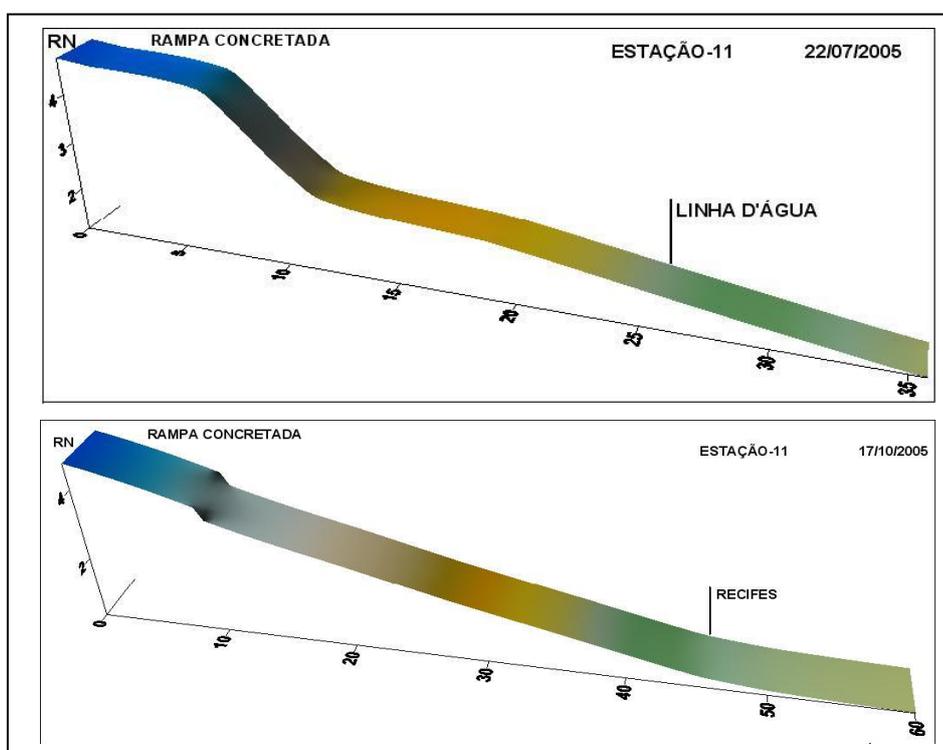


Figura 6.24 – Estação 11. Bloco diagrama da evolução de trecho da Praia de Guadalupe. No período considerado, observa-se o acúmulo de sedimentos na face praial.

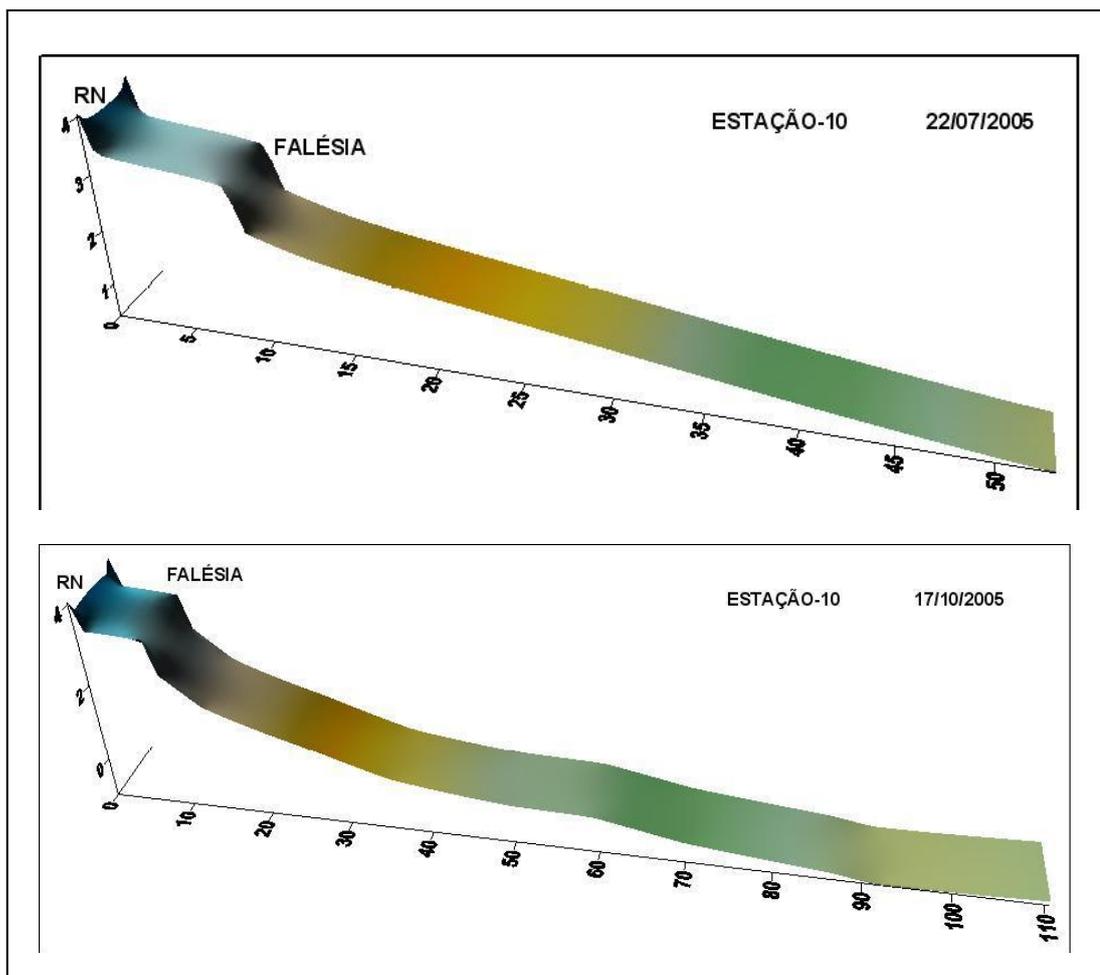


Figura 6.25 – Estação 10. Bloco diagrama da evolução de trecho da Praia de Guadalupe. No período considerado, observa-se a remodelação do perfil para uma forma côncava e a geração de um banco arenoso.

A complexa hidrodinâmica da desembocadura do Estuário é responsável pela intensa mobilização dos sedimentos que formam o Pontal de Guadalupe. O material do trecho proximal da costa é mobilizado até a área mais distal do banco arenoso. Posteriormente, o material volta a ser depositado próximo do limite da pós-praia (Fig. 6.26).



Figura 6.26 – Pontal de Guadalupe. Setas indicam a direção de desenvolvimento das marcas de ondas, resultante do padrão preferencial da deriva litorânea e do barramento hidráulico constituída pela vazão estuarina.

6.4 – Conclusões Parciais da Morfodinâmica Praial

A análise da morfodinâmica dos perfis montadas em estações, dentro do estuário e no trecho adjacente, permitiu tecer as seguintes considerações:

Com o aumento do volume de água no sistema, durante a maré alta, pode-se verificar a influência das ondas sobre as margens. Durante as marés que atingem as cotas anuais mais altas (cerca de 2,5 m), as ondas remobilizam sedimentos em direção ao continente depositando além da berma, e ao mesmo tempo, erodindo alguns trechos dela. Este padrão está associado à margem direita, denominada de Praia dos Carneiros.

Na margem esquerda, o sedimento, além de ser depositado no continente é carregado pelas correntes de maré, contribuindo no desenvolvimento do Pontal de Guadalupe, durante a vazante ou, no caso das areias grossas, transportadas como sedimento de fundo, e depositada em trechos do talvegue, durante a enchente da preamar.

Na Praia de Guadalupe, onde está montada a estação E-12, ocorre um processo de intensa erosão por abrasão marinha da falésia e da praia. O material é transportado por deriva sentido sul.

Mendes (2000) estudou a morfodinâmica da Praia de Guadalupe monitorando no período entre novembro de 1997 e setembro de 1998. O estudo de Mendes colabora com este trabalho na medida que os resultados possibilitam identificar características deposicionais na área onde está implantada a estação E-11.

Na desembocadura estuarina, representando uma área de sedimentação, se desenvolve um extenso banco arenoso, aflorante na baixa-mar, perpendicular à costa, constituindo, mais precisamente, o Pontal de Guadalupe.

A configuração deste trecho da costa faz com que, localmente, seja desenvolvida uma corrente de deriva de NE, sentido sul. Desse modo, o material retirado da falésia é transportado em direção ao estuário.

O resultado da morfologia praial decorre basicamente da interação de agentes hidrodinâmicos. Assim, o trecho inserido no estuário encontra-se relativamente protegido, da ação das ondas marinhas, pela linha de recifes.

Em conseqüência, a ação das ondas só se torna significativa durante a maré alta. Neste caso, contribuem para o estabelecimento de pontos de erosão.

Nos trechos onde ocorre inundação das margens, são encontradas áreas de deposição de sedimentos na pós-praia.

O modelado da margem direita do canal estuarino é mais suave e extenso, apresenta bancos longitudinais, paralelos à linha de praia, expostos durante a maré vazante. Por outro lado, a margem esquerda apresenta perfil abrupto e extensão mais curta, delimitada por um canal que representa o trecho mais profundo do talvegue do estuário. Estas são características concordantes com a hidrodinâmica interna do estuário, na qual a margem direita apresenta menor energia em relação à margem esquerda.

Pode-se inferir que, quanto aos sedimentos arenosos, o estuário se comporta como um sistema semi-fechado. O material terrígeno é fornecido, principalmente, pelo material lixiviado do continente e transportado por regime fluvial, e, secundariamente, por sedimentos da costa, erodidos pela ação das ondas e transportados pela deriva litorânea. O material, lentamente retido no canal contribui para o seu assoreamento. O particulado mais fino, em suspensão, forma

uma pluma que, durante a vazante de maré, alcança o mar pelas aberturas das linhas de recife.

Pode-se inferir que as periódicas inundações das margens exercerão influência na desestabilização das construções ribeirinhas e, pela salinização do solo, alterar o ecossistema continental das margens, representado pela cobertura vegetal de porte herbáceo a arbóreo.

7 – QUALIDADE DA ÁGUA DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO

7.1 – Introdução

As margens do estuário do Rio Formoso apresentam poucas e espaçadas habitações, formadas, principalmente, por pequenos sítios e casas de pescadores. Existem, ainda, em função do atrativo turístico do local, imóveis de segunda residência, pequenos restaurantes com bangalôs e um *resort*. No entorno, não existe rede pública de coleta e tratamento de esgotos, pode-se afirmar que a urbanização do entorno é pouco significativa. Basicamente, o trecho urbanizado ocorre fora da área de estudo, onde o rio Formoso drena a cidade homônima e deságua no estuário. Portanto, pode-se deduzir que os efluentes das residências encontradas nas proximidades das margens, são depositados em fossas ou lançados *in natura* nas águas estuarinas.

Foram coletadas amostras de água objetivando verificar a qualidade da mesma, segundo parâmetros bio-químicos como oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais (CT) e coliformes fecais (CF); e parâmetros físico-químicos, como a salinidade, o potencial hidrogeniônico (pH), e turbidez. Foram realizadas também medições físico-químicas, *in situ*, do pH, temperatura, condutividade e resistividade.

7.2 – Classificação das Águas Estuarinas

As águas podem ser classificadas de acordo com a salinidade em: Doces com salinidade igual ou inferior a 0,50‰; Salobras, salinidade compreendida entre 0,50‰ e 30‰ e Salinas, com salinidade igual ou superior a 30‰ (CONAMA, 2000, e 2005). No caso dos estuários a salinidade é função das marés, da precipitação, do fluxo de água continental e da evaporação (Miranda *et al.*, 2002). Dessa forma, na Região Nordeste do Brasil, devido as condições climáticas específicas (menores precipitação e vazão, maiores temperatura e evaporação) as águas estuarinas tendem a apresentar maior salinidade.

Por tanto, no sistema estuarino podem ser identificados águas com classificadas como salobras e/ou salinas.

7.3 – Parâmetros Seleccionados para Avaliação da Qualidade da Água

Cabe lembrar que a metodologia recomendada pelas Resoluções CONAMA nº 274 (2000) e nº 357 (2005), orienta que as coletas das amostras de água devam ser realizadas mensalmente, durante no mínimo um ano.

Dentre os parâmetros normalmente utilizados para indicar a qualidade da água, o OD, a DBO e o NMP de coliformes fecais, foram escolhidos por serem relevantes para a análise e, após a interpretação, na identificação de possíveis contaminantes patogênicos de origem fecal, na definição do grau de poluição, na situação da vida aquática e contribuir na caracterização da qualidade ambiental (Branco, 1991; Mota, 1995; APHA, 1998 e WHO, 2004).

Os Coliformes Totais são definidos como bastonetes gram-negativos (apresentam cor vermelha, quando coradas pelo método de Gram) não esporogênicos, podem ser aeróbios ou anaeróbios facultativos. Possuem a capacidade de fermentar a lactose produzindo gás, em um período de 24- 48 h a temperatura de 35°C. Este grupo inclui cerca de 20 espécies, dentre elas encontram-se bactérias do trato gastrointestinal humano, além de outros animais de sangue quente. Por isso, sua contagem em água e alimentos é menos representativa como indicação de contaminação fecal do que a contagem de Coliformes Fecais.

Apesar do grupo de Coliformes Fecais possuir a mesma definição do grupo de Coliformes Totais, se diferenciam na capacidade de fermentar a lactose, produzindo gás em 24h a 44,5°C e, por isso, denominados de termotolerantes.

O índice de Coliformes Fecais é empregado como indicador de contaminação fecal – ou de modo mais preciso, das condições higiênico-sanitárias e veiculação por meio hídrico de microorganismos patogênicos, responsáveis, por exemplo da febre tifóide, febre paratífóide, desintéria bacilar e do cólera. Admite-se que a população deste grupo seja constituída principalmente por *Escherichia coli*, espécie que habita exclusivamente o trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente (CETESB, 2007).

7.4 – Materiais e Métodos

Em razão dos altos custos das análises, foi necessário adequar os procedimentos com o objetivo de identificar as características da água em um dado momento. Para tanto, foram realizadas duas campanhas: uma para coleta de amostras de água para análises bio-químicas e físico-químicas, em 04/2005, e a segunda, em 02/2006, apenas para análises físico-químicas *in situ*, ambas no período de estiagem (Figs. 7.1 e 7.2).

Em 04/2005, foram realizadas coletas em quatro estações de amostragem, para as análises dos parâmetros bio-químicos (OD, DBO, Coliformes-totais, Coliformes-fecais), e para os parâmetros físico-químicos (pH, Salinidade e Turbidez). Na estação posicionada na desembocadura do estuário, as amostragens ocorreram em dois momentos: um na baixamar (vazante de maré) e, outro, na preamar (maré enchente).

As amostras de água foram coletadas com garrafas esterilizadas e etiquetadas, conservadas em recipiente com gelo para transporte ao laboratório. O material foi processado e analisado no Laboratório Prof. Aducto da Silva Teixeira da Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH, adotando os procedimentos apresentados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

A determinação do OD ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), baseia-se no método de Winkler, que consiste em quantificar a liberação de iodo da amostra. A mensuração da concentração final de oxigênio dissolvido da amostra é feita através da titulação com uma solução padronizada de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) e utilizando o amido como indicador.

A determinação da DBO foi baseada no método da incubação com diluição. A determinação da DBO constitui um teste empírico e corresponde ao valor da diferença entre as concentrações de oxigênio existente no início e o existente no final de um período de incubação, sob condições específicas de ensaio laboratorial. A temperatura padronizada para incubação é de 20°C e o tempo, para análise, limitado em 5 dias. Neste período, cerca de 80 % da matéria orgânica - MO carbonatada já deve estar mineralizada e iniciando o processo de nitrificação. A oxidação total da MO leva, em geral, aproximadamente 20 dias.

A determinação do NMP de coliformes foi realizada a partir da técnica de fermentação em tubos múltiplos. São utilizados volumes de amostras que passam por diluições decimais consecutivas, e posteriormente os volumes são inoculados em meio de cultura adequada. Cada volume é inoculado em uma série de tubos e, através do decréscimo dos volumes inoculados obtém-se uma determinada diluição para todos os tubos, ou para maioria, são examinadas a presença ou ausência de gás e registrados os resultados. A combinação destes resultados, positivos e negativos, é utilizada para a determinação do NMP - número mais provável de coliformes fecais.

Paralelamente ao teste de confirmação de coliformes totais, a densidade de coliformes fecais é realizada a partir da transferência de uma alçada dos tubos positivos. Estes tubos, que provêm do teste presuntivo em caldo EC - *Escherichia coli*, e incubados por 24-48h numa temperatura de $44,5^\circ\text{C}$; são utilizados para examinar a presença ou ausência de gás e registrar os resultados. A presença de gás, que resulta de produção metabólica, é um indicador de existência de bactérias.

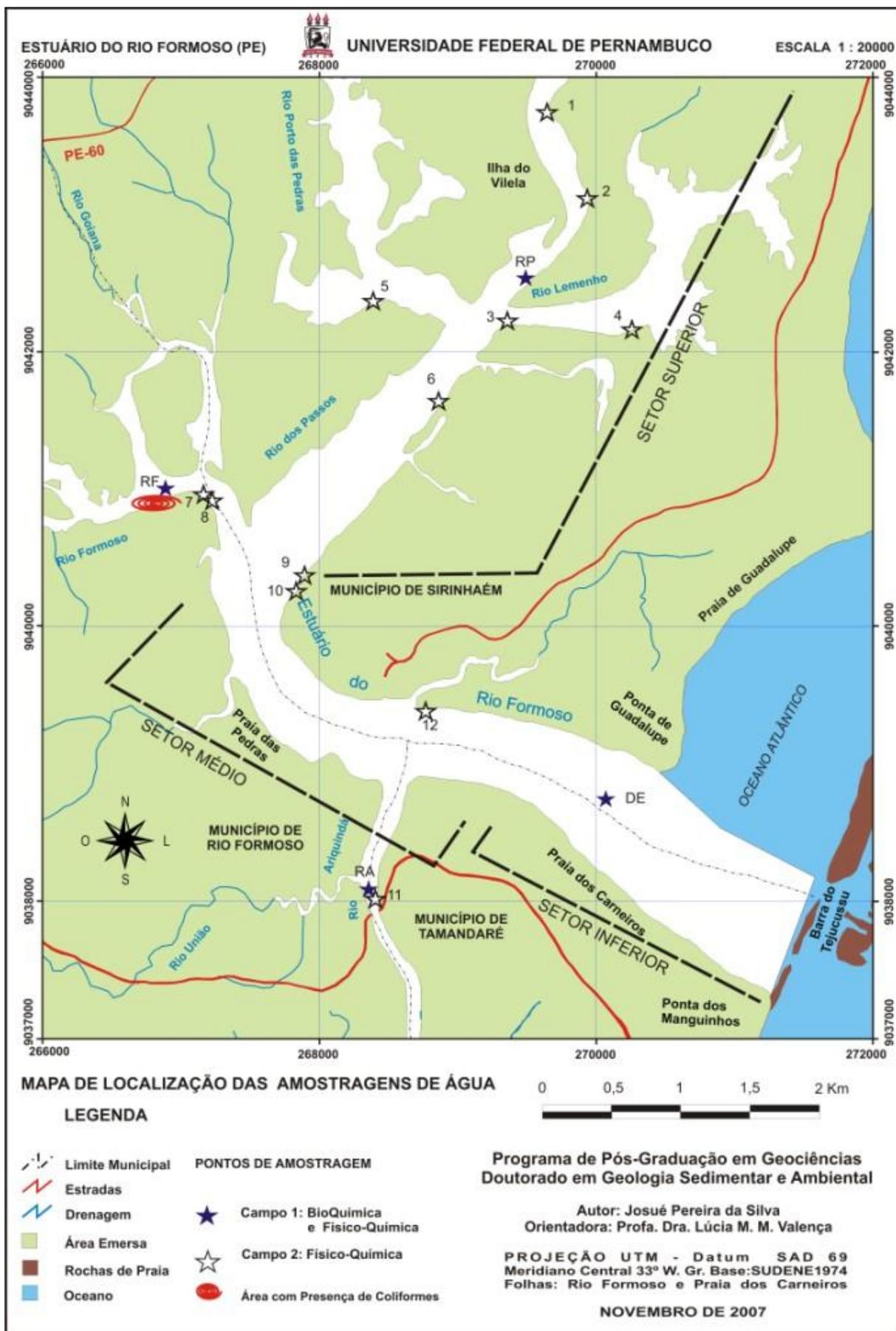


Figura 7.1 – Mapa de localização dos pontos de amostragem e análise de água.

Para as análises dos parâmetros físico-químicos *in situ*, foram realizadas medidas com um pHmetro (Sonda multiparâmetro portátil Modelo *digimed*) em doze estações de amostragem em 02/2006. Foram determinados sete parâmetros em cada estação: temperatura, pH, Eh, condutividade, resistividade, altura de maré, sólidos totais dissolvidos.

Para as análises foram consideradas, além das relações entre os parâmetros, a distância do mar e a influência das marés.

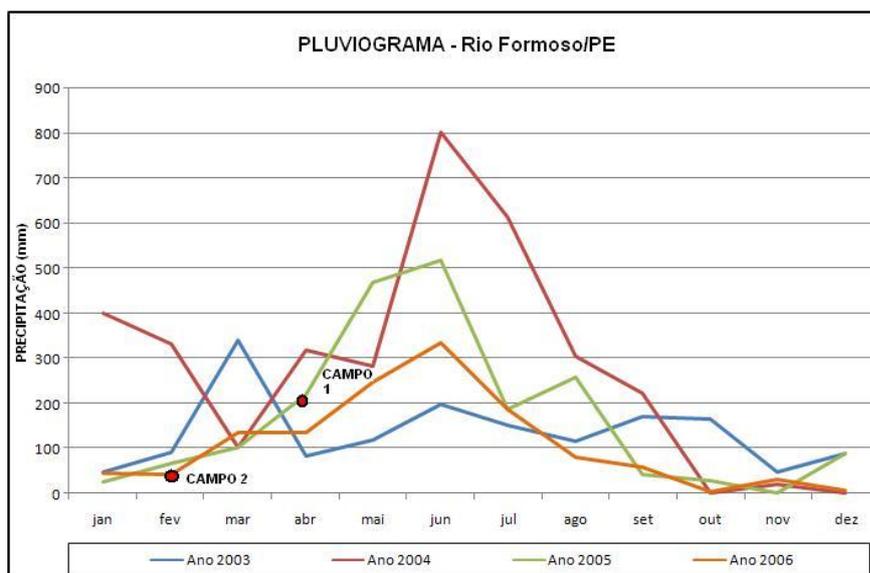


Figura 7.2 – Pluviograma do Município de Rio Formoso no período 2003-2006. Fonte LAMEPE (Organizado por Josué Pereira). Campo 1 (04/2005): coletas para análises físico-químicas e bioquímicas; Campo 2 (02/2006): medidas físico-químicas *in situ*.

7.5 – Resultados e Discussões

7.5.1 – Análises Laboratoriais dos Parâmetros Bio-Químicos e Físico-Químicos

As análises laboratoriais das amostras de água, coletadas nas quatro estações do estuário do Rio Formoso, apresentaram os seguintes resultados:

A estação de coleta no Ariquindá (RA) apresentou valores de OD em 4,3; DBO em 1 e ausência de coliformes. O pH com 7,8; a salinidade com 29,3‰ e turbidez em 4,5.

A estação de coleta nos Passos (RP) apresentou valores de OD em 3,2; DBO em 1 e ausência de coliformes. O pH com 7,7; a salinidade com 29,6‰ e turbidez em 3,5.

Na estação de coleta RF, rio Formoso, apresentou valores de OD em 3,4 mg/L; DBO em 3,1 mg/L; indicou a presença de coliformes 3.000, totais e 1.700, fecais. Quanto os parâmetros físico-químicos, a turbidez apresenta o maior valor de (5,5) das amostras analisadas, enquanto apresenta a mais baixa salinidade (24,4‰), dentre as estações.

Na estação localizada na desembocadura do estuário (DE), durante a preamar, apresentou o OD em 6,8; DBO em 1 e ausência de coliformes. O pH com 8,6; a salinidade com 34,5‰ e turbidez em 3. Durante a baixamar, apresentou o OD em 5,4; DBO em 2,1 e ausência de coliformes. O pH com 8,1; a salinidade com 32,3‰ e turbidez manteve o valor 3 (Quadro 3).

O pH representa a concentração de íons hidrogênio H⁺, indicando condições de acidez (características redutoras por ganho de elétrons), neutralidade ou de alcalinidade (características oxidantes por perda de elétrons). A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais processa-se diretamente sobre a biota, devido os seus efeitos sobre a fisiologia de diversas espécies (CETESB, 2007).

Segundo a análise dos parâmetros bio-químicos, a presença de Coliformes na estação RF indica a ocorrência de lançamentos de efluentes domésticos no Rio Formoso. Como consequência deste aporte de MO, ocorre o decaimento do OD e elevação da DBO. O consumo do OD deve-se a acelerada proliferação de bactérias aeróbicas responsáveis pela decomposição dos detritos orgânicos (Fig. 7.3 e Quadro 3). A presença de material particulado é indicada, também pela maior turbidez na estação RF, por outro lado, de acordo com o aumento da salinidade, a partir da influência da água marinha, além da maior oxigenação diminui a turbidez, indicando mais uma vez a depuração do sistema (Fig. 7.4 e Quadro 3).

As demais estações estão dentro das condições normais para a produção e consumo natural de matéria orgânica. De modo similar, a estação da desembocadura estuarina na preamar, e durante a baixamar, refletem as condições de influência direta da água marinha, tanto proximal, quanto a depuração cíclica promovida pelo aporte das marés.

O pH aumentou na estação DE durante a preamar e diminuiu na vazante. A estação RF, com maré em 1,9m, apresentou um pH de 7,6 e a estação RA, com maré de 2,3, apresentou pH de 7,8, indicando que a variação do pH aumenta com a salinidade, sob influência da proximidade do mar e das marés enquanto diminui com a presença da MO.

A partir da interpretação destes dados pode-se identificar as águas do Rio Formoso como comprometidas, na sua qualidade e, segundo a classificação das resoluções do CONAMA, como Impróprias quanto à destinação de balneabilidade (recreação de contato primário). As águas dos rios Ariquindá, Formoso e Passos na área de estudo são tipicamente estuarinas, com salinidade decrescente no sentido montante, configurando características salobras nas estações RA (29,3‰), RP (29,6‰), e RF (24,4‰). As águas na estação da desembocadura do estuário (DE) apresentaram características marinhas, com salinidade superior a 30‰, mesmo na baixa-mar (32,3‰), em razão da proximidade do mar e aumentando na preamar (34,5‰).

As alterações mais significativas do OD nas estações RA (4,3 mg/L) e RP (3,2 mg/L) e baixa DBO (apenas 1mg/L, em ambas), não indicam existência direta de contaminantes orgânicos. As variações do OD, e da DBO devem-se à oferta e consumo de MO de origem natural, associada com a produção primária do ecossistema estuarino. Porém, podem apresentar variações decorrentes do lançamento de esgoto doméstico, expressas nas concentrações de Coliformes Totais e Fecais. Isto foi evidenciado na confluência do Rio Formoso e o canal estuarino (estação RF) com a presença de Coliformes Totais (3.000 NMP/100mL) e Coliformes Fecais (1.700 NMP/100mL). Como resultado, apesar do OD em 3,2 mg/L, apresentou a DBO em 3,1 mg/L, ratificando o aporte excedente de MO. Por outro lado, a ausência de coliformes na desembocadura do estuário (estação DE), com elevado valor de OD na preamar (6,8 mg/L) e baixamar (5,4 mg/L) e baixo DBO (1 mg/L e 2,1 mg/L, respectivamente) indica que a intrusão de água marinha é o agente depurador das águas do sistema.

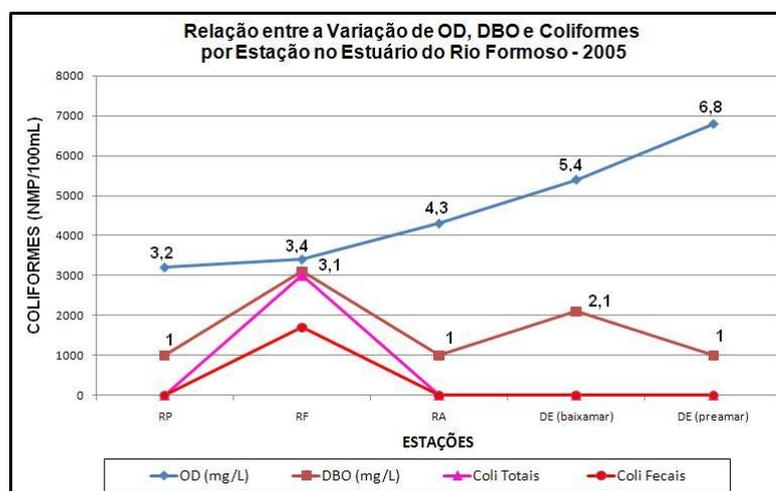


Figura 7.3 – Relação entre as variações do OD e a DBO, sob presença de Coliformes. Para visualização no gráfico, o OD e a DBO foram multiplicados por 1.000, sendo expressos seus valores reais.

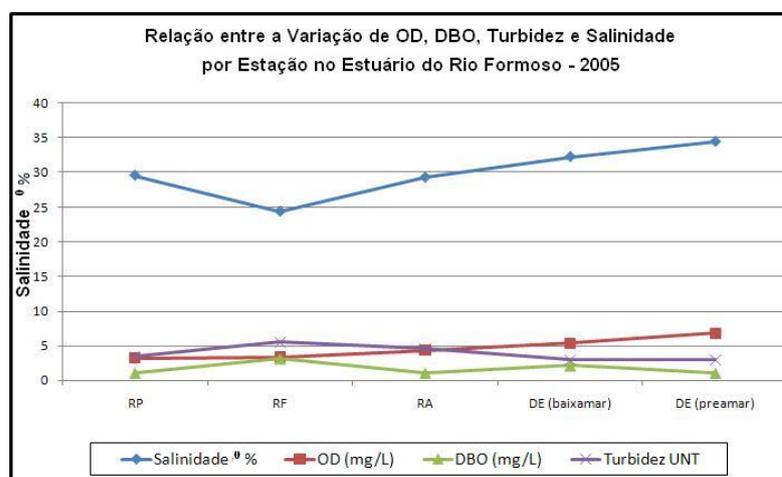


Figura 7.4 – Relação entre as variações do OD, DBO e Turbidez com a Salinidade.

Quadro 3 – Relação dos Parâmetros Bio-Químicos e Físico-Químicos das águas, por Estação de Amostragem no Estuário do Rio Formoso e Segundo Padrões de Qualidade - 04/2005.

Parâmetros Bio-Químicos e Físico-Químicos	Estações					Padrões		
	R.P. - Rio dos Passos	R.A. - Rio Aniquindá	R.F. - Rio Formoso	D.E. Desemb. preamar	D.E. Desemb. baixamar	CONAMA 1986	CONAMA 2005 Classes 1, 2, 3	EPA
OD (mg/L)	3,2	4,3	3,4	6,8	5,4	salina > 6: Classe 5 salobra > 5: Classe 7 > 3: Classe 8	Mínimo 5: Classe 1 4: Classe 2	> 5: Bom 2 a 5: Razoável < 2: Ruim
DBO (mg/L)	1	1	3,1	1	2,1	Salina > 5: Classe 6 Salobra > 5: Classe 7	Não estabelece	Não estabelece
Coliformes Totais (NMP/100mL)	n.e.	n.e.	3.000	n.e.	n.e.	Não estabelece	Não estabelece	Não estabelece
Coliformes Fecais termotolerantes (NMP/100mL)	n.e.	n.e.	1.700	n.e.	n.e.	> 1000: Impróprias	< 2500: Classe 2	104 – 501 colônias/mL (método de placas, não expressa em NMP/100mL)
pH	7,7	7,8	7,6	8,6	8,1	salinas 6,5-8,5: Classes 5 e 6 c/ mudança natural > 0,2 salobras 6,5-8,5: Classe 7 5-9: Classe 8	6,5-8,5: Classe 1 6,5-8,5: Classe 2; 5-9: Classe 3	Entre 6,5 e 8,5. Máx. variação de 0,5 por causas humanas
Salinidade (‰)	29,6	29,3	24,4	34,5	32,3	> 0,5 – 30: salobra > 30: salina	> 0,5 – 30: salobra > 30: salina	> 0,5 – 30: salobra > 30: salina
Turbidez (UNT)	3,5	4,5	5,5	3	3	Devem ser ausentes. Caso de origem natural são aceitáveis	Devem ser ausentes. Caso de origem natural são aceitáveis	Até 5 UNT acima do background > 50 UNT, Acréscimo Máx. de 10%, se background for > 50 UNT : CL 1 e 2; Até 10 UNT acima do background > 50 UNT, Acréscimo Máx. de 20%, se background for > 50 UNT : CL 3.
Altura de Maré (m)	0,3	2,3	1,9	2,5	0,3			
Distância do Mar (km)	7,5	3,5	4,5	0,5	0,5			

LEGENDA: OD: Oxigênio Dissolvido; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; NMP: Número Mais Provável; UNT: Unidades Nefelométrica de Turbidez; n.e.: Não Encontrado

7.5.2 – Análises dos Parâmetros Físico-Químicos *in situ*

As análises *in situ* das amostras de água, executadas em doze estações do estuário do Rio Formoso durante período de estiagem (02/2006), apresentaram os seguintes resultados:

O pH apresentou valores similares, próximos à neutralidade, em todas as estações amostradas. Nas E-1, E-3, E-6 e E-9 indicaram 7.4; na E-2, 7.3; nas E-5 e E-10, 7.5; na E-11, 7.6. Observou-se um aumento do pH na estação E-12, possivelmente por influência proximal marinha, apesar de apresentar o momento de maré mais baixo com 0,9m (Quadro 4).

A temperatura superficial da água teve amplitude média de 2,7°C, sem considerar a maior temperatura registrada (28°C) na estação E-5 (rio Porto das Pedras), possivelmente resultado da estufa de maré. A temperatura exerce influência sobre a condutividade e sobre a resistividade. Na medida que aumenta, amplia a condutividade e diminui a resistividade da água.

A condutividade e a resistividade apresentaram comportamento similar em todas as estações amostradas. A condutividade apresentou valores entre 16,87 e 17,37 mS/cm e a resistividade entre 58,5 e 62,2 Ω .cm (Fig.7.4).

A condutividade é uma expressão numérica que indica a capacidade condutora (propriedade inversa da resistividade) de corrente elétrica da água. Esta capacidade depende das concentrações iônicas e da temperatura. Este parâmetro também fornece indícios das alterações na composição da água, permitindo uma correlação direta com as concentrações minerais. Contudo, não fornece indicativos sobre as quantidades relativas dos vários componentes existentes na água. Com o aumento de sólidos dissolvidos, a condutividade da água se amplia. Altos valores de sólidos dissolvidos, ou seja, de elementos minerais, podem sugerir características corrosivas da água (CETESB, 2007). Desse modo, constitui uma medida indireta da concentração de poluentes. Considera-se que, atingindo níveis superiores a 100 μ S cm⁻¹, de condutividade, indica situação de ambientes impactados. É comumente utilizada para mesurar a salinidade na coluna d'água e serve como importante indicador da qualidade hídrica.

Os Sólidos Totais Dissolvidos foram desconsiderados por estarem acima do limite de detecção (10.000, ppm equivalente NaCl) do equipamento de campo.

Quadro 4 – Relação dos Parâmetros Físico-Químicos das águas, por Estação de Amostragem no Estuário do Rio Formoso e Segundo Padrões de Qualidade - 11/2006.

Parâmetros	Estações												Padrões			
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	CONAMA 1986	CONAMA 2005	EPA	
Físico-Químicos																
pH	7,4	7,3	7,4	7,4	7,5	7,4	7,6	7,6	7,4	7,5	7,6	7,9	salinas 6,5-8,5; Classes 5 e 6 c/ mudança natural = 0,2	6,5-8,5 Classes 1 6,5-8,5 Classes 2; 5-9 Classes 3	Entre 6,5 e 8,5. Máx. variação de 0,5 por causas humanas	
etH	-14	-15	-15	-15	-15	-14	-22	-15	-15	-17	-22	-33	Não considera	Não considera	Não considera	
Temperatura (°C)	23,6	23,4	23,5	23,8	28,5	25,5	26,1	23,9	23,9	23,9	24,1	23,4	Não considera	Não considera	Não considera	
Condutividade $\mu\text{S cm}^{-1}$	17,24	16,89	17,37	16,91	17,09	17,01	16,9	17,07	17,14	16,93	16,87	17,18	Não considera	Não considera	Não considera	
Salinidade* (ppm equivalente de NaCl)	10,6	10,4	10,7	10,4	9,4;	10	9,7	10,5	10,5	10,4	10,1	10,	>0,5 – 30: salobra >30: salina	>0,5 – 30: salobra >30: salina	>0,5 – 30: salobra >30: salina	
Resistividade M²-cm	58,8	59,9	58,5	60,2	59,3	59,5	59,9	59,3	59	59,8	60	58,9	Não considera	Não considera	Não considera	
Altura de Maré (m)	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,1	1	1	0,9				
Distância do Mar (km)	8,6	7,6	6,6	7,6	7,6	6	4,4	7	6,8	4,6	3,2	1,8				

*Salinidade calculada, em função da temperatura e da condutividade.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos evidenciaram que praticamente não ocorreram variações significativas entre as estações (Fig.7.5). Este comportamento pode estar relacionado ao fato da coleta ter ocorrido durante a maré alta. Colabora, o fato da estação E-12 ter apresentado comportamento relativamente mais destacado por receber certa influência do mar, maior proximidade marinha, e altura de maré.

Desse modo, pode-se afirmar que, segundo os valores de condutividade, apresentados em torno de 17mS/cm, as águas estuarinas apresentam baixo grau de impacto ambiental. A salinidade calculada, em função da temperatura e da condutividade, apresentou na E-1, 10,6; a estação E-2, 10,4; a E-3, 10,7; na E-4, 10,4; E-5, 9,4; E-6, 10; E-7,9,7; nas E-8 e E-9, 10,5; E-10,10,4; E-11,10,1; E-12, 10,6;. Estes valores também estão dentro das condições normais de salinidade do sistema, no qual o menor valor da estação E-7, com 9,7, corresponde à confluência do rio Formoso.

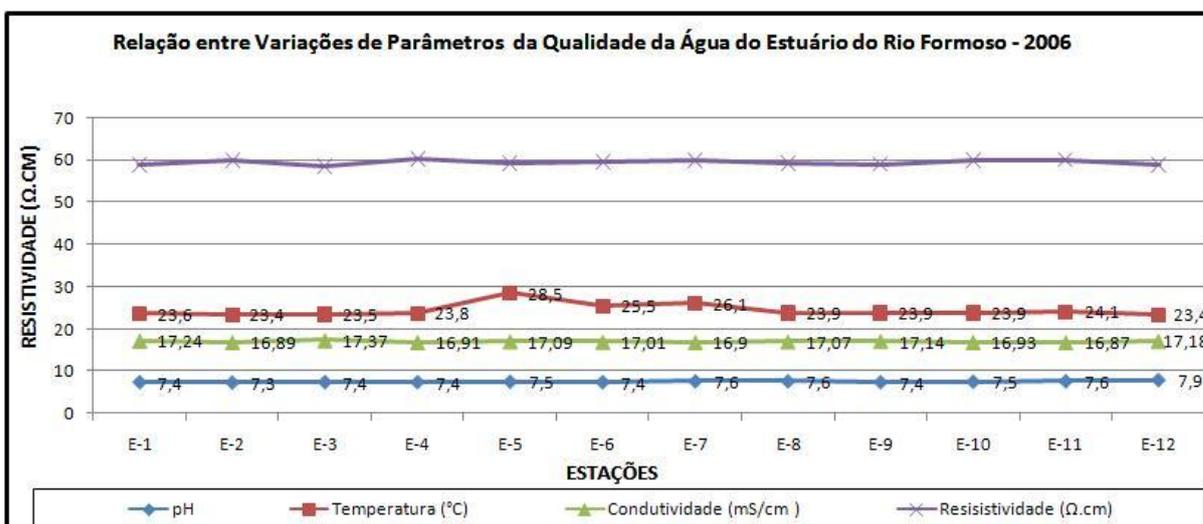


Figura 7.5 – Relação entre as variações de Resistividade, pH, Temperatura e a Condutividade.

7.6 – Considerações sobre a Balneabilidade e os Padrões de Qualidade da Água

Através do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, inicialmente com a Resolução nº 20 (1986), e posteriormente com a Resolução nº 357 (2005), nas quais são definidas as classes, as diretrizes, os padrões de qualidade, as condições e padrões para lançamento de efluentes. As águas são classificadas, inicialmente, segundo a salinidade, de acordo com os usos e condições de qualidade, podendo serem inseridas nas categorias Própria ou Imprópria, quanto à destinação de balneabilidade (recreação de contato primário ou secundário).

Na Resolução nº 20/1986, as águas são classificadas segundo a salinidade em Doces ($\leq 0,50\%$), com cinco Classes, estabelecidas segundo limites ou condições dos parâmetros

de qualidade da água; Salobras, entre ($\leq 0,50\%$ e $< 30\%$) e Salinas ($> 30\%$), ambas com duas Classes.

Considera-se o contato primário quando há contato direto ou constante com o corpo e/ou possibilidade de ingestão, caso de banhos. Como contato secundário, tem-se o contato eventual com o corpo, caso da atividade pesqueira.

De modo geral, a Resolução nº 20/1986 é menos específica que a Resolução nº 357/2005. Apesar disso, ambas não tecem maiores considerações para o caso de presença de Coliformes Totais. Contudo, destacam a importância do parâmetro Coliformes Fecais. A razão está na sua importância como indicador da possível existência de microrganismos patogênicos. Este parâmetro é o principal limitante para a especificação das águas como pertencentes à Categoria Própria ou Imprópria a Destinação de Balneabilidade (CONAMA, 2005).

A categoria Própria à Destinação de Balneabilidade considera 80%, ou percentual maior, de um conjunto de amostras obtidas durante as últimas cinco semanas e coletadas no mesmo ponto. A partir das quantidades encontradas de coliformes fecais (termotolerantes), de *Escherichia coli* ou de enterococos, por 100 mL, as águas são classificadas como Excelente se apresentar máximos de 250 coliformes, 200 de *Escherichia*, ou 25 de enterococos/100 mL; Muito Boa, com Máximos de 500 coliformes, ou 400 de *Escherichia*, ou 50 de enterococos/100 mL; e Satisfatória se apresentar Máximos de 1.000 coliformes; ou 800 *Escherichia*, ou 100 de enterococos/100 mL. Segundo a EPA, utilizando o método de plaquetas, para se obter a média geométrica de coliformes fecais em uma série de amostras representativas, deve-se considerar pelo menos cinco amostras, das águas coletadas sequencialmente das quais não deve exceder 200 colônias/100 ml, e não mais de 20% das amostras excedendo em 400 colônias/100 ml. A densidade de enterococos, em termos de média geométrica, de pelo menos cinco amostras representativas, coletadas sequencialmente não deve exceder 35/100 ml. Em nenhuma amostra deve exceder o limite máximo de 75%, tendo o índice de 0,7 como registro de desvio padrão, até que existam dados locais suficientes para estabelecer um registro de desvio-padrão específico para o local.

Caso não atendam aos critérios definidos para as águas próprias, elas serão consideradas na categoria impróprias à balneabilidade se: na última amostragem, o valor obtido for superior a 2.500 coliformes fecais (termotolerantes), ou 2.000 *Escherichia coli* ou 400 enterococos/100mL; ou for identificada a incidência elevada ou anormal, na região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, presença de resíduos ou despejos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, conforme Art. 2º, da Resolução nº 274 (CONAMA, 2000).

A Resolução nº 357 (CONAMA, 2005), estabelece 3 classes para as águas Salobras, especificadas segundo a forma de uso e as condições da qualidade da água.

7.6.1 – Classe 1 das Águas Salobras Segundo as Resoluções do CONAMA

No caso de recreação de contato primário, mantém a Resolução CONAMA nº 274, de 2000. O Artigo 21 da Resolução nº 357, detalha que no caso de cultivo de moluscos bivalves para alimentação, a média geométrica da densidade” dos coliformes fecais, de no mínimo 15 amostras obtidas no mesmo ponto, não deve ultrapassar em “43 por 100 mililitros, e o percentil 90% não deverá ultrapassar 88 coliformes termotolerantes por 100 mililitros”. Define que “esses índices deverão ser mantidos em monitoramento anual com um mínimo de 5 amostras”.

No caso de uso para irrigação de hortaliças de consumo sem cozimento e de frutas de desenvolvimento rente ao solo e de ingestão *in natura* com casca, e irrigação de áreas de esporte e lazer nos quais a população possa ter contato direto com água, como parques, jardins, e campos esportivos, o valor de coliformes termotolerantes, não deverá exceder 200/100mL.

Ainda, para as águas salobras de Classe 1, nos “demais usos não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral”. A *Escherichia coli* “poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.”

Em qualquer amostra, o OD, não deve ser inferior a 5 mg/L O₂ e o pH entre 6,5 e 8,5. Estarem ausentes de óleos, graxas, materiais flutuantes ou substâncias que produzam cor, odor e turbidez.

Na Classe 1, comparativamente, segundo a EPA, a turbidez não deve ultrapassar a 5 NTU acima do *background* de turbidez quando este limite for de 50 NTU ou menor, ou, por outro lado, apresentar um aumento superior a 10% na turbidez quando o seu *background* for maior que 50 NTU.

7.6.2 – Classe 2 das Águas Salobras Segundo as Resoluções do CONAMA

O Artigo 22, da Resolução nº 357 coloca que para as águas da Classe 2 devem ser aplicadas as condições e padrões de qualidade da Classe 1, sendo, para o caso dos coliformes fecais, não devendo exceder o limite de 2500 NMP/100 mililitros em 80% ou mais” em “pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.”

Em qualquer amostra, o OD, não deve ser inferior a 4 mg/L e não se verificando toxicidade aguda em organismos.

Segundo a EPA, na Classe 2, a turbidez segue as mesmas orientações apresentadas para a Classe 1, ou seja, não ultrapassar a 5 NTU acima do *background*, quando este limite for de 50 NTU ou menor, ou apresentar um aumento superior a 10%, quando o seu *background* for maior que 50 NTU.

7.6.3 – Classe 3 das Águas Salobras Segundo as Resoluções do CONAMA

No Artigo 23, da Resolução nº 357, é expresso que na Classe 3, as águas salobras dentre as condições e padrões de qualidade devem ter, quanto coliformes fecais o limite de 4.000 NMP por 100 mL “em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com freqüência bimestral”.

Em qualquer amostra, o OD, não deve ser inferior a 3 mg/L e o pH deve estar na faixa entre 5 e 9.

Embora sejam toleradas apenas iridescências – efeito óptico em relação ao ângulo de visão ou iluminação de superfícies – por presença de óleos e graxas, devem ser ausentes materiais flutuantes ou substâncias que produzam cor, odor e turbidez, além de partículas cuja sedimentação possam contribuir no assoreamento de canais de navegação.

Na Classe 3, comparativamente, segundo a EPA, a turbidez não deve ultrapassar a 10 NTU acima do *background* de turbidez quando este limite for de 50 NTU ou menor, ou, por outro lado, apresentar um aumento superior a 20% na turbidez quando o seu *background* for maior que 50 NTU.

7.6.4 – Águas Impróprias Segundo as Resoluções do CONAMA

As águas são consideradas impróprias, para consumo ou mesmo balneabilidade, se apresentarem condições excedentes às anteriormente expostas ou, ainda, apresentarem floração de algas ou outros organismos, até se comprovar que não ofereçam riscos à saúde humana. Por fim, a presença de odor e coloração, pode contra-indicar, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

No Estuário do Rio Formoso, na estação RF, observou-se a presença de 1700 NMP/100mL de Coliformes Fecais e 3,4 mg/L de OD. De acordo com os valores expostos pela legislação, pode-se considerar que as águas do Rio Formoso atendiam as condições da Classe 2.

7.7 – Evolução Temporal (ABR/2005 e FEV/2006) da Físico-Química da Água

Os estudos realizados no sistema estuarino do Rio Formoso, a partir dos parâmetros físico-químicos da qualidade da água, possibilitaram identificar que: no mês de ABR/2005, apresentou valores de pH e salinidade dentro dos padrões aceitáveis. Contudo, o valor de turbidez, embora segundo a legislação deva ser ausente, é considerada normal e aceitável para causas naturais. No caso do Rio Formoso (estação RF), o valor identificado de 5,5 UNT, além de ser o maior valor discriminado, tem origem antrópica. Isto pode ser observado ao comparar com os parâmetros bioquímicos (OD, DBO, CT e CF), portanto, o parâmetro de turbidez indica uma situação imprópria à balneabilidade de primeiro contato. Em FEV/2006, os parâmetros físico-químicos indicaram condições ambientais normais típicas de ambiente estuarino, sem variação significativa nas 12 estações de coleta.

Apesar de terem sido utilizados métodos diferentes para caracterizar a qualidade da água, pode-se observar que, de modo geral, que os parâmetros medidos indicam que o sistema ainda apresenta condições naturais de depuração do meio hídrico.

7.8 – Conclusões Parciais sobre a Qualidade das Águas do Sistema Estuarino do Rio Formoso

Foi realizado um estudo para determinar as condições ambientais do estuário do Rio Formoso considerando alguns parâmetros de qualidade da água, destacando a concentração de coliformes fecais, em rios estuarinos inseridos na APA de Guadalupe.

Os dados obtidos, embora retratem um momento da dinâmica do sistema, possibilitam identificar algumas influências da sociedade e dos processos naturais, estando de acordo com estudos desenvolvidos em outras áreas por Kolm *et al.* (2002) Cunha *et al.* (2004) e Huang (2005).

As concentrações de CF foram utilizadas como indicadoras de poluição associadas com as variações de outros parâmetros bioquímicos e físico-químicos. Além de considerar a interferência no desequilíbrio dos ecossistemas estudados, resultantes principalmente pelos lançamentos de esgotos e resíduos domésticos em corpos de água superficiais.

Como primeira informação relevante deste estudo foi a possibilidade de identificar um ponto de maior vulnerabilidade através da verificação das concentrações de Coliformes. O fato desta localização estar bem definida é uma informação preciosa para futuras pesquisas, visto que, facilita a escolha de área para monitoramento da antropização da área impactante e impactada.

Uma segunda informação relevante é que o sistema se encontra dentro de uma situação de autodepuração equilibrada (Figura 7.3). Contudo, devido a renovação das águas em estuários não ocorrem de forma imediata e, através dos fluxos de maré, podem existir a dispersão da pluma de contaminantes atingindo outras áreas do estuário, de acordo com a hidrodinâmica. Assim, podem-se indicar áreas passíveis de contaminação secundária.

Os estudos apontaram que, de modo geral, pode-se considerar que as condições ambientais estão relativamente preservadas, de acordo com os parâmetros de qualidade da água, com restrição às águas do Rio Formoso.

Por fim, reconhecendo a importância turística da área como balneário, as informações deste estudo servem de base e alerta para medidas de saneamento mais efetivas visando a conservação ambiental e manutenção das atividades socioeconômicas da área.

8 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos abordando a sedimentologia, a geofísica estuarina, a morfodinâmica e os aspectos da qualidade da água possibilitaram tecer algumas conclusões sobre o Sistema Estuarino do Rio Formoso.

Os dados batimétricos permitiram a setorização do Sistema Estuarino em três compartimentos: setor superior, que inclui os afluentes Lemenho, Passos e Porto das Pedras, com cota batimétrica média de 1m; setor médio, trecho entre as confluências dos rios Formoso e Ariquindá, com profundidade em torno de 3m, e o setor inferior, após a confluência com rio Ariquindá até a desembocadura, com média batimétrica de 4m.

O setor superior é caracterizado pelo predomínio das fácies areia lamosa, lama arenosa e lama. Esta característica faciológica representa condições de baixa energia associada também a pequena profundidade do trecho, favorecendo a deposição dos sedimentos mais finos. Isto é reforçado ao se observar que estas fácies constituem o substrato do manguezal, cuja ampla distribuição depende, ainda, de águas tranquilas tanto para a fixação das sementes como posterior desenvolvimento.

Nos setores médio e inferior, dominam sedimentos um pouco mais grossos (fácies areia cascalhosa, areia, areia lamosa e lama arenosa), condizentes com condições de energia mais alta, em função da maior profundidade, em relação ao setor superior.

Os perfis batimétricos transversais permitiram identificar diferenças na largura, na morfologia de fundo e no posicionamento do talvegue do canal estuarino. Observou-se que o canal apresenta-se mais largo nos setores médio e inferior em relação ao setor superior. Identificou-se nos setores superior e médio a presença de morfologias de fundo mais suavizadas do que no setor inferior. No que concerne ao posicionamento do talvegue, percebeu-se uma maior proximidade da margem esquerda, nos setores superior e inferior; enquanto no setor médio manteve-se na margem direita.

Os estudos da morfodinâmica praias realizados nas praias dos Carneiros, da margem esquerda do Canal Estuarino e de Guadalupe, evidenciaram diferenças, entre elas, quanto ao balanço sedimentar e a morfologia. A praia dos Carneiros apresentou baixa declividade e extensas faces de praia e antepraia, com características dissipativas e tendência à deposição. Já a praia localizada na margem esquerda do Canal Estuarino, mostrou declividade acentuada e pequena extensão, atributos típicos de praias reflectivas. A praia de Guadalupe exibiu comportamento típico de praias identificadas como reflectivas, em função da declividade mais acentuada e pequena extensão, com tendência erosiva, evidenciada na falésia de Guadalupe. A causa da erosão foi interpretada como natural, pela ausência de estruturas rígidas que interfiram no balanço sedimentar. No trecho da praia de Guadalupe localizada no Pontal de Guadalupe, observou-se uma tendência deposicional provavelmente associada à presença do molhe hidráulico do estuário do Rio Formoso, que interfere no transporte sedimentar ao longo do trecho e da linha de rochas de praia que amortece a ação das ondas.

As formas de leito identificadas, por sonar de varredura, no setor inferior do sistema, representadas por dunas assimétricas de cristas sinuosas e simétricas de cristas retas bifurcadas, evidenciaram a grande influência das correntes de maré e onda, respectivamente, além de representarem condições hidrodinâmicas típicas de regime de fluxo inferior.

Os dados obtidos dos parâmetros da qualidade da água, embora retratem um momento da dinâmica do sistema, possibilitaram identificar algumas influências da sociedade e dos processos naturais, estando de acordo com estudos desenvolvidos em outras áreas por Kolm *et al.* (2002) Cunha *et al.* (2004) e Huang (2005). As concentrações de coliformes permitiram identificar um ponto de maior vulnerabilidade ambiental no sistema, localizado na confluência do Rio Formoso. O fato desta localização estar bem definida é uma informação preciosa para futuras pesquisas, visto que, facilita a escolha de área para monitoramento da antropização da área impactante e impactada. Uma segunda informação relevante é que o sistema se encontra dentro de uma situação de autodepuração equilibrada (Figura 7.3). Contudo, sabendo que a renovação das águas em estuários não se dá de forma imediata e que os fluxos de maré podem dispor a pluma de contaminantes a outras áreas do estuário, pode-se indicar áreas passíveis de contaminação

secundária. Porém, de modo geral, pode-se considerar que as condições ambientais, de acordo com os parâmetros de Qualidade da Água, como estando relativamente preservadas.

Por fim, reconhecendo a importância turística da área como balneário, as informações deste estudo servem de base e alerta para medidas de saneamento mais efetivas visando a conservação ambiental e manutenção das atividades sócio-econômicas da área.

AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho houve a cooperação e assistência de pessoas e instituições as quais são deferidos agradecimentos.

Ao CNPq, pelo financiamento da pesquisa e pela bolsa de estudos.

A Prof^a. Dra. Lúcia M. Mafra Valença pela orientação firme, pela disposição em campo e pela presença amiga em momentos difíceis ao longo destes anos.

Ao Prof. João Aduato, por ter insistido no intuito de ir mais além.

Ao Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso, Coordenador do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM), pelo apoio irrestrito, confiança, companheirismo e pela infraestrutura para a realização das atividades de campo e laboratório.

Ao Prof. Dr. Henrique Neummam, pela amizade, ânimo e exemplo profissional.

E todo o Corpo Docente do PPGGEOC-UFPE, por contribuírem para a minha formação acadêmica e profissional.

Aos Funcionários: Secretária Elizabete e ao sr. Moisés, *in memoriam*.

Ao pessoal do CEPENE/IBAMA, pela disponibilização dos alojamentos para as equipes de pesquisa, nas várias campanhas no Estuário do Rio Formoso:

Prof. Dr. Mauro Maida, por disponibilizar equipamentos, embarcação e atenção para as atividades de pesquisa. Ao sr. Joaquim, pelo atendimento as nossas solicitações. Ao João Marcelo na batimetria e Seu Telinho, pelo apoio nas diversas atividades.

Agradecimento especial:

Ao Alex, pelas boas conversas e por solucionar algumas dúvidas; Leonardo Hisley pelas sugestões e apoio no campo; Daniel, Sidão e Cláudio (Formiguinha) Ao Vitor Hugo, depois das presepadas de Will: *sinto pelas muitas... Obrigado, a todos!*

Deusia Ângelo, que nos últimos dias deu-me o alento que faltava e ajudou nas impressões e na organização dos volumes.

Aos amigos, e parceiros de curso, Luciano Cintrão, Rivaldo Couto e Williams Guimarães, pelo apoio nos trabalhos de campo e noutros momentos da vida: *Sem vocês, não conseguiria... Só nós sabemos o que vivemos!*

A toda a equipe do LGGM: Carlos Fernando “Surfista” (definindo os perfis de praia), Miguel Arraes (sempre tirando dúvidas), Seu Luis (pelo café da manhã), Édila, Daniel e Lucimary Albuquerque: pela convivência ao longo dos anos. E tantos outros colegas: *Valeu!*

Por fim, à minha Família que representa a base de tudo que sou.

EM TUDO, SEJA DEUS LOUVADO!

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, R.F., 1992. Análise para uso e conservação da planície costeira do Rio Formoso – com ênfase na geologia e na geomorfologia. In: Pires & Filho Advogados Associados. Projeto Costa Dourada, Recife.
- APHA – American Public Health Association, 1998. Standard methods for the examination of waste e wastewater. 20th. ed. Washington, DC., USA.
- Bascom, W. N., 1951. *The relationship between sand-size and beach face slope. Transactions, American Geophysical Union. USA, v. 32, p. 866-874.*
- Bittencourt, A.C.S.P., Martin, L., Vilas-Boas, G.S., Flexor, J-M., 1979. Quaternary marine formations of the coast of the State of Bahia, Bras.il. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary Proceedings. São Paulo, 11-18 September 1978. p 232-253.
- Branco, S. M., (1991), *Hidrologia Ambiental*. Vol. 3. São Paulo: Ed. USP/ABRH.
- Bruun, F. A., 1962. *Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion, American Society of Civil Engineers, v.88, p. 117-130.*
- Castro, M. F. de., 2005. Abundância, distribuição e desenvolvimento das fases iniciais de peixes no estuário do Rio Formoso, Pernambuco – Brasil /. Recife. 72 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Pesca.
- CONSULPLAN, 1992. Engenharia Ltda. Complexo industrial de Suape. Análise das ondas de Suape medidas pelo INPH no período de 1980 a 1983.

- CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 1998. Diagnóstico Sócio-ambiental da Área de Proteção Ambiental de Guadalupe (APA - Guadalupe) – Síntese. SECTMA, GERCO/DHF, Gerência de Áreas Protegidas – GAP / DHF, Recife.
- Cunha, A. C.; Cunha, H. F. A.; Júnior, A. C. P. B.; Daniel, I. A. E schulz, H. E., 2004. Qualidade Microbiológica da Água em rios de Áreas Urbanas e Periurbanas no Baixo Amazonas: o caso do Amapá. Eng. Sanitária Ambiental. Artigo Técnico vol. 9 - Nº 4 - Out/Dez 2004, 322-328 P.
- Dalrymple, R. W.; Zaitlin, B.A.; Boyd, R., 1992. Estuarine facies models: Conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62: 1130 – 1146.
- Davis, R. A., 1985. *Coastal Sedimentary Environments*. 2nd ed. USA: Halliday Lithograph.
- Day, J.H. (1981). *Estuarine Ecology with particular reference to southern Africa*. A.A.Balkema, Cape Town, 411 pp.
- Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S.P. & Martins, L., 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast Brazil: roles off sea-level history, trade winds and climate. *Sedimentary Geology*. (80): 213-232.
- FIDEM – Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife, 1986. *Áreas de Proteção Estuarina*. Recife.
- Folk, R.L. & Ward, W.C., 1957. *Brazas river bar: a study in the significance of grain size parameters*. *Journal of Sedimentary Petrology*, n. 27, p.3-26.
- Hoefel, F. G. & Klein, A. H., 1998. Beach Safety Issue at Oceanic Beachs of Central Northern Coast of Santa Catarina, Brazil: magnitude and nature. *Journal of Coastal Research*. V. 26, (ICS'98 Proceeding). Fort Lauderdale: Florida.

- Honorato da Silva, M., 2003. Fitoplâncton do estuário formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil): biomassa, taxonomia e ecologia /. Recife. 131 folhas
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Oceanografia.
- Howland, R.J.M. Tappin U, A.D. Uncles, R.J. Plummer, D.H. Bloomer, N.J., 2000. Distributions and seasonal variability of pH and alkalinity in the Tweed Estuary, UK – Elsevier - *The Science of the Total Environment* 251/252 – pp.125 -138.
- Huang J., 2005. Tidal Wetland Contributions to Fecal Coliform Loads in Shellfish Growing Waters by Analysis of Model Prediction Discrepancy. The Faculty of the School of Marine Science, The College of William and Mary in Virginia, USA. Dissertação, 153 p.
- Kjerfve, B, 1987. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. New York, Estuarine Ecology, p. 47-78.
- Kolm, H. E.; Schoenenberger, M. F.; Piemonte, M. R.; Souza, P. S. A.; Schnell e Scühli, G.; Mucciato, M. B. e Mazzuco, R., 2002. Spatial Variation of Bacteria in Surface Waters of Paranaguá and Antonina Bays, Paraná, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and technology - an international journal*, Vol. 45, N. 1 : pp. 27 - 34, ISSN 1516-8913 Printed in Brazil.
- Lira, L.; Zapata, M. C; Falcão, I. M. de M.; Oliveira-Junior, A. V. de., 1978. Material em suspensão, temperatura e salinidade no estuário do Rio Mamucaba (PE). *Caderno Omega*, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, v. 2, n. 1, p. 97- 116.
- Lira, L.; Zapata, M.C. & Fonseca, V.G., 1979. Aspectos da dinâmica do estuário do Rio Formoso, PE. *Caderno Ômega da UFRPE*. Recife, 3(1/2): 133-156.
- Lima Filho, M.F., 1998. Análise estratigráfica e estrutural da Bacia Pernambuco. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 139 pp.

- Manso, V. A. V.; Corrêa, I.C.S. & Guerra, N. C., 2003. Morfologia e Sedimentologia da Plataforma Continental Interna entre as Praias Porto de Galinhas e Campos - Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. *Rev. Pesq. Geociências*, 30(2), p. 17–25.
- Manso, V. A. V., 1997. Geologia da Planície Costeira e da Plataforma Continental Interna Adjacente da Região entre Porto de Galinhas e Tamandaré – Litoral Sul de Pernambuco. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil, 173 pp.
- Mclusky, D.S., 1981. *The Estuarine Ecosystem*. New York: John Wiley and Sons Inc. 149p.
- Medina, R.; Losada, M. A.; Losada, I. J.; Vidal, C., 1994. Temporal and spatial relationship between grain size and beach profile. *Marine Geology*. Spain, v. 118, p.195-206.
- Mendes, G. P., 2000. Sedimentologia e morfodinâmica da Praia de Guadalupe, Município de Sirinhaém – PE. Pernambuco – Brasil. 127 folhas Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Geociências.
- MIRANDA, L. B. de, CASTRO, B. M. KJERFVE, B. 2002. *Princípios de Oceanografia Física de Estuário*. São Paulo: Ed.USP.
- Mota, S., (1995), *Preservação e Conservação de Recursos Hídricos*. 2^a ed. Rio de Janeiro: ABES. 187 p.
- Neumann-Leitão S.; Gusmão L. M. O.; Nascimento-Vieira D. A.; Nogueira Paranhos J. D., 1994. Zooplâncton da área estuarina do Rio Formoso-PE (Brasil). *Trabalhos Oceanográficos da UFPE*, Recife: v. 23, p. 55 – 64.
- Pedrosa, F. J. A., 2007. Aspectos da evolução da Linha de Costa e da Paisagem Litorânea do Município de Olinda entre 1915 e 2004: Evidências de Tecnógeno em Pernambuco Tese (Doutorado) Geociências. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Brasil.

- Pedrosa Junior, I., 1969. Geologia e geofísica da área Sirinhaém - Rio Formoso, PE Recife. Monografia (graduação) Depto. Geologia. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Brasil.
- Pritchard, D., 1967. What is an Estuary; Physical view-point. In: LAUFF, George H. ed. Estuaries. Washington, American Association for the Advancement of Science, (Publication, 83). p.3-5.
- Reineck, H. E. & Singh, I. B., 1980. Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics . 2. rev. ed. - Berlin ; Heidelberg: Springer-Verlag. 549p.
- Ribeiro, L. V., 2000. Dinâmica do Transporte de Sedimentos pela Análise da Variação Espacial na Granulometria. – Belo Horizonte:UFMG/IGC.
- Santos, F. L. de B. dos., 2001. Levantamento da ictiofauna do estuário do rio Formoso através da pesca da camboa - Pernambuco - Brasil. 131 folhas Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Oceanografia.
- Shepard, F. P., 1954. *Depositional mechanism from the size analysis of clastics sediments*. Journal of Sedimentary Petrology, Tulsa, Okla, 34:73-83.
- Silva, G. S. da., 2003. Bivalves endofaunais do manguezal do Rio Formoso, Pernambuco (Brasil): composição, relações com fatores abióticos e seu papel como recurso pesqueiro para a comunidade de pescadores /. Recife. 107 folhas Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Oceanografia.
- Silva, G. S.; Brito, V. B.; Nascimento, A. E.; Campos-Takaki, G. M., 2006. Águas estuarinas e sustentabilidade social local: um estudo da pesca artesanal do camarão-branco *Litopenaeus schmitti* Crustacea, decapoda, penaeidae, no estuário do Rio Formoso. Revista de Biologia e Ciências da Terra – Suplemento Especial – Número 1 – 2^o Semestre.

Sonu, C. J. & Van Beek, J. L., 1971. *Systematic beach changes on the outer banks, North Carolina*. Journal of Geology. USA, v. 79, p. 416-425.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 1974. Cartas topográficas - Rio Formoso (FI SC. 25-v-a-v-2-SO) e Praia dos Carneiros (FI SC. 25-v-a-v-2-SE).

Vasconcelos, D. M., Santos, P. J. P. & Trindade, R.L., 2004. Distribuição Espacial da Meiofauna no Estuário do Rio Formoso. Depto de Oceanografia, Fundação UFRG Revista Atlântica, Rio Grande, 26 (1): 45-54.

Wentworth, C., 1922. *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. Journal of Geology, n. 30, p. 377-392.

WHO – World Health Organization. Waterborne, 2004. *Zoonoses Identification, Causes, and Control*. IWA Publishing, Alliance House, First published. London, UK. 528 p.

Wright, L.D. & Short, A.D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. Marine Geology, Amsterdam, 56:93-118.

SITES CONSULTADOS

1. CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Variáveis de qualidade das águas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 19 de outubro de 2007.
2. Brasil, MMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama>.
3. Brasil, MMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama>.

4. DHN – DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 2006. Tábua das Marés para o Porto de Suape (Estado de Pernambuco). Disponível em: www.dhn.mar.mil.br.
5. [Http://scherfamily.com](http://scherfamily.com). Acessado em 15/09/2006.
6. [Http://www.electricscotland.com](http://www.electricscotland.com). Acessado em 15/09/2006.
7. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>.

Tabela 1 – Classificação pela Média (ϕ) e Textural das Amostras Coletadas

Nome da Amostra	Longitude	Latitude	CLASSIFICAÇÃO (F&W) Média	CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL Sheppard
am1P1	269612	9043688	Areia Média	Areia
am2P1	269670	9043722	Areia Fina	Areia
a1p1	269562	9043709	Silte Grossa	Areia Lamosa
a2p1	269638	9043694	Areia Média	Areia
a3p1	269700	9043726	Areia Fina	Areia
am1P2	269706	9043363	Areia Média	Areia
am2P2	269729	9043369	Areia Grossa	Areia
am3P2	269757	9043392	Areia Fina	Areia
a1p3	269750	9043145	Argila Grossa	Lama Arenosa
a2p3	269802	9043158	Silte Médio	Areia Lamosa
a3p3	269906	9043111	Areia Média	Areia
am1P3	269980	9043145	Silte Grossa	Areia
am2P3	269932	9043156	Areia Média	Areia
am3P3	269859	9043165	Areia Média	Areia
am1P4	269690	9042656	Areia Fina	Areia
am2P4	269660	9042688	Areia Média	Areia
am2P5	269347	9042470	Areia Fina	Areia
am3P5	269399	9042436	Areia Média	Areia
am4P5	269410	9042408	Areia Média	Areia
am1P6	269452	9042338	Areia Fina	Areia
am2P6	269437	9042321	Areia Média	Areia
am3P6	269429	9042245	Areia Média	Areia
am2P7	269737	9042238	Areia Média	Areia
am3P7	269765	9042296	Areia Média	Areia
a1p8	26978	9042166	Argila Grossa	Lama Arenosa
a2p8	270009	9042250	Silte Médio	Areia Lamosa
a3p8	270040	9042347	Silte Médio	Areia Lamosa
a4p8	270035	9042380	Silte Médio	Areia Lamosa
a2p9	270536	9042750	Silte Médio	Areia Lamosa
a1p10	268587	9042392	Silte Fino	Areia Lamosa
a2p10	268587	9042536	Silte Fino	Areia Lamosa
a3p10	268615	9042658	Silte Fino	Areia Lamosa
am2P11	269089	9042311	Areia Média	Areia
am3P11	269027	9042213	Areia Média	Areia
am3P12	269065	9042060	Areia Média	Areia
am5P12	268975	9042137	Areia Média	Areia
a1p13	268810	9042000	Silte Médio	Areia Lamosa
a2p13	268852	9041928	Areia Média	Areia
a3p13	268941	9041850	Areia Grossa	Areia
a4p13	269009	9041785	Argila Grossa	Lama Arenosa
am2P14	268581	9041740	Areia Média	Areia
am3P14	268620	9041724	Areia Média	Areia
am5P14	268744	9041666	Areia Média	Areia
am6P14	268807	9041639	Areia Média	Areia
am7P14	268864	9041620	Areia Média	Areia
am2P15	268456	9041071	Areia Fina	Areia
am3P15	268440	9040122	Areia Média	Areia
am4P15	268418	9041178	Areia Média	Areia
am5P15	268401	9041217	Areia Média	Areia

am6P15	268373	9041281	Areia Média	Areia
am7P15	268347	9041335	Areia Média	Areia
am8P15	268299	9041399	Areia Média	Areia
am9P15	268257	9041451	Areia Média	Areia
a1p16	267972	9041276	Areia Fina	Areia
a2p16	268018	9041122	Areia Média	Areia
a3p16	268142	9040968	Areia Grossa	Areia
a4p16	268236	9040922	Areia Média	Areia
a5p16	268329	9040855	Silte Médio	Areia Lamosa
am1P17	267614	9040862	Areia Média	Areia
am2P17	267670	9040854	Areia Fina	Areia
am3P17	267726	9040854	Areia Fina	Areia
am4P17	267803	9040825	Areia Média	Areia
am5P17	267856	9040796	Areia Fina	Areia
am6P17	267927	9040756	Areia Média	Areia
am7P17	268014	9040732	Areia Média	Areia
am8P17	268074	9040708	Areia Média	Areia
am9P17	268134	9040690	Areia Média	Areia
a1p18	26519	9040878	Silte Fino	Areia Lamosa
a2p18	266536	9040832	Silte Fino	Areia Lamosa
a1p19	267236	9040944	Argila Grossa	Lama Arenosa
a2p19	267266	9041008	Areia Grossa	Areia
a3p19	267310	9041070	Areia Média	Areia
a4p19	267353	9041076	Areia Muito Fina	Areia
a1p20	267303	9040749	Silte Fino	Areia Lamosa
a2p20	267374	9040698	Areia Fina	Areia
a3p20	267498	9040628	Areia Média	Areia
a4p20	267640	9040540	Areia Fina	Areia
a5p20	267778	9040456	Areia Média	Areia
a6p20	267862	9040412	Areia Média	Areia
am1P21	267809	9040210	Areia Fina	Areia
am3P21	267684	9040245	Areia Média	Areia
am4P21	267598	9040237	Areia Média	Areia
am7P21	267480	9040222	Areia Média	Areia
am8P21	267406	9040216	Areia Fina	Areia
a1p23	267456	9039642	Areia Média	Areia
a2p23	267541	9039672	Areia Grossa	Areia
a3p23	267636	9039760	Areia Grossa	Areia
a4p23	267703	9039812	Areia Média	Areia
a5p23	267770	9039855	Areia Média	Areia
a6p23	267809	9039868	Areia Fina	Areia
a7p23	267813	9039905	Areia Fina	Areia
am1P24	267603	9039400	Areia Média	Areia
am2P24	267649	9039518	Areia Média	Areia
am3P24	267664	9039634	Areia Fina	Areia
am4P24	267712	9039658	Areia Média	Areia
am5P24	267762	9039713	Areia Média	Areia
am6P24	267798	9039768	Areia Fina	Areia
am7P24	267805	9039813	Areia Média	Areia
am2P26	268076	9039156	Areia Grossa	Areia
am3P26	268095	9039216	Areia Grossa	Areia
am4P26	268099	9039281	Areia Média	Areia
am5P26	268085	9039349	Areia Fina	Areia
am6P26	268076	9039405	Areia Média	Areia

am7P26	268108	9039480	Areia Fina	Areia
am8P26	268124	9039537	Areia Fina	Areia
a1p27	268422	9038933	Areia Muito Fina	Areia
a2p27	268454	9038983	Areia Muito Fina	Areia
a3p27	268433	9039092	Areia Grossa	Areia Cascalhosa
a4p27	268448	9039173	Areia Média	Areia
a5p27	268482	9039235	Areia Fina	Areia
a6p27	268494	9039305	Areia Média	Areia
a7p27	268488	9039394	Areia Média	Areia
a8p27	268488	9039442	Areia Média	Areia
a9p27	268550	9039498	Silte Médio	Areia
a10p27	268561	9039573	Areia Fina	Areia
a1p28	268387	9037927	Areia Fina	Areia
a2p28	268422	9037942	Areia Média	Areia
a3p28	268471	9037958	Areia Média	Areia
a4p28	268504	9037997	Silte Grossa	Areia Lamosa
am1P29	268476	9038071	Areia Média	Areia
am3P29	268389	9038096	Areia Média	Areia Cascalhosa
am3P30	268444	9038361	Areia Média	Areia
am4P30	268477	9038368	Areia Média	Areia
am1P31	268491	9038737	Areia Fina	Areia
am2P31	268523	9038751	Areia Média	Areia
am3P31	268575	9038758	Areia Média	Areia
am1P32	268810	9039448	Areia Fina	Areia
am2P32	268798	9039391	Areia Média	Areia
am3P32	268821	9039280	Areia Muito Fina	Areia
am4P32	268830	9039199	Areia Fina	Areia
am5P32	268796	9039041	Areia Média	Areia
am6P32	268732	9038993	Areia Grossa	Areia
am7P32	268733	9038947	Areia Fina	Areia
am2P34	269502	9038871	Areia Média	Areia
am3P34	269564	9038933	Areia Média	Areia
am4P34	269622	9039019	Areia Grossa	Areia
am5P34	269677	9039112	Areia Média	Areia
am6P34	269716	9039203	Areia Média	Areia
am7P34	269738	9039261	Areia Média	Areia
a1p34	269399	9038831	Areia Média	Areia
a2p34	269438	9038860	Areia Média	Areia
a3p34	269487	9038912	Areia Média	Areia
a4p34	269548	9038985	Areia Grossa	Areia
a5p34	269598	9039057	Areia Média	Areia
a6p34	269639	9039117	Areia Média	Areia
a7p34	269690	9039171	Areia Média	Areia
a8p34	269732	9039232	Areia Média	Areia
a9p34	269759	9039261	Areia Fina	Areia
a10p34	269766	9039303	Areia Fina	Areia
am1P35	270229	9039100	Areia Fina	Areia
am2P35	270160	9039045	Areia Média	Areia
am3P35	270123	9038972	Areia Grossa	Areia
am4P35	270051	9038879	Areia Média	Areia
am5P35	269992	9038795	Areia Média	Areia
a1p36	270489	9038964	Areia Fina	Areia
a2p36	270455	9038908	Areia Grossa	Areia
a3p36	270430	9038841	Areia Grossa	Areia

a4p36	270407	9038763	Areia Grossa	Areia
a5p36	270389	9038697	Areia Grossa	Areia
a6p36	270346	9038616	Areia Fina	Areia
a7p36	270300	9038546	Areia Fina	Areia
a8p36	270230	9038433	Areia Fina	Areia
a9p36	270177	9038364	Areia Fina	Areia
a10p36	270123	9038310	Areia Média	Areia
a11p36	270090	9038260	Areia Média	Areia
a12p36	270081	9038223	Areia Fina	Areia
am1P37	270167	9038224	Areia Média	Areia
am2P37	270182	9038265	Areia Fina	Areia
am3P37	270206	9038310	Areia Fina	Areia
am4P37	270261	9038348	Areia Fina	Areia
am5P37	270309	9038350	Areia Fina	Areia
am7P37	270398	9038594	Areia Fina	Areia
am8P37	270428	9038619	Areia Média	Areia
am9P37	270465	9038645	Areia Grossa	Areia
am10P37	270491	9038708	Areia Média	Areia
am11P37	270520	9038770	Areia Média	Areia
am12P37	270578	9038816	Areia Média	Areia
am1P38	270866	9038475	Areia Média	Areia
am2P38	270854	9038375	Areia Média	Areia
am3P38	270809	9038272	Areia Média	Areia
am4P38	270737	9038174	Areia Média	Areia
am5P38	270727	9038056	Areia Média	Areia
am6P38	270649	9038044	Areia Média	Areia
am7P38	27060	9038014	Areia Fina	Areia
am9P38	270535	9037950	Areia Fina	Areia
am1P39	270848	9037783	Areia Fina	Areia
am2P39	270894	9037872	Areia Média	Areia
am3P39	270938	9037902	Areia Média	Areia
am4p39	271020	9037949	Areia Grossa	Areia
am5P39	271052	9037981	Areia Grossa	Areia
am6p39	271081	9037982	Areia Grossa	Areia
am8P39	271101	9038056	Areia Grossa	Areia
am9P39	271113	9038098	Areia Grossa	Areia
am10P39	271131	9038137	Areia Grossa	Areia
am11P39	271149	9038180	Areia Grossa	Areia
am12P39	271147	9038204	Areia Grossa	Areia
am1P40	271894	9038169	Areia Grossa	Areia Cascalhosa
am3P40	271813	9037961	Areia Grossa	Areia Cascalhosa
am5P40	271748	9037779	Areia Fina	Areia

Tabela -2 Proporção das Frações e Classificação segundo Folk &Ward

Nome	Longitude	Latitude	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	F&W-Média	F&W-Mediana
am1P1	269612	9043688	0,79	98,43	0,778	Areia Média	Areia Média
am2P1	269670	9043722	1,002	92,05	6,947	Areia Fina	Areia Fina
a1p1	269562	9043709	0	74,14	25,864	Silte Grossa	Areia Fina
a2p1	269638	9043694	0,784	97,85	1,368	Areia Média	Areia Média
a3p1	269700	9043726	0,634	92,08	7,284	Areia Fina	Areia Média
am1P2	269706	9043363	2,229	91,46	6,309	Areia Média	Areia Média
am2P2	269729	9043369	11,55	85,25	3,204	Areia Grossa	Areia Grossa
am3P2	269757	9043392	0	96,81	3,195	Areia Fina	Areia Fina
a1p3	269750	9043145	0,179	48,23	51,591	Argila Grossa	Areia Média
a2p3	269802	9043158	0,158	62,51	37,332	Silte Médio	Areia Muito Fina
a3p3	269906	9043111	0,125	96,45	3,421	Areia Média	Areia Média
am1P3	269980	9043145	4,687	75,97	19,343	Silte Grossa	Areia Fina
am2P3	269932	9043156	0,152	97,82	2,03	Areia Média	Areia Média
am3P3	269859	9043165	0,317	96,37	3,308	Areia Média	Areia Média
am1P4	269690	9042656	0,336	91,4	8,262	Areia Fina	Areia Fina
am2P4	269660	9042688	0,643	97,8	1,553	Areia Média	Areia Média
am2P5	269347	9042470	0,086	94,64	5,274	Areia Fina	Areia Fina
am3P5	269399	9042436	0,321	95,16	4,519	Areia Média	Areia Média
am4P5	269410	9042408	1,55	96,96	1,49	Areia Média	Areia Média
am1P6	269452	9042338	0,607	94,76	4,63	Areia Fina	Areia Média
am2P6	269437	9042321	3,904	94,31	1,791	Areia Média	Areia Média
am3P6	269429	9042245	0,443	98,3	1,252	Areia Média	Areia Média
am2P7	269737	9042238	16,197	82,04	1,764	Areia Média	Areia Média
am3P7	269765	9042296	0,259	97,98	1,764	Areia Média	Areia Média
a1p8	26978	9042166	1,539	32,21	66,246	Argila Grossa	Areia Média
a2p8	270009	9042250	0,015	70,85	29,132	Silte Médio	Areia Muito Fina
a3p8	270040	9042347	0,133	68,9	30,9649	Silte Médio	Areia Muito Fina
a4p8	270035	9042380	0,42	54	45,578	Silte Médio	Areia Muito Fina
a2p9	270536	9042750	1,042	67,67	31,286	Silte Médio	Areia Fina
a1p10	268587	9042392	0,123	59,18	40,699	Silte Fino	Areia Muito Fina
a2p10	268587	9042536	0,092	70,41	29,498	Silte Fino	Areia Muito Fina
a3p10	268615	9042658	0,561	56,02	43,419	Silte Fino	Areia Muito Fina
am2P11	269089	9042311	0,222	96,72	3,058	Areia Média	Areia Média
am3P11	269027	9042213	0,841	97,37	1,787	Areia Média	Areia Média
am3P12	269065	9042060	3,061	95,05	1,889	Areia Média	Areia Média
am5P12	268975	9042137	0,445	97,65	1,902	Areia Média	Areia Média
a1p13	268810	9042000	0,423	72,68	26,901	Silte Médio	Areia Muito Fina
a2p13	268852	9041928	0,271	98,18	1,553	Areia Média	Areia Média
a3p13	268941	9041850	2,68	96,34	0,984	Areia Grossa	Areia Grossa
a4p13	269009	9041785	0	44,68	55,323	Argila Grossa	Areia Grossa
am2P14	268581	9041740	0	98,41	1,591	Areia Média	Areia Média
am3P14	268620	9041724	1,549	97,28	1,168	Areia Média	Areia Média
am5P14	268744	9041666	1,008	97,93	1,06	Areia Média	Areia Média
am6P14	268807	9041639	0	98,99	1,014	Areia Média	Areia Média
am7P14	268864	9041620	0,402	97,85	1,749	Areia Média	Areia Média
am2P15	268456	9041071	0,105	97,9	1,995	Areia Fina	Areia Fina
am3P15	268440	9040122	0,31	98,67	1,019	Areia Média	Areia Média
am4P15	268418	9041178	0,321	98,95	0,729	Areia Média	Areia Média

am5P15	268401	9041217	0,46	98,6	0,939	Areia Média	Areia Média
am6P15	268373	9041281	0,472	98,45	1,076	Areia Média	Areia Média
am7P15	268347	9041335	0,911	97,76	1,334	Areia Média	Areia Média
am8P15	268299	9041399	0,054	98,95	0,993	Areia Média	Areia Média
am9P15	268257	9041451	3,158	95,68	1,162	Areia Média	Areia Média
a1p16	267972	9041276	0,2	88,27	11,533	Areia Fina	Areia Fina
a2p16	268018	9041122	0,174	98,82	1,001	Areia Média	Areia Média
a3p16	268142	9040968	5,743	92,6	1,658	Areia Grossa	Areia Grossa
a4p16	268236	9040922	0,46	98,65	0,888	Areia Média	Areia Média
a5p16	268329	9040855	0,891	70,85	28,258	Silte Médio	Areia Muito Fina
am1P17	267614	9040862	1,477	97,44	1,086	Areia Média	Areia Média
am2P17	267670	9040854	1,627	96,29	2,079	Areia Fina	Areia Fina
am3P17	267726	9040854	0,194	98,05	1,761	Areia Fina	Areia Fina
am4P17	267803	9040825	1,593	96,7	1,705	Areia Média	Areia Média
am5P17	267856	9040796	0,034	98,22	1,75	Areia Fina	Areia Média
am6P17	267927	9040756	2,755	95,91	1,339	Areia Média	Areia Média
am7P17	268014	9040732	0,996	98,07	0,93	Areia Média	Areia Média
am8P17	268074	9040708	0	97,3	2,696	Areia Média	Areia Média
am9P17	268134	9040690	0,391	97,86	1,747	Areia Média	Areia Média
a1p18	26519	9040878	0,201	54,72	45,083	Silte Fino	Areia Muito Fina
a2p18	266536	9040832	2,263	57,9	39,84	Silte Fino	Areia Muito Fina
a1p19	267236	9040944	0,171	25,46	74,37	Argila Grossa	Areia Muito Fina
a2p19	267266	9041008	21,245	76,89	1,868	Areia Grossa	Areia Grossa
a3p19	267310	9041070	1,209	95,75	3,039	Areia Média	Areia Média
a4p19	267353	9041076	0,04	88	11,96	Areia Muito Fina	Areia Fina
a1p20	267303	9040749	0,604	60,46	38,933	Silte Fino	Areia Muito Fina
a2p20	267374	9040698	0,119	96,95	2,926	Areia Fina	Areia Fina
a3p20	267498	9040628	0,59	98,57	0,84	Areia Média	Areia Média
a4p20	267640	9040540	0,13	97,45	2,424	Areia Fina	Areia Média
a5p20	267778	9040456	0,374	99,35	0,275	Areia Média	Areia Média
a6p20	267862	9040412	0,497	98,38	1,127	Areia Média	Areia Média
am1P21	267809	9040210	0	98,1	1,9	Areia Fina	Areia Fina
am3P21	267684	9040245	0,247	98,21	1,547	Areia Média	Areia Média
am4P21	267598	9040237	0,2	98,94	0,861	Areia Média	Areia Média
am7P21	267480	9040222	4,308	92,6	3,094	Areia Média	Areia Média
am8P21	267406	9040216	2,258	87,18	10,561	Areia Fina	Areia Fina
a1p23	267456	9039642	6,211	90,06	3,731	Areia Média	Areia Grossa
a2p23	267541	9039672	9,383	89,42	1,196	Areia Grossa	Areia Grossa
a3p23	267636	9039760	8,444	90,48	1,076	Areia Grossa	Areia Grossa
a4p23	267703	9039812	0,963	97,74	1,298	Areia Média	Areia Média
a5p23	267770	9039855	0,457	98,01	1,534	Areia Média	Areia Média
a6p23	267809	9039868	0,108	98,44	1,457	Areia Fina	Areia Média
a7p23	267813	9039905	0,385	89,59	10,027	Areia Fina	Areia Fina
am1P24	267603	9039400	15,118	80,84	4,044	Areia Média	Areia Média
am2P24	267649	9039518	12,48	84,54	2,98	Areia Média	Areia Média
am3P24	267664	9039634	0,95	95,84	3,215	Areia Fina	Areia Fina
am4P24	267712	9039658	1,322	97,7	0,976	Areia Média	Areia Média
am5P24	267762	9039713	0,763	98,09	1,145	Areia Média	Areia Média
am6P24	267798	9039768	0,36	96,93	2,707	Areia Fina	Areia Fina
am7P24	267805	9039813	0,15	98,89	0,956	Areia Média	Areia Média
am2P26	268076	9039156	9,38	85,57	5,051	Areia Grossa	Areia Grossa
am3P26	268095	9039216	13,606	84,62	1,778	Areia Grossa	Areia Grossa
am4P26	268099	9039281	13,928	84,58	1,487	Areia Média	Areia Grossa
am5P26	268085	9039349	0	99,05	0,95	Areia Fina	Areia Média

am6P26	268076	9039405	0,156	98,66	1,18	Areia Média	Areia Média
am7P26	268108	9039480	0,925	98,82	0,253	Areia Fina	Areia Média
am8P26	268124	9039537	0	97,85	2,15	Areia Fina	Areia Fina
a1p27	268422	9038933	1,045	87,16	11,793	Areia Muito Fina	Areia Muito Fina
a2p27	268454	9038983	0,182	89,38	10,436	Areia Muito Fina	Areia Fina
a3p27	268433	9039092	19,056	73,75	7,197	Areia Grossa	Areia Grossa
a4p27	268448	9039173	6,36	92,71	0,933	Areia Média	Areia Média
a5p27	268482	9039235	0,024	98,8	1,173	Areia Fina	Areia Fina
a6p27	268494	9039305	0,205	98,7	1,096	Areia Média	Areia Média
a7p27	268488	9039394	2,314	96,68	1,008	Areia Média	Areia Média
a8p27	268488	9039442	0	97,94	2,055	Areia Média	Areia Média
a9p27	268550	9039498	0,542	80,97	18,487	Sílte Médio	Areia Muito Fina
a10p27	268561	9039573	0,022	93,61	6,367	Areia Fina	Areia Fina
a1p28	268387	9037927	7,162	79,06	13,774	Areia Fina	Areia Fina
a2p28	268422	9037942	11,809	84,26	3,932	Areia Média	Areia Fina
a3p28	268471	9037958	1,876	96,96	1,163	Areia Média	Areia Média
a4p28	268504	9037997	12,381	67,7	19,915	Silte Grossa	Areia Média
am1P29	268476	9038071	1,626	97,32	1,054	Areia Média	Areia Média
am3P29	268389	9038096	15,318	74,62	10,067	Areia Média	Areia Média
am3P30	268444	9038361	3,536	95,42	1,044	Areia Média	Areia Média
am4P30	268477	9038368	0,67	97,61	1,72	Areia Média	Areia Média
am1P31	268491	9038737	0,968	88,77	10,262	Areia Fina	Areia Fina
am2P31	268523	9038751	3,475	95,26	1,268	Areia Média	Areia Média
am3P31	268575	9038758	1,292	97,62	1,085	Areia Média	Areia Média
am1P32	268810	9039448	1,543	89,4	9,062	Areia Fina	Areia Muito Fina
am2P32	268798	9039391	1,048	97,5	1,456	Areia Média	Areia Média
am3P32	268821	9039280	0,077	96,48	3,44	Areia Muito Fina	Areia Fina
am4P32	268830	9039199	0,092	98,64	1,264	Areia Fina	Areia Fina
am5P32	268796	9039041	4,997	92,76	2,243	Areia Média	Areia Média
am6P32	268732	9038993	9,627	89,09	1,284	Areia Grossa	Areia Grossa
am7P32	268733	9038947	0,852	98,21	0,938	Areia Fina	Areia Fina
am2P34	269502	9038871	0,835	98,1	1,07	Areia Média	Areia Média
am3P34	269564	9038933	4,562	94,05	1,386	Areia Média	Areia Média
am4P34	269622	9039019	6,811	91,88	1,304	Areia Grossa	Areia Grossa
am5P34	269677	9039112	0,079	98,56	1,359	Areia Média	Areia Média
am6P34	269716	9039203	0,316	97,71	1,97	Areia Média	Areia Média
am7P34	269738	9039261	1,123	92,99	5,89	Areia Média	Areia Média
a1p34	269399	9038831	0,605	98,39	1,003	Areia Média	Areia Média
a2p34	269438	9038860	0,746	98,22	1,037	Areia Média	Areia Média
a3p34	269487	9038912	1,37	97,5	1,129	Areia Média	Areia Média
a4p34	269548	9038985	14,858	84,08	1,06	Areia Grossa	Areia Grossa
a5p34	269598	9039057	3,274	95,39	1,341	Areia Média	Areia Média
a6p34	269639	9039117	0,942	96,91	2,148	Areia Média	Areia Média
a7p34	269690	9039171	3,414	95,9	0,688	Areia Média	Areia Grossa
a8p34	269732	9039232	1,979	95,32	2,699	Areia Média	Areia Média
a9p34	269759	9039261	0,418	95,86	3,724	Areia Fina	Areia Média
a10p34	269766	9039303	0,197	97,72	2,08	Areia Fina	Areia Média
am1P35	270229	9039100	0,218	97,28	2,504	Areia Fina	Areia Fina
am2P35	270160	9039045	0	98,56	1,444	Areia Média	Areia Média
am3P35	270123	9038972	2,862	96,45	0,687	Areia Grossa	Areia Grossa
am4P35	270051	9038879	9,231	89,57	1,199	Areia Média	Areia Grossa
am5P35	269992	9038795	1,019	97,96	1,021	Areia Média	Areia Média
a1p36	270489	9038964	0,045	98,12	1,838	Areia Fina	Areia Fina
a2p36	270455	9038908	2,15	96,64	1,214	Areia Grossa	Areia Grossa

a3p36	270430	9038841	11,09	87,95	0,956	Areia Grossa	Areia Grossa
a4p36	270407	9038763	11,484	87,52	0,993	Areia Grossa	Areia Grossa
a5p36	270389	9038697	7,352	91,6	1,043	Areia Grossa	Areia Grossa
a6p36	270346	9038616	0,107	98,29	1,599	Areia Fina	Areia Fina
a7p36	270300	9038546	1,302	96,96	1,737	Areia Fina	Areia Fina
a8p36	270230	9038433	1,406	97,78	0,814	Areia Fina	Areia Média
a9p36	270177	9038364	0,299	98,25	1,447	Areia Fina	Areia Média
a10p36	270123	9038310	0,344	98,3	1,357	Areia Média	Areia Média
a11p36	270090	9038260	0,551	97,88	1,568	Areia Média	Areia Média
a12p36	270081	9038223	1,634	96,56	1,81	Areia Fina	Areia Média
am1P37	270167	9038224	0,964	97,65	1,389	Areia Média	Areia Média
am2P37	270182	9038265	1,577	96,87	1,556	Areia Fina	Areia Média
am3P37	270206	9038310	0,204	98,29	1,51	Areia Fina	Areia Média
am4P37	270261	9038348	4,057	94,18	1,759	Areia Fina	Areia Fina
am5P37	270309	9038350	0,874	97,5	1,629	Areia Fina	Areia Fina
am7P37	270398	9038594	0,128	98,73	1,138	Areia Fina	Areia Fina
am8P37	270428	9038619	0,288	99	0,71	Areia Média	Areia Média
am9P37	270465	9038645	4,961	94,34	0,698	Areia Grossa	Areia Grossa
am10P37	270491	9038708	4,167	94,82	1,018	Areia Média	Areia Média
am11P37	270520	9038770	2,53	96,13	1,345	Areia Média	Areia Média
am12P37	270578	9038816	0,92	96,9	2,18	Areia Média	Areia Média
am1P38	270866	9038475	0,732	98,39	0,883	Areia Média	Areia Média
am2P38	270854	9038375	1,227	97,29	1,487	Areia Média	Areia Grossa
am3P38	270809	9038272	0,647	98,53	0,824	Areia Média	Areia Média
am4P38	270737	9038174	1,423	97,65	0,93	Areia Média	Areia Média
am5P38	270727	9038056	0,378	98,51	1,112	Areia Média	Areia Média
am6P38	270649	9038044	5,766	92,87	1,365	Areia Média	Areia Média
am7P38	27060	9038014	0,867	96,8	2,329	Areia Fina	Areia Média
am9P38	270535	9037950	1,203	95,13	3,666	Areia Fina	Areia Fina
am1P39	270848	9037783	0	98,12	1,877	Areia Fina	Areia Fina
am2P39	270894	9037872	5,71	92,28	2,013	Areia Média	Areia Média
am3P39	270938	9037902	6,696	90,28	3,019	Areia Média	Areia Grossa
am4p39	271020	9037949	2,299	95,83	1,867	Areia Grossa	Areia Grossa
am5P39	271052	9037981	6,24	92,69	1,07	Areia Grossa	Areia Grossa
am6p39	271081	9037982	12,896	84,38	2,725	Areia Grossa	Areia Grossa
am8P39	271101	9038056	13,257	85,97	0,774	Areia Grossa	Areia Muito Grossa
am9P39	271113	9038098	7,4	91,78	0,822	Areia Grossa	Areia Grossa
am10P39	271131	9038137	5,52	93,01	1,469	Areia Grossa	Areia Grossa
am11P39	271149	9038180	3,221	95,82	0,958	Areia Grossa	Areia Grossa
am12P39	271147	9038204	2,554	96,59	0,856	Areia Grossa	Areia Grossa
am1P40	271894	9038169	28,65	68,71	2,64	Areia Grossa	Areia Grossa
am3P40	271813	9037961	36,961	59,42	3,616	Areia Grossa	Areia Muito Grossa
am5P40	271748	9037779	7,435	89,09	3,479	Areia Fina	Areia Fina

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)